

Mémoires
de l'Académie d'Orléans
Agriculture, Sciences, Belles-Lettres et Arts



Le golf National de Saint-Quentin en Yvelines

ANNÉE 2018

VI^e Série : Tome 28

Volume édité en 2019



5, rue Antoine Petit 45000 Orléans

<http://www.lacado.fr>

Éditorial

Vous trouverez dans ces Mémoires le reflet de nos activités de l'année 2018.

Outre les communications reproduites ici, nous avons organisé un colloque sur la chimie le 28 mai (« Tout est chimie »), un voyage en Auvergne les 12 et 13 juin, et un dîner-débat le 29 novembre (« Le concept de biodiversité, mythes et réalités ») avec Gérard Tendron, secrétaire perpétuel de l'Académie d'Agriculture. Enfin des membres de l'Académie d'Orléans ont participé à la Conférence nationale des académies qui a eu lieu à Strasbourg et Colmar du 3 au 6 octobre 2018.

Nous n'avons pu faire cette année qu'une séance publique (« Camus et la musique ») dans la salle du Conservatoire de musique, et je le regrette vivement. Il est de plus en plus difficile de trouver des salles libres aux dates qui sont les nôtres à des prix décents. Nous attendons beaucoup de la réouverture du MOBE (Muséum d'Orléans pour la biodiversité et l'environnement) dont nous savons qu'il nous accueillera dans de bonnes conditions.

Je rappelle que ce sont les membres de l'Académie qui proposent eux-mêmes les thèmes des communications. Il n'y a pas de comité de lecture qui choisit, ou refuse, les sujets traités. Cela ne nuit pas à la diversité et à l'équilibre de l'ensemble, comme vous pourrez le constater, puisque nous vous offrons un vaste parcours, allant, entre autres, du concile de Trente (auquel participe un prêtre d'Olivet) au Transhumanisme, en passant par le Val Dhuy et le lac Tchad, de savoureuses caricatures de la société victorienne, le miracle sud-coréen, jusqu'à la chronobiologie et la chronothérapie, sans oublier l'école et la morale, le réchauffement climatique et le golf avec la Reader Cup (en France en 2018).

Je tiens à remercier Michel Monsigny pour le travail accompli pour la mise en page et l'édition de ces *Mémoires*.

Vous avez donc une grande liberté de choix. Je vous souhaite d'en faire bon usage.

Marc Baconnet

Date	2018	Titres	Pages	
	Marc Baconnet	Éditorial	1	
	18-00	Table des matières	3	
J 18 janvier	18-01	Pierre Muckensturm	L'école et la morale	5
J 1 ^{er} février	18-02	Christian de Valence	Le vélo en France	15
J 15 février	18-03	François Maupu	Gentien Hervet et Nicolas Psaume, deux acteurs du concile de Trente	29
J 1 ^{er} mars	18-04	Michel Monsigny	Le transhumanisme	39
J 5 avril	18-05	François Lelong	Le Sage du Val Dhuy, Loiret	53
J 19 avril	18-06	Patrick Brun	Le lac Tchad	67
J 3 mai	18-07	Jean-Pierre Navailles	Peinture de la société anglaise à l'époque victorienne	81
J 17 mai	18-08	Sébastien Bertrand	Park Chung-hee (1917-1979) : L'homme de fer du miracle économique sud-coréen	-
J 21 juin	18-09	Philippe Baguenault de Puchesse	Le golf : des landes d'Écosse au golf moderne: La Ryder Cup en France en 2018, un événement mondial	97
J 18 octobre	18-10	Claude-Henri Joubert	Camus et la musique	111
J 22 novemb.	18-11	Patrick Masure	Victor Jacquemont (1801-1832)	131
J 6 décemb.	18-12	Jean-René Perrin	Évolution de la pensée médicale en France de ses origines à nos jours	-
J 20 décemb.	18-13	Jean-Pierre Guilloteau	Chronobiologie et chronothérapie	145
J 4 Janvier	18-b1	Marius Ptak	Brève : le prix Nobel de physique 2017 Première observation expérimentale directe des ondes gravitationnelles	155
J 4 Janvier	18-b2	Daniel Locker	Brève : le prix Nobel de physiol. & médéc. 2017 Les rythmes biologiques : la vie, une question de rythme	161
J 4 Janvier	18-b3	François Kergall	Brève : découverte d'un bioadhésif remarquable inspiré de la bave de limace.	165
J 8 novemb.	18-b4	André Brack	Les prix Nobel de Chimie en 2018	169
J 8 novemb	18-b5	Christian Froissart	Les Dahlias sauvages	171
J 8 novemb	18-b6	Jacqueline Suttin	<i>Le Civil et le Religieux, distincts et inséparables</i> de Pierre Muckensturm	177
L 28 mai	18-c0	Colloque	Tout est chimie : tout n'est que chimie	185
	18-c1	André Brack	La chimie à l'origine de la vie	187
	18-c2	Myriam Rouet-Meunier	La chimie en Région Centre Val de Loire	197
	18-c3	Michel Monsigny	La chimie de la cellule vivante	203
	18-c4	Olivier Martin	La chimie des sucres (résumé)	219
	18-c5	Jean-Yves Mérou	Chimie et arts	221
	18-c6	Jean-Claude Bernier	Chimie et énergie	247
J 29 novemb.	18-dd	Gérard Tendron	La biodiversité : mythe ou réalité. Dîner-débat	257
M 12 M 13 juin	18-v	Brack Deck Froissart	Voyage de l'Académie : Le Nord de l'Auvergne	263

La Morale et l'École

Pierre Muckensturm

On a consacré une foule de livres, presque des bibliothèques entières, aussi bien à la morale qu'à l'école. Et l'on pourrait dire avec La Bruyère que « Tout est dit et on vient trop tard » ; il semble donc déraisonnable et en tout cas présomptueux de vouloir traiter en une heure un sujet aussi vaste. Aussi, pour préciser les idées et éviter les confusions me paraît-il nécessaire de définir, aussi exactement que possible, les concepts auxquels je vais me référer.

La réflexion la plus simple montre que l'école aussi bien que la morale ont un rôle important dans la société. Nous vivons tous au sein d'une société, elle nous semble un milieu aussi naturel que l'air que nous respirons si bien que nous ne nous donnons pas la peine de chercher quels en sont les fondements. Si nous interrogeons l'homme de la rue et que nous lui demandons sur quoi repose la société dans laquelle il vit, il répondra, après quelques secondes de réflexion, qu'elle est bâtie sur les lois, la constitution, l'administration, la police et on sent qu'il pourrait allonger la liste. Si on lui fait observer que tout ce qu'il vient de citer a certes une grande importance dans la vie quotidienne mais sert seulement à gérer la société et pas du tout à définir son origine, il montrera son étonnement et vous demandera, à son tour, sur quoi repose la vie sociale. Vous lui direz alors que la société est faite de toutes les petites

choses que nous faisons sans y penser tout au long de la journée, la façon de nous saluer, de prendre les repas, les condoléances que nous adressons à un ami qui vient de perdre un membre de sa famille, les félicitations à de jeunes mariés, la visite au cimetière, le jour de la Toussaint, toute une série d'actions que nous nous sentons obligés de faire bien qu'elles ne figurent dans aucun règlement. Ces lois non écrites, fort nombreuses, sont pourtant observées scrupuleusement ; tout le monde dit « pardon, s'il vous plaît, merci » sans même y penser, mais le Français découvre avec un peu de surprise que le « merci » de son voisin d'Outre-Manche, n'a pas exactement le même usage que le sien, ce qui lui fait prendre conscience des structures invisibles qui régissent sa vie quotidienne.

La morale est une de ces lois non écrites et la littérature abondante qu'on lui a consacrée ne doit pas faire illusion, aucun Etat n'en a délibéré, même si elle apparaît souvent parallèle aux lois utilisées par la justice. Faute de pouvoir feuilleter un code, on en est donc réduit à se tourner du côté des sociologues. La sociologie est une science récente mais elle est riche d'enseignements sur les structures et le fonctionnement des sociétés. Elle nous a appris que dans toutes les sociétés, quels que soient l'endroit où elles se trouvent ou l'époque considérée, il existe une religion, une morale et

une activité artistique. Et même, ce qui semble plus surprenant et contraire à ce que l'on croit communément, que la morale ne change pas avec le pays, ni même avec la culture ; en outre, si on prend la peine de parcourir l'histoire, on constate que le contenu de la morale en usage chez les anciens Grecs était le même que celui qu'on pourrait enseigner aujourd'hui. Pourtant, les journalistes et même certains intellectuels continuent à parler de la morale des Anciens, de la morale chrétienne ou de la morale socialiste, pour ne citer qu'elles. L'examen plus attentif de ce que l'on désigne ainsi montre que ce n'est pas le contenu qui est différent mais la façon de le présenter et surtout les notions ou les phénomènes sociaux auquel on le rattache. La civilisation grecque, le christianisme, le communisme ont ainsi fourni des étiquettes que tout le monde utilise et qui, malgré les différences d'appellation, recouvrent des concepts identiques. Cette ressemblance va d'ailleurs plus loin puisque, dans la plupart des cas, la morale est unie à la religion ; pourtant, il existe des exceptions ce qui justifie une analyse.

Il est hors de question- et je n'ai d'ailleurs pas les connaissances nécessaires –d'examiner le cas de toutes les grandes religions ; je me bornerai donc au christianisme qui imprègne notre culture. Le texte le plus ancien est celui de la Bible. On voit dans l'Exode, Moïse recevoir de Dieu, sur le mont Sinaï, au milieu des éclairs et du tonnerre, la loi que devront respecter les Juifs. L'essentiel est contenu dans les prescriptions du Décalogue. C'est un événement solennel, Dieu parle aux hommes par l'intermédiaire de Moïse ; on s'attend à une énumération des devoirs religieux, or, quand on les lit, on découvre que sur les dix commandements, seuls trois d'entre eux concernent les devoirs envers Dieu ; les sept autres sont des obligations envers les hommes : « ne pas tuer, ne pas voler, respecter le conjoint du voisin, ne pas faire de faux témoignage etc, ». En outre, la loi juive reçue de Dieu par Moïse ne se borne pas au contenu du Décalogue, elle énumère de façon détaillée d'autres devoirs qui concernent, non seulement les rapports humains mais aussi la façon de travailler, de se nourrir ou de s'habiller. L'ensemble de ces prescriptions est repris et complété dans le livre du Deutéronome dont le titre qui signifie la

deuxième loi, dit assez l'importance qu'il convient d'attacher à ces commandements ; en fait, tous les aspects de l'existence en dépendent et on ne distingue pas, comme nous le ferions de nos jours, le domaine de la morale de celui de la religion. Si on y ajoute diverses indications concernant le culte, on arrive aux cinq livres du Pentateuque qui, sous le nom de Torah, sont encore, pour les Juifs d'aujourd'hui, le fondement de leur religion.

Dès lors, deux conclusions s'imposent. D'abord, à l'origine, il n'existe qu'une seule loi pour régir les comportements de l'homme qu'ils soient d'ordre social ou religieux. D'ailleurs, pour le Juif de l'époque où fut rédigé l'Ancien Testament, cette distinction n'avait aucun sens car, tout simplement, elle ne pouvait pas être pensée puisqu'on ne disposait pas des concepts correspondants. L'existence humaine n'était considérée que dans sa globalité qui se traduisait par l'unicité de la loi. Cette loi unique couvrant tous les aspects de l'existence est encore celle qui régit la vie des musulmans d'aujourd'hui et cette différence qui, finalement, traduit une autre conception de l'être humain est une des origines de l'incompréhension que l'on constate entre les cultures chrétienne et musulmane.

Le contenu du Décalogue, tel qu'il est formulé dans l'Ancien Testament a été repris beaucoup plus récemment dans les catéchismes catholiques ou protestants. Celui qui, dans sa vie personnelle, respecte le contenu de ces commandements se conduit moralement. Il n'y a donc pas de contradiction a priori entre les impératifs de la vie sociale et ceux des diverses religions chrétiennes et il en est de même pour toute les religions puisqu'elles sont un des fondements de la culture.

Les commandements formulés par les différentes religions ont un autre point commun qui n'est pas souvent formulé ; presque toutes les prescriptions sont négatives : « tu ne tueras pas, tu ne voleras pas... ». La conséquence, du point de vue conceptuel, est qu'on ne peut définir le Bien que négativement et que le Mal apparaît comme la notion primitive. C'est ce que l'on constate quand on lit les sociologues ; ils ne décrivent pas la société parfaite mais celle qui

existe, ce qui est d'ailleurs conforme à la méthode utilisée par toutes les sciences qui observent les faits pour tenter de les expliquer. Les hommes politiques ont souvent recours aux travaux des sociologues pour établir leur programme ; ce qu'ils proposent à pour horizon un idéal qui se heurte bientôt au mur implacable des réalités. Le texte de la Genèse, dans l'Ancien Testament, anticipait déjà cette difficulté. Dieu ne dit pas à Adam et à Eve ce qu'ils doivent faire au Paradis terrestre, il leur défend de manger le fruit de l'arbre de la Science et pour donner à Eve l'idée de violer cette interdiction, il crée le serpent qui est le mal personnifié. Dès lors, en lisant la Bible, on se pose la question : « pourquoi Dieu n'a-t-il pas créé un monde parfait où le problème du mal n'existerait pas ? ». La comparaison avec les travaux des sociologues et le texte de la Bible aboutit à la conclusion un peu décevante qu'on ne peut définir le Bien de façon positive ; d'ailleurs Platon, dans les dernières pages de la République, comparait le Bien au soleil ce qui est une façon imagée de penser l'absolu. Dès lors, le pédagogue qui a la lourde responsabilité de l'éducation des futurs hommes se demande comment enseigner une notion qu'on ne peut définir que négativement...

Ces difficultés ne peuvent être sous-estimées mais il n'en reste pas moins que la morale est inséparable de la société et que, d'une façon ou d'une autre, ses règles doivent être transmises aux jeunes générations. Encore faut-il savoir, pour les enseigner efficacement, l'idée que l'on s'en fait. Les choses sont simples ; si on considère l'Ancien Testament, Dieu a exprimé la loi par la parole de Moïse ; il suffit de la connaître et comme elle entre dans les détails de la conduite à suivre, on a peu de risques de se tromper ; elle est d'ailleurs facile à respecter car elle énumère une série d'interdits qui sont les lignes rouges à ne pas franchir.

Dans le Nouveau Testament, les Evangiles reprennent les mêmes contenus mais les présentent différemment. La situation qui permet de prendre la décision conforme à la morale est suggérée par la parabole que formule le Christ. Cette parabole est facile à interpréter car elle décrit un exemple de la vie

quotidienne : il faut semer dans la bonne terre et non dans les broussailles, séparer la mauvaise graine de la bonne, savoir épargner à bon escient ce qu'on a gagné.... C'est au sujet qui écoute la parabole de l'interpréter pour en déduire la conduite à suivre. C'est une différence essentielle par rapport aux commandements qu'on a reçus sur le Mont Sinaï ; le sujet ne se contente plus d'appliquer passivement la règle, il doit d'abord la formuler d'après l'exemple qu'on lui donne et ensuite prendre la décision correspondant au problème qu'il doit résoudre. L'Evangile permet donc à l'homme de franchir un pas décisif, il a un rôle actif puisqu'il choisit ce qu'il doit faire et nous sommes donc dans une autre conception de l'homme avec ce qu'apporte le christianisme dans le domaine de la morale. Pour reprendre l'image de la parabole, on peut dire que du bon grain a été semé et qu'il ne demande qu'à naître et à prospérer.

Le christianisme, avec les Evangiles et les paraboles, place donc l'homme dans une situation qui correspond à la morale telle que nous l'entendons de nos jours. En effet, pour nous, la morale ne peut se borner à analyser les données d'un problème concret, elle doit déboucher sur une action après qu'on a pris une décision. Ce processus en trois temps ne va pas sans difficultés. Même si l'examen d'une situation a été correct, on peut aboutir à deux solutions satisfaisantes et pourtant contradictoires. Est-ce que je vais dénoncer Jean Valjean à la gendarmerie parce qu'il a volé un pain pour nourrir sa famille alors que cette même famille sera dans le besoin s'il va en prison ? Cette hésitation devant la décision à prendre conduit à ce que l'on appelle depuis longtemps des « cas de conscience » qui ont fourni à la littérature le sujet de nombreuses tragédies. Antigone doit-elle donner une sépulture décente à son frère Polynice comme le veut l'usage et l'amour fraternel ou désobéir à la loi de l'Etat que représente Créon ? Ces situations ne sont pas seulement celles que décrit la littérature, elles peuvent se présenter à tout un chacun dans la vie quotidienne ; aux XVIIème et XVIIIème siècles, on faisait appel à un « directeur de conscience », souvent un religieux, qui donnait un conseil pour la décision à prendre. La conscience est ce qui

détermine la volonté et pour bien agir, elle doit être éclairée. C'est un problème difficile que J. J. Rousseau décrit fort bien dans la très longue « Profession de foi » du Vicaire savoyard mais qui ne se pose pas pour lui puisque la conscience est un instinct divin qui ne peut donc pas nous tromper. Il en va différemment pour le Caïn de Victor Hugo dans la Légende des Siècles :

*« Lorsque avec ses enfants vêtus de peaux de bêtes
Echevelé, livide au milieu des tempêtes,
Caïn se fut enfui de devant Jeovah » ,*

Il est seul avec lui-même devant sa conscience dont l'œil implacable le poursuit jusque dans la tombe.

Ces exemples montrent que la conscience est dans une situation difficile quand elle est seule pour prendre une décision. L'énumération des règles, si précises qu'elles soient, peut s'avérer insuffisante pour résoudre les problèmes que pose souvent la vie quotidienne. Les solutions que proposent les religions se révèlent inefficaces pour faire face à leur diversité. Si on relit la Bible et particulièrement l'Ancien Testament, on comprend d'où vient la difficulté ; la morale est décrite à partir des problèmes que l'on rencontre dans la vie quotidienne sans que l'on prenne en considération les difficultés du sujet qui doit trouver la solution. Certes, l'Évangile avec les paraboles réserve bien une place au sujet mais c'est seulement pour résoudre les problèmes énumérés par la loi ; pourtant, peu à peu, un changement insensible se produit dont la langue porte la trace ; le mot « morale » n'y apparaît qu'à partir du XIII^{ème} siècle ce qui est le signe que, sans négliger les aspects religieux des conduites humaines, on peut les envisager différemment, notamment en donnant sa pleine responsabilité au sujet.

Cette évolution très lente, encore presque insensible à l'époque de la Renaissance, franchit une première étape avec Descartes qui, avec le Cogito, insiste sur l'autonomie du sujet et débouche finalement sur le tournant décisif que représentent les Lumières au XVIII^{ème} siècle. Cette autonomie de l'homme face aux problèmes que pose la vie sociale est une nouveauté, en effet l'homme de Descartes ne

décide librement que pour ce qui le concerne personnellement or J. J. Rousseau veut que sa liberté intervienne également au niveau de la société. C'est l'objet du « Contrat social » où, il donne une nouvelle description des structures sociales. Dans la société dont il rêve, l'homme, devenu citoyen, fait la loi, directement ou par l'intermédiaire de ses représentants il est ainsi souverain et, en même temps, il s'y soumet et se trouve donc sujet. Il pose ainsi les fondements de la société démocratique puisque, selon lui, tout homme, quelle que soit sa condition sociale, peut être à la fois souverain et sujet. C'est un schéma dont on se souviendra quand on abolira la royauté.

On comprend qu'après avoir lu l'ouvrage qui décrit cette nouvelle conception de la société, un obscur philosophe vivant à Königsberg, ait pu changer l'itinéraire habituel de sa promenade quotidienne. Car, pour Kant, le Contrat social lui donne l'idée de transposer, dans le domaine de la morale, les concepts que Rousseau avait utilisés au plan politique. Le parallélisme est parfait : le « citoyen » de la société démocratique est aussi le « sujet » du règne de la morale. Mais la vision géniale de Kant est de comprendre que, dans l'un et l'autre cas, le facteur qui permet d'arriver au but est le même, c'est la raison de Descartes. En cette fin du XVIII^{ème} siècle, la raison voit croître son domaine d'intervention ; jusque-là cantonnée dans les domaines abstraits des mathématiques et du syllogisme, elle aide, avec Galilée et Newton, à comprendre les phénomènes naturels et même à les exploiter grâce aux premiers pas du progrès technique. Le projet qu'avait formulé Descartes au début du « Discours de la méthode » de se rendre « comme maître et possesseur de la nature » semble sur le point de se réaliser, dès lors, il ne paraît plus irréaliste d'y recourir pour permettre à l'homme de se tracer une ligne de conduite.

C'est ce que va faire Kant dans la « Critique de la raison pratique » qui, aujourd'hui, apparaît comme le couronnement de son œuvre gigantesque. Il part du constat de Descartes pour qui « le bon sens est la chose du monde la mieux partagée ». La raison que Descartes nomme le « bon sens », comme s'il anticipait

son usage dans le domaine de la vie quotidienne, est donc l'attribut de tous les humains. Rousseau s'en est servi pour établir les fondements d'une société démocratique, Kant va faire de même pour fonder la morale puisque, à l'universalité de la raison humaine, il est possible de faire correspondre la généralité des lois morales qui concernent tous les hommes. Il va même aller plus loin en donnant au sujet, la possibilité de formuler une loi unique qui lui permettra de résoudre tous les problèmes moraux : » Agis comme si la maxime de ton action pouvait être érigée en loi universelle ». Cette courte phrase est, dans le domaine conceptuel, l'équivalent de la révolution qu'avait apportée Copernic dans la vision de l'univers. Au lieu de la multiplicité des lois du christianisme, des nombreux conseils d'Aristote ou des théorèmes de Spinoza, on trouve une règle simple que tout le monde peut comprendre. Le sujet retrouve sa pleine autonomie ; alors que la loi de l'Ancien Testament lui dictait ce qu'il convenait de faire, le sujet kantien analyse la situation et au lieu que la décision lui soit dictée par une puissance extérieure à sa volonté c'est lui qui la prend en toute liberté et la prolonge par l'action correspondante. Il est donc pleinement homme, puisque il décide seul de la façon d'appliquer la loi morale, qu'il met en œuvre cette décision, et que le tribunal de sa conscience est capable de lui dire s'il l'a fait correctement ; à lui tout seul, il est un condensé de la société et l'on comprend mieux le parallèle entre Kant et Rousseau.

Cette façon de présenter la morale ouvre des perspectives plus larges à la réflexion de Kant. Dans les trois étapes qui aboutissent à la décision, l'homme, en l'utilisant, affirme l'existence de sa liberté et, en même temps, ne peut se déterminer que s'il se fait une certaine idée du Bien, laquelle ne peut lui venir que d'un être ayant toutes les perfections, c'est-à-dire de Dieu. Kant n'a pas l'ambition de démontrer la validité de ces concepts à partir de l'action morale ; ce serait comme vouloir démontrer les postulats d'Euclide à partir du théorème de Pythagore. C'est pourquoi, prenant modèle sur la géométrie, il fait de ces trois notions « les postulats de la raison pratique ». La métaphysique qui semblait inaccessible après la

Critique de la Raison pure, retrouve ainsi une place comme fondement de la morale dans la Critique de la Raison pratique ce qui fait alors apparaître l'ouvrage comme le couronnement de l'œuvre kantienne.

L'aspect essentiel de la présentation kantienne de la morale est donc d'affirmer la prédominance du sujet. L'autonomie de l'homme face à l'obligation morale s'inscrit dans le mouvement des Lumières qui, en cette fin du XVIII^{ème} siècle, embrase l'Europe entière ; elle est donc parfaitement cohérente avec la démocratie naissante qui cherche encore le moyen de mettre en place des institutions efficaces. L'œuvre de Kant dont l'essentiel est publié après 1780 est d'un abord difficile et la langue allemande dont il est banal de dire qu'elle est celle des philosophes ne facilite pas la tâche des traducteurs. Un jeune normalien, Jules Barni, major de l'agrégation de philosophie, se met pourtant au travail et publie une traduction des trois Critiques, vers 1850, au moment où l'on songe à instaurer la République et, en tout cas, la démocratie. La lecture de ces textes, permet de se faire une nouvelle idée des problèmes que pose la vie en société. De même que la conscience du sujet moral doit être éclairée pour qu'il puisse prendre une décision convenable, l'esprit du citoyen doit l'être pour qu'il puisse participer efficacement à la vie publique. Le dernier ouvrage de Kant, publié en 1803 est d'ailleurs consacré à la pédagogie et l'on dirait qu'il met, une fois de plus ses pas dans ceux de Rousseau qui a publié la même année, en 1762, le « Contrat social » et l'« Emile ». Le fait que ces deux ouvrages aient été édités à si peu d'intervalle suffirait à montrer que, pour Rousseau, il existe bien un lien entre l'organisation de la société et les questions d'éducation mais il va plus loin puisqu'une page entière du « Contrat social » est tout simplement recopiée, mot pour mot, dans l'« Emile ». Il ne fait donc pas de doute, en cette fin de l'ère des Lumières, que la vie sociale, surtout si on veut que tous ses membres y participent activement, ne peut se passer d'une éducation efficace.

Cette idée est présente dans les projets d'organisation d'un service éducatif qu'essaient

de mettre en place les assemblées révolutionnaires. Elle est formulée explicitement sous la Convention thermidorienne, par le rapport que présente Lakanal au Comité d'Instruction publique où on peut lire : « l'instruction est le plus ferme appui de la liberté ». Cette phrase anodine est reprise par tous les dirigeants des départements français et, cependant, ni la Convention ni le Directoire qui lui succède ne réussissent à mettre en place le système d'éducation ouvert à tous les enfants dont avaient rêvé les révolutionnaires. Cette ambition n'est que partiellement réalisée par Guizot en 1833, il oblige pourtant les départements à créer une Ecole normale et les communes à ouvrir une école primaire. Afin de montrer l'importance des mesures prises, il adresse une longue lettre aux instituteurs où il précise le rôle ambitieux de l'école. L'objectif, outre la diffusion du savoir, est clairement le renforcement des cadres sociaux à tous les niveaux et notamment à celui qui concerne l'ensemble de la population : « Quant à l'éducation morale....vous n'ignorez pas qu'en vous confiant un enfant, chaque famille vous demande de lui rendre un honnête homme et le pays un bon citoyen ». C'est traduire en actes, en tenant compte de l'évolution politique et de celle des mœurs, les projets avortés du temps de la Révolution.

Les objectifs du siècle précédent ne seront pourtant atteints qu'après la fondation de la République. Les écoles qu'avait fait construire Guizot pourront être fréquentées gratuitement par des enfants désormais obligés de s'instruire. Jules Ferry et ses successeurs organisent, en 1886, le système scolaire, fixent les programmes des différentes disciplines et donnent des instructions détaillées aux maîtres sur la façon de les enseigner. Les objectifs semblent modestes puisqu'on dit que l'école a pour rôle de faire apprendre « ce qu'il n'est pas permis d'ignorer ». En réalité, quand on parcourt les programmes ou qu'on feuillette les manuels en usage à l'époque, on s'aperçoit qu'ils sont beaucoup plus ambitieux que ceux d'aujourd'hui. Visiblement, on veut que le citoyen puisse participer efficacement à la vie de la nation.

On veut aussi qu'il se conduise correctement et qu'il devienne « l'honnête homme » qu'avait voulu Guizot. C'est pourquoi, on insiste particulièrement sur l'enseignement de la morale dans le décret organique du 18 janvier 1887 et dans les Instructions officielles qui le complètent. Leur texte n'est pas disponible mais les dispositions qui concernent la morale sont intégralement citées dans les Instructions de 1923. La longueur du texte est révélatrice de l'importance qu'on veut donner à l'enseignement de la morale, on lui consacre huit pages alors que celui de la langue française ne s'en voit attribuer que six ; et pourtant les horaires hebdomadaires ne sont pas comparables, une heure seulement est prévue pour la morale, quel que soit le cours, tandis que l'horaire de l'enseignement du français varie de neuf heures au Cours préparatoire à onze heures au Cours moyen. Autre signe qui ne trompe pas sur la place éminente que l'on veut donner à l'enseignement de la morale : elle a la première place à la fois dans les programmes et dans les instructions. Il ne fait pas de doute que, au-delà du savoir pratique dont on a besoin pour résoudre les problèmes de la vie courante, on veut munir le petit Français d'une solide armature morale.

En cette fin du XIX^{ème} siècle, on dispose d'une présentation nouvelle de la morale puisque les grandes œuvres de Kant sont désormais traduites. Comme elle fait appel à la raison, elle est cohérente avec la démocratie qui, avec la III^{ème} République, préside désormais aux destinées de la nation. De plus, comme il existe un conflit plus ou moins larvé avec l'Eglise catholique, que les promoteurs des lois scolaires sont en majorité des protestants, une morale s'appuyant sur la raison est en accord avec les objectifs de l'enseignement laïc tel qu'il est défini dans la loi organique de 1886.

Cependant, elle prend en compte les habitudes de pensée d'une société qui reste, plus ou moins consciemment, imprégnée de la culture chrétienne. Le programme de morale commence par les devoirs envers Dieu, ce qui semble naturel puisque les rapports avec l'Eglise sont régis par le Concordat de 1801 et, qu'en fait, le catholicisme apparaît encore comme la religion de la majorité des Français.

Le quart d'heure consacré à la morale est fixé au début de la journée comme l'était la prière dans les écoles religieuses ; la leçon commence par le récit d'une action exemplaire qui apparaît comme le modèle à suivre, un peu comme dans les paraboles de l'Évangile. La différence réside dans le fait que l'enfant, n'étant pas capable de tirer seul la leçon de l'exemple donné, le maître le fait avec la participation de la classe et, pour qu'on ne l'oublie pas, écrit au tableau la maxime qui sera soigneusement recopiée sur le « cahier du jour ».

Le dispositif pédagogique prévu pour la morale par les instructions de 1887 reste inchangé en 1923 et même en 1938. Non seulement les horaires restent identiques, mais les nouvelles instructions renvoient à celles de 1923 qui, elles-mêmes, se contentaient de citer celles de 1887, si bien que si on s'en tient à la lettre des textes, l'école du Front populaire était, pour ce qui touche à la morale, régie par des dispositions remontant presque à Jules Ferry. La période de la guerre, malgré la suppression des Ecoles normales, n'apporte aucune modification et les timides Instructions de 1945 se contentent de prolonger l'existant.

Pourtant, insensiblement, l'évolution des mentalités et surtout l'essor considérable des techniques modifient, sans qu'on y prenne garde, les structures de la société. Le système éducatif non seulement n'est pas épargné, mais comme il apparaît comme la vitrine du monde moderne, il en est le plus profondément atteint et la morale qui en est en quelque sorte le symbole en fait les frais plus que les autres disciplines malgré l'arrivée des mathématiques modernes ou de la grammaire structurale. Avec le slogan « il est interdit d'interdire » qui fera florès quelques années plus tard, on voit mal comment on pourrait maintenir inchangé l'enseignement de la morale tel qu'on l'avait mis en place presque un siècle plus tôt.

D'ailleurs, dans la vie quotidienne de la classe, la morale se distingue déjà des autres disciplines. Les élèves n'ont pas de manuel car le contenu de l'enseignement n'est pas facile à définir et que chaque maître peut l'interpréter en tenant compte de la vie de la classe si bien que peu de pédagogues se risquent à en rédiger. Il en existe bien à l'usage des instituteurs mais,

outre la difficulté tenant au contenu, les éditeurs hésitent à les imprimer car au lieu du million d'exemplaires qu'on peut espérer pour les autres matières, il faut se contenter de quelques dizaines de milliers. Pourtant, la véritable difficulté est ailleurs. Contrairement à la grammaire ou au calcul, le maître est libre de donner à la leçon de morale le contenu qui lui semble le plus approprié ; certes cette liberté existe en musique ou en dessin mais elle n'a pas le même poids. L'instituteur sait qu'il a la responsabilité de l'avenir de ses élèves, il le ressent presque physiquement à chaque instant de la journée mais il en a une conscience encore plus aiguë au moment d'enseigner la morale. Quand il voit tous les regards des enfants fixés sur lui d'une façon un peu différente de leur attitude habituelle, il se rend compte que « avoir charge d'âme » n'est pas simplement une façon de s'exprimer mais qu'elle renferme une réalité qui lui fait prendre conscience de l'importance de sa mission.

Cette mission est beaucoup plus difficile à définir qu'au temps de Jules Ferry. A cette époque, la République était à construire et l'école trouvait naturellement sa place dans cette entreprise ; on savait dans quel type de société on voulait vivre et enseigner la morale était donc relativement facile puisqu'on avait une idée de ce que serait le monde quand les enfants auraient grandi et seraient devenus des adultes. Pourtant, dès cette époque, le développement rapide des techniques, s'il facilitait la vie quotidienne, apportait paradoxalement un élément d'incertitude car il ne permettait plus, comme jadis, de se faire une image claire du futur. Dès lors, comment enseigner les règles qu'il conviendrait de suivre dans la société future qu'on ne pouvait décrire ?

Dans le système éducatif, comme dans toute entreprise, le poids des habitudes est considérable ; dans les classes, on a donc continué, pendant longtemps, vaille que vaille, à suivre l'emploi du temps qui prévoyait un quart d'heure de morale quotidien mais, au Ministère, où on a une conscience plus claire des transformations en cours, on modifie le contenu des Instructions officielles pour qu'elles soient mieux adaptées au monde

contemporain. Contrairement à l'idée qu'on s'en fait dans le public, les enseignants du 1^{er} degré lisent peu les textes diffusés par le ministre, néanmoins, peu à peu, on assiste à l'abandon de l'enseignement moral structuré et régulier. Les Instructions de 1975 reflètent cette tendance et, en plus, pour la première fois, retirent à l'école le rôle primordial qu'elle avait dans l'enseignement de la morale : « l'école assure conjointement avec la famille l'éducation morale et l'instruction civique » . On va plus loin en 1985 ; alors que l'instruction civique n'était enseignée qu'au Cours moyen et prolongeait donc les leçons de morale antérieures, on inverse les perspectives : « éminemment morale, l'éducation civique développe l'honnêteté, le courage, le refus du racisme » On poursuit dans ce sens en 1995, en 2002 et en 2008 ; la morale ne se distingue plus de l'instruction civique, elle en découle et on va même jusqu'à penser implicitement que seule l'éducation civique doit être enseignée puisque, dans les Instructions de 2002, on ne trouve même plus le mot « morale » que ce soit comme adjectif ou comme nom.

Ces changements dépassent l'usage du vocabulaire et la place d'un mot dans une phrase ; il s'agit, en fait, d'une autre conception de la morale. Celle qui était implicitement contenue dans les Instructions officielles de 1887 à 1945, dépendait de la description faite par Kant de la loi morale qui donnait la priorité au sujet qui, éclairé par la raison, était seul maître de la décision à prendre. En faisant dépendre la morale de l'éducation civique, on donne maintenant la primauté à la société dont, pense-t-on, les règles générales qu'elle fixe peuvent servir à résoudre les cas particuliers. C'est, sans qu'on s'en réclame explicitement, se placer dans la perspective du marxisme selon lequel les actions de l'individu sont totalement déterminées par l'intérêt général envisagé au niveau social. On n'accède donc plus à la vérité morale grâce à la liberté de l'individu et, dès lors, on est tenté de remonter encore plus loin dans l'histoire quand les prescriptions morales étaient contenues dans la loi qu'avait reçue Moïse pour permettre au peuple juif de résoudre les problèmes de la vie quotidienne. Même dans l'Évangile, le contenu de la loi, en ce qui concerne la morale, reste celui du

Décalogue. Pourtant ; il revient au fidèle d'interpréter les paraboles du Christ pour en dégager la conduite à tenir chaque fois qu'un problème se pose. Il y a donc une indéniable évolution par rapport à l'Ancien Testament. L'évolution se poursuit avec la conception kantienne de la morale qui donne un rôle éminent au sujet mais, deux siècles, après Kant et la Révolution de 1789, le monde a changé et il est donc légitime de s'interroger sur la place qui lui est réservée dans le monde moderne.

Le monde dans lequel nous vivons semble très différent de celui de Kant mais on peut avancer que le philosophe de Königsberg serait heureux de constater que le sujet dont il avait décrit le rôle dans la morale a maintenant sa place dans le gouvernement de la plupart des sociétés puisque la démocratie dont il avait rêvé après Rousseau semble devoir se généraliser malgré les difficultés. L'instauration de l'instruction obligatoire dans les pays développés, son installation progressive dans ceux dont la situation économique n'avait pas permis de le faire plus tôt, augmenterait encore son plaisir puisque son dernier ouvrage, publié en 1803, un an avant sa mort, était consacré à l'éducation. Le sujet, capable de se conduire moralement est maintenant, grâce à l'instruction, en mesure de participer activement et efficacement à l'organisation de la société dans laquelle il vit

Les connaissances de base qui lui sont dispensées par l'école vont de pair avec les progrès de la science dont Pasteur, au XIX^{ème} siècle, donne l'image emblématique .Si importantes qu'elles soient, les découvertes scientifiques n'ont pas de conséquences immédiates dans la vie quotidienne ; il en va tout autrement du progrès technique ; la machine à vapeur, l'électricité, ont non seulement des effets que tout le monde peut constater mais sont riches de développements futurs qui interviennent de plus en plus rapidement . En fait, le monde moderne est entièrement dépendant d'une technique qui ne repose plus, comme jadis, sur des savoir-faire humains mais sur l'utilisation de machines de plus en plus perfectionnées. Ce progrès technique met de nouveaux outils à la disposition des chercheurs si bien que se crée

une sorte de dialectique entre la technique et le savoir qui sont de plus en plus dépendants l'un de l'autre.

Jusque dans les années 1950, les machines, même les plus nouvelles, avaient un air de ressemblance parce que beaucoup d'entre elles étaient le perfectionnement d'un mécanisme antérieur ou d'un système plus ou moins comparable. L'électricité a donné lieu à d'innombrables applications et le moteur à explosion n'est pas très éloigné, dans son fonctionnement, de la machine à vapeur. Il en résulte que la plupart des utilisateurs de ces machines comprennent leur mécanisme et peuvent souvent détecter la cause de la panne quand elle vient à se produire même s'ils ne sont pas capables de faire la réparation correspondante. L'informatique qui ne s'est véritablement généralisée que depuis une vingtaine d'années n'a aucune de ces caractéristiques. Elle peut être utilisée dans une multitude de domaines, et le fonctionnement de l'ordinateur et de tous les appareils qui lui ressemblent est loin d'être transparent. On sait l'utiliser mais on ne sait pas comment il fonctionne. Au moment où j'écris ces lignes, je sais comment utiliser le clavier de l'ordinateur mais je n'ai pas la moindre idée de ce qui se passe ensuite. Cette ignorance du fonctionnement de tous les appareils ayant recours à l'informatique ne nuit nullement à son développement ; elle est maintenant présente dans tous les domaines de l'existence humaine même si l'utilisateur l'ignore bien souvent. En fait, sa découverte est probablement aussi importante que celle de l'imprimerie.

Elle ne met en œuvre rien qui soit matériel sauf le résultat de son action. Elle est comparable au cerveau humain qui est capable non seulement de commander les muscles du corps pour exécuter un mouvement mais encore de relier deux concepts pour résoudre un problème. Dans le dernier cas, on ignore ce qui se passe dans notre cerveau. Ce qui a lieu dans l'ordinateur ou dans le téléphone portable semble relever d'un processus analogue. Cette comparaison reste extérieure car on ignore les mécanismes utilisés dans l'un et l'autre cas, et pourtant, elle semble justifiée puisque on sait

maintenant mettre au point des logiciels qui sont capables d'apprentissage, de corriger les erreurs commises, bref de se comporter, sans intervention humaine, comme une intelligence. On peut donc parler, sans abus de langage, d'« intelligence artificielle ». Si on arrive à relier directement le cerveau humain aux mécanismes de l'ordinateur, on parviendra à dépasser les pouvoirs habituels de l'homme. C'est ce qui se passe dans ce que l'on appelle le « transhumanisme » qui n'est pas un rêve ou une utopie puisqu'on a pu constater les premières réussites. Ces succès spectaculaires dépassent pourtant les savoir-faire habituels ; on est capable, depuis longtemps, d'aider une machine à faire fonctionner un organe ou même de se substituer à lui mais jamais on avait réussi à le faire pour le cerveau qui pilote tout ce qui se passe dans l'organisme. L'homme sait, depuis longtemps, se faire aider par des machines, les différentes sortes de moulins en sont la preuve ; il s'est, peu à peu, habitué à voir s'accélérer le rythme du progrès mais il en avait toujours commandé les étapes et voici que, pour la première fois, cette maîtrise lui échappe. Si une machine qu'il a inventée est capable d'analyser un problème et ensuite de prendre la décision qui s'impose, il va se trouver dans la situation de l'apprenti sorcier, sauf qu'il n'est plus le personnage du poème de Goethe mais bien un être de chair et de sang vivant dans une société.

Cette société dans laquelle il vit est donc, en quelque sorte, en proie au progrès, ce progrès qu'il ne sait plus maîtriser si bien qu'il ne peut plus imaginer ce qu'elle sera, à l'avenir, comme il l'avait fait jadis. Or, on ne peut organiser un système éducatif sans savoir ce que sera la société du futur, soit qu'elle demeure presque inchangée, comme ce fut le cas pendant des siècles, soit qu'on ait un projet pour l'avenir. Toutes les disciplines dépendent de l'image qu'on se fait de la société dans laquelle vivront les enfants qui sont à l'école à un moment donné mais c'est encore plus vrai pour la morale qui enseigne la façon de se comporter avec les autres. Le désarroi dans lequel se trouvent actuellement les responsables de l'organisation de notre système éducatif traduit très clairement les incertitudes où nous nous trouvons et la difficulté que nous avons à bâtir

un projet de société. Ces incertitudes et ces difficultés sont même ressenties au niveau de l'individu puisque, en dépit des outils dont il dispose grâce aux progrès techniques, il a du mal à envisager son avenir.

L'homme d'aujourd'hui, comme la société dans laquelle il vit, se trouvent donc dans une situation à la fois difficile et paradoxale. L'un et l'autre auraient besoin d'une règle de vie et d'un objectif clairement définis mais ils ne peuvent, ni formuler la règle du «vivre ensemble », ni se faire une image de leur avenir, alors que la complexité du monde moderne les rend plus nécessaires que jamais. Et pourtant, comme le disait Paul Valéry, « il faut tenter de vivre ». La seule solution possible, même si elle apparaît peu satisfaisante, est d'utiliser les solutions qui ont fait leur preuve dans le monde d'hier et particulièrement à l'école afin que les adultes de demain ne soient pas entièrement démunis. Il faut donc enseigner résolument la morale à l'école primaire quitte à adapter la pédagogie aux intérêts des enfants d'aujourd'hui qui ne sont plus ceux du temps de Jules Ferry. Il faut même, pour couvrir toute la scolarité obligatoire, l'étendre aux années du collège car l'adolescence est l'âge auquel on se pose les questions sur la meilleure façon de vivre et qu'on peut donc s'attendre à ce que les heures consacrées à la morale suscitent un réel intérêt.

En achevant cet exposé, je suis bien conscient que mes suggestions ne reflètent, ni les modestes espoirs de Guizot, ni l'enthousiasme raisonné de Jules Ferry ; je peux seulement souhaiter que quelqu'un soit, un jour, capable d'analyser les caractéristiques de notre monde compliqué et d'en tirer les leçons pour permettre aux hommes du futur d'y vivre ensemble aussi bien que possible.

Pierre Muckensturm

**Membre titulaire
Académie d'Orléans**

Communication du jeudi 18 janvier 2018

La France du vélo

Christian de Valence

Résumé

Il fallut plusieurs dizaines d'années pour que le vélo devienne un moyen de déplacement largement utilisé. De nombreux perfectionnements en ont fait un véhicule à la fois pratique et économique et il s'est imposé à partir des années 1900 et jusqu'à 1940 en répondant à des besoins croissants de mobilité que ne pouvaient satisfaire ni les voitures à cheval, ni les transports publics, ni encore les voitures. Les villes se sont ensuite adaptées à la circulation en voiture, les deux-roues motorisés ont pris en France un développement fulgurant ; les politiques d'urbanisme, les règles de circulation routière, une mauvaise image ont mené l'usage du vélo à une quasi disparition. En réaction contre l'usage de la voiture, contre la congestion automobile, fort des bénéfices que sa pratique produit sur de multiples plans, son usage remonte dans les grandes villes à partir des années 2000, et maintenant à l'extérieur des centre-villes. La pression croissante d'un large public et l'apparition de politiques urbaines pour le favoriser, redonnent au vélo un vrai avenir.

Abstract

It took several decades for the bike to become a widely used means of travel. Numerous improvements have made it a practical and economical vehicle, and it has emerged from the 1900s to the 1940s in response to the growing need for mobility that neither horse-drawn cars nor public transport, nor cars could satisfy. The cities then adapted themselves to the traffic by cars: the two-wheeled motorized took in France a dazzling development; urban planning policies, road traffic rules and a bad image have led to the use of bicycles almost disappearing. In reaction against the use of the car, against the car congestion, based on the strong multiple plans benefits induced by its practice, its use goes up in the large cities since the years 2000, and now even outside downtowns. The growing pressure of a large public and the emergence of promoting urban policies, give back to cycling a real future.



Le vélo est depuis plus d'un siècle un de nos moyens de déplacement. Sa pratique est, aujourd'hui, un sujet sur lequel la plupart d'entre nous ont un avis tranché, ou bien de l'indifférence. Parler du vélo, comme le pratiquer, pouvait il y a encore dix ans paraître futile, ou dénoter quelque originalité ou marginalité. Mais notre société change, le vélo a une certaine actualité – nationale et locale – et dans les prochains mois on s'attend à ce qu'il ait sa place dans une Loi d'orientation des mobilités que prépare la ministre des transports Elisabeth Borne. Cet engin du passé pourrait avoir un bel avenir.

La France du vélo commence par une invention, se poursuit par une révolution de la mobilité, s'étouffe ensuite, avant de renaître. Mon propos est d'en faire l'histoire, de l'expliquer, en lien avec nos évolutions économiques et urbaines. Puis d'en décrire l'état actuel, avec les éléments propres à dessiner ce que peut être son avenir. La France du vélo doit aussi s'analyser au regard des trajectoires différentes des pays d'Europe. Et, sous ce titre court, la France du vélo, je parlerai du vélo moyen de déplacement, peu du vélo objet de loisir et du vélo sportif.

Une invention conquérante

L'histoire du vélo commence par celle de son invention. A l'origine du vélo, la recherche de moyens de se déplacer autrement qu'à cheval ou en voiture à cheval. Au début du XVIII^e siècle, un Orléanais, l'abbé Jean de Hautefeuille, voulut perfectionner la chaise à porteur ; son invention, modeste, n'eut pas de suites. La machine à vapeur, un siècle après l'invention de Denis Papin, est en opération, à poste fixe comme sur rail depuis 1804, et sur l'eau. Le fardier de Cugnot a fini accidenté à 4 km/h. Le moteur à explosion, dont l'invention remonte soit à Hautefeuille, soit à Christian Huygens aidé par Denis Papin, en 1678, ne sera effectif que dans les années 1850. Il y eut des voitures à quatre roues à pédales. Une idée révolutionnaire vient de l'invention par le baron Drais, en 1817, d'un engin sur deux roues. C'est la draisienne. Elle est brevetée en 1818, commercialisée en France et a un succès d'estime pendant quelques années. Le baron Drais a parcouru 14,7 km en une heure, soit près de deux fois plus vite qu'à cheval. Une

course eut lieu en 1818 dans les jardins des Tuileries. Cet engin resta un objet de loisir, d'amusement. Son grand mérite est d'avoir montré qu'on peut conserver un équilibre en roulant sur deux roues, mais il s'agit encore d'un équilibre provisoire. Il faudra 40 ans pour concevoir le premier cycle à pédales, puis encore trente ans d'innovations majeures pour arriver au vélo moderne.

En 1861, un serrurier, Pierre Michaux, fixe des pédales sur la roue avant d'une draisienne. La structure en bois est remplacée par de la fonte malléable, un frein apparaît sur la roue arrière. Mais c'est Pierre Lallement qui dépose le premier brevet (américain) en 1866. En 1867, à l'Exposition universelle de Paris, grand succès du vélo des frères Michaux qui ont lancé une usine de fabrication de ce qui s'appelle le vélocipède. Ce sont alors des objets de luxe. La firme Michaux produit 2 vélocipèdes (ou « michaudines ») en 1861, 142 en 1862, puis ce sont 400 engins qui sortent de l'usine en 1865 et, en 1868, les 250 ouvriers de l'entreprise en fabriquent 12 par jour. Le grand bi apparaît vers 1872.

Il faut encore vingt ans pour passer du grand bi, machine réservée à quelques originaux, au vélo universel. Ce sont une série d'innovations qui vont rendre le vélo performant :

- l'utilisation du roulement à billes, les bandages en caoutchouc plein, par Clément Ader (1869) ;
- les rayons en acier tendu, les cadres en tubes (1870) ;
- la transmission par chaîne, par l'Anglais Henri Lawson, la première bicyclette (1881) ;
- la première bicyclette aux roues de taille semblable (1884) ;
- le pneu creux gonflé d'air, avec valve, par l'Écossais Dunlop (1888) ;
- le pneu aisément démontable, avec chambre à air, par les frères Michelin (1891).

En 1891, le vélo moderne est né. D'autres perfectionnements arrivent encore avec l'invention du dérailleur (1895), ou le moyeu avec roue libre, par l'Allemand Sachs (1897).

Après la guerre de 1870, l'industrie du cycle se développe : d'abord en Angleterre (à Coventry, le pays de la machine à coudre), puis en France. Peugeot fut fabricant de vélocipèdes dès 1882, avant même de se lancer dans la construction automobile. Sa division « Cycles et Motocycles » fut le plus solide et le plus durable fabricant de bicyclettes français. La « Manufacture française d'armes et cycles », à Saint-Étienne, bien connue par sa marque « Hironnelle », fabriqua des bicyclettes de 1889 à 1980 ; ce fut jusqu'au milieu du XX^e siècle le plus grand constructeur français de bicyclettes et l'un des rares à en produire lui-même la quasi-totalité des équipements. Un autre grand constructeur français de bicyclettes (jusqu'à 1 200 employés) fut Ravat, à Saint-Étienne, avec sa marque « Wonder ». Fondée vers 1900, elle a fait faillite en 1956.

Les premières courses cyclistes sont organisées, la première au monde entre Paris et Versailles, en 1867. Il y avait environ 150 participants, dont un académicien et des princes, qui ont pris le départ ce jour-là, un dimanche 8 décembre, par - 12 °C. On sait que les trois premiers ont mis une heure pour parvenir à Versailles. Le 31 mai 1868, la *Compagnie parisienne*, qui fabrique et distribue les vélocipèdes de type Michaux, organise une course cycliste en France dans le parc de Saint-Cloud. 1869 voit la première grande course entre Paris et Rouen (123 km). Le vélo devient un des sports qui se développent fortement en France dans les années 1880. Il y a une multiplication des courses : 1891, Bordeaux-Paris-Bordeaux, Paris-Brest-Paris ; 1893, Vienne-Berlin, 582 km à 19 km/h de moyenne, plus du double du trajet à cheval ; 1903, premier Tour de France. Dans le premier quart du XX^e siècle, la course cycliste est devenue un des sports les plus populaires.

La presse sportive « vélo » se développe : le quotidien *Vélo*, fondé en 1892, tire à 80 000 exemplaires en 1894 ; l'hebdomadaire *Bicyclette* tire à 20 000 exemplaires. Elle fait la promotion des courses cyclistes. Ce sont les journaux qui lancent les courses cyclistes et les courses cyclistes font vendre les journaux.

En 1870, le prix de ces deux roues est encore élevé, ce qui les réserve aux classes aisées pour les loisirs et le tourisme. À partir de 1870, le vélo

devient le symbole du progrès et de la modernité. Les classes aisées l'adoptent, ainsi que les milieux populaires, pour son usage sportif. Des clubs se créent dans de nombreuses villes. L'Union vélocipédique de France fédère alors, en 1881, 53 clubs. Le Club vélocipédique d'Orléans apparaît en 1890, domicilié au café Saint-Aignan.

Le vélo a une bonne image, comme le souligne cette expression de « la petite reine », selon le titre d'un livre paru en 1891, *la Reine Bicyclette*. La couverture représente une jeune femme tenant à bout de bras une bicyclette légère au-dessus de sa tête.

Libération de la femme

Les femmes s'emparent de ce moyen de déplacement qui leur donne une grande liberté de mouvement. En 1895, le tiers du *Cycle Touring Club* britannique sont des femmes. Il est déjà cité comme un outil d'émancipation des femmes. Cette liberté de mouvements s'accompagne de l'évolution du vêtement, avec l'adoption du pantalon cycliste. Une révolution, si l'on sait que la loi du 17 novembre 1800 interdisait aux femmes de porter le pantalon. Cette loi précisait que « Toute femme désirant s'habiller en homme doit se présenter à la Préfecture de police pour en obtenir l'autorisation ». Cette interdiction a été partiellement levée par deux circulaires de 1892 et 1909 autorisant le port féminin du pantalon « si la femme tient par la main un guidon de bicyclette ou les rênes d'un cheval ». Illustrons cet engouement féminin par cette lettre d'une jeune femme à son frère : vers 1896, Gabrielle (vingt ans), à Lorient, écrit à son frère Maurice (dix-huit ans) :

« Je fais des progrès dans cette dernière voie [la bicyclette]. Je ne pédale pas encore sur les grandes routes ! Ne t'extasie pas ! Je viens seulement de commander mon costume ! Le pantalon-jupe ; j'ai hésité un moment à prendre la jupe mais outre que cela aurait fait trop de plaisir aux d'H. Je craignais d'être maladroite et de m'accrocher partout. »

Un prix compétitif et une production en masse

Vers 1890, le vélo est produit en masse, son prix devient abordable, il passe du vélo loisirs au vélo utilitaire. Il passe du vélo symbole de modernité, pour les classes aisées, au vélo pour

tous, et bien considéré. Selon le spécialiste Jacques Seray, la France compte 50 000 bicyclettes en 1890, elle en possède 300 000 en 1895, pour atteindre le million en 1900. En 1914, le parc de vélos en France est de 3,5 millions en 1914. Vers 1897, dans son *Manuel pratique du constructeur et du conducteur de cycles et d'automobiles*, H. de Graffigny estimait à trois cent mille le nombre de cyclistes en France. Il exagérait, mais ceux qu'un journal parisien avait traités avec mépris "d'imbéciles à roulettes" faisaient désormais partie du paysage.

Un prix compétitif

La bicyclette la moins chère coûtait en 1893 l'équivalent de 1.655 heures de travail d'un ouvrier d'usine en province. En 1894, une très bonne bicyclette de travail avec les pneus Michelin coûte 400 francs (400 francs valent en 2016 1500 euros). En 1900, le prix d'un bon vélo représente trois mois de paie d'un ouvrier mécanicien, six mois pour un manœuvre. Vers 1911, les salaires ayant augmenté et les prix ayant baissé, un modèle bon marché coûtait l'équivalent de seulement 357 heures de travail, soit presque moitié moins qu'une machine à coudre, ce qui était dans les moyens des ouvriers célibataires (selon les études de Jean Fourastié). Son prix, mesuré en heures de travail d'un ouvrier professionnel, est divisé par dix en quarante ans entre 1895 et 1935.

Premières réglementations.

Les réglementations de la circulation à vélo apparaissent, car l'on roule vite à vélo et en nombre croissant. D'abord, c'est officiellement un véhicule et il lui est interdit de rouler sur les espaces piétonniers. Une taxe de dix francs apparaît en 1893 quand le vélo est encore considéré comme un objet de luxe et elle ne sera supprimée qu'en 1958. Elle fut créée pour financer en théorie des aménagements cyclables, ce qui ne sera jamais le cas. La Belgique, l'Italie et les Pays-Bas créeront aussi une taxe. Cette taxe nous permet, au moins, de connaître le parc de vélos en France.

Les premiers aménagements spécifiques au vélo apparaissent pour les sorties de ville, et des destinations de loisir. Tant pour le séparer des autres véhicules que pour lui permettre d'avoir des chaussées roulantes, au milieu des pavés et

du macadam dégradé. Paris crée une voie vélo ou « trottoir cyclable » avenue de la Grande Armée, pour rejoindre le bois de Boulogne. Les premières revendications des cyclistes portent sur la demande de bonnes chaussées.

L'usage massif dans la première moitié du XX^e siècle.

L'essor du vélo a lieu dans toute l'Europe, presque dans toutes les couches de la société, et en particulier dans les classes populaires. Le cycliste est un ancien piéton et ce moyen de déplacement est alors bien adapté à l'environnement urbain. L'usage principal du vélo est pour se rendre au travail. Il n'existe pas pour cette époque de statistiques de parts modales, mais des témoignages multiples l'attestent. En France, la banlieue de Paris est inondée de cyclistes, le phénomène a lieu dans toutes les grandes villes. On peut se baser sur le nombre de vélos vendus pour affirmer qu'à cette époque, les Français utilisent autant la bicyclette que les Allemands. Presque autant que les Belges ou les Danois, mais bien moins que les Hollandais.

Le vélo devient un instrument de déplacement de nombreuses professions. Les pompiers dès 1890, la gendarmerie en 1898 ; l'armée en 1913, qui crée alors des bataillons de chasseurs cyclistes, et utilise la bicyclette Gérard, qui pouvait se porter repliée sur le dos avec des bretelles, sans gêner le tir debout ; pour le portage aussi, comme les livreurs de journaux.

Le vélo concurrence les transports publics

Parallèlement, les transports en commun se sont aussi fortement développés. On circulait beaucoup dans les années 1870 à cheval, en voitures particulières ou en omnibus. En 1902, on compte encore 110 000 chevaux à Paris. De 1874 à 1880, le tramway apparaît dans la plupart des grandes villes de France. Il est alors hippomobile puis il passe à la vapeur qui prend une extension rapide à partir des années 1880, avant que le tramway électrique ne le remplace dans les années 1895-1900. En 1899, Orléans remplace ses tramways à chevaux par des motrices électriques. Le tramway électrique va s'imposer dans les villes de toute taille. A Paris, la ligne de métro n° 1 est inaugurée en 1900.

Dans les années 1920, les lignes de bus apparaissent. Puis la plupart des tramways deviennent obsolètes, fragiles et usés, et surtout gênent la circulation des voitures. Dès avant la guerre 40, les lignes de tramways sont supprimées, les dernières cessent dans les années 1950, à Bordeaux en 1958. L'avenir du vélo n'est pas encore entravé par ces moyens collectifs. Son usage est peu coûteux, il permet des trajets directs et rapides, et il provoque la baisse des recettes des omnibus, des voitures à cheval, des tramways.

1920-1940. Accès des classes populaires aux loisirs et décloisonnement géographique

Au-delà des avantages pour les déplacements liés au travail, la bicyclette permet aux classes populaires de voyager librement, à peu de frais. Pour les loisirs comme pour sortir de l'espace urbain. Le vélo devient un instrument de liberté. Et, avec la démocratisation de la bicyclette, le sport cycliste lui aussi va être pratiqué par un grand nombre de coureurs issus de la classe ouvrière. Le vélo prend désormais une image populaire, la bourgeoisie passant progressivement à l'automobile.

La ville et sa voirie s'adaptent à l'essor de l'automobile

La voiture se répand à partir de 1890. Parmi ses premiers constructeurs, figurent des fabricants de vélo qui passent à la fabrication automobile, comme Peugeot, Rover, Opel. Les pays qui n'ont pas de constructeur automobile, comme les Pays-Bas, auront une attitude dynamique envers le vélo. En 1903, 62 000 voitures sont produites dans le monde, dont la moitié en France. La voiture est très minoritaire mais impose d'adapter la rue et la route à elle. L'urbanisme et les règles de circulation s'adaptent à l'automobile et au trafic grandissant : premiers sens uniques en 1920, qui allongent le trajet des cyclistes ; code de la route en France en 1922 ; premiers feux de signalisation en 1923 ; premières ondes vertes en 1930 ; premiers tunnels en 1930. Disparition à partir des années 1925 des réseaux de tramways, qui sont des obstacles aux voitures. En France, avant-guerre, le réseau routier est de 700 000 km, et le réseau vélo ne compte que 1200 km. Certains pays ont une situation bien différente :

les Pays-Bas, en 1938, ont 2 675 km de pistes cyclables, à comparer à un réseau routier de 6120 km. L'Allemagne, avant-guerre, compte 11 000 km de pistes cyclables, surtout réalisées sous le régime nazi qui fait un gros rattrapage, voulant dégager les cyclistes des routes pour prôner l'automobile.

Apparition des deux-roues motorisés

Les deux-roues motorisés apparaissent dans les années 30, au poids maxi de 30 kg porté ensuite à 35 kg, à vitesse limitée à 30 puis à 35 km/h et cylindrée maxi de 100 cc. Ils s'utilisent alors sans permis ni limite d'âge. Ils prendront de l'importance après la guerre 40.

Effondrement de l'usage du vélo après la seconde guerre mondiale

De 1950 à 1970, l'usage du vélo utilitaire, en France comme dans la totalité des pays européens, décline fortement. Les raisons principales sont en France l'émergence du cyclomoteur, l'essor de la voiture et l'adaptation des villes au tout-voiture.

Le développement du cyclomoteur est extraordinaire (cylindrée maxi 50 cc, vitesse limite 50 puis 45 km/h). Le Solex, né en 1946, réalise 400 000 ventes en 1964. De 1954 à l'arrivée de la concurrence japonaise, la France est leader de la production des deux-roues motorisés, avec trois constructeurs qui vendent un million d'engins par an. L'attractivité du cyclomoteur pour les jeunes est forte. En 1978, la part des deux roues (motorisés ou pas) dans les déplacements est de 11% en France comme en Allemagne. Mais 55% sont à moteur en France, très peu en Allemagne.

Le port du casque devient obligatoire en France en 1979 (1984 pour les passagers) ; le respect en France des limites de vitesse n'est pas contrôlé. Les conséquences sont en France une hausse terrible des accidents en deux-roues motorisés et une baisse plus rapide qu'ailleurs de la pratique du vélo. En Allemagne et aux Pays-Bas, les contraintes d'âge minimum et vitesse limitée sont plus strictes et le cyclomoteur est beaucoup moins attractif pour les jeunes.

L'urbanisme adapte la ville à l'automobile, avec les rocade et radiales ; les parkings souterrains et en élévation au centre ; pour les

viles anciennes, les contournements au plus près du centre historique ; on rogne les trottoirs ; on augmente le nombre de files de circulation ; les tramways qui gênaient la circulation disparaissent. On arrête à peu près tous aménagements. Les années 60-70 sont l'époque des « plans de circulation », Paris, Lyon ou Lille ont la plupart de leurs rues en sens unique. Les directions de la voirie ont toute leur importance dans les administrations locales. L'urbanisme augmente les distances. L'essor de la voiture favorise l'étalement urbain. La multiplication des grandes surfaces, spécificité française, éloigne les lieux d'achats, qui, de plus, deviennent inatteignables à vélo.

Il y a un cercle vicieux de ces dispositions d'urbanisme, avec la création d'effets de coupure, et une insécurité croissante de la circulation à vélo. L'usage du vélo devient inconfortable, la multiplication des sens uniques allonge les trajets, la régression de la pratique du vélo augmente l'insécurité. La diminution du nombre de cyclistes amène à ne plus tenir compte de leurs besoins, ce qui accentue cette régression. Le « cycliste » est une entité qui ne figure plus dans les rapports sur les déplacements, ni dans les statistiques de circulation, ni dans celles de la sécurité.

Jusque dans les années 60, on continue de se rendre à l'usine à vélo : c'est dans les villes ouvrières que la pratique du vélo résiste le plus longtemps. En 1940, 21% des déplacements urbains (marche comprise) se font à bicyclette, contre 6% dans les années 1970. Les cyclistes sont passés au cyclomoteur, à la voiture, aux transports en commun, ou vont à pied. En 1970, le vélo a quasiment disparu. La ville s'est adaptée à la voiture. Ceux qui continuent d'aller à vélo pour le travail ou pour faire leurs courses sont considérés comme des nostalgiques, des originaux, ou des marginaux. Les années 1970 voient un développement des transports en commun, c'est une mobilisation faite contre les autres modes, y compris contre le vélo. Un rapport présenté par Edouard Frédéric-Dupont au nom de la commission mixte État-ville de Paris, résume en 1976 la place de l'automobile¹ :

« La voiture est pour le citadin un facteur de progrès et de liberté, qui augmente ses possibilités de choix pour son domicile, son emploi, ses loisirs [...] La voiture a l'avantage de permettre l'urbanisation de nouvelles zones et favorise la maison individuelle [...] La voiture fait vivre deux millions de Français [...] La voiture procure 20% du budget national et, depuis janvier dernier [1976], la France est le plus grand exportateur d'automobiles du monde. »

Le député liste la série des désagréments provoqués par l'usage de la voiture (congestion, temps perdu, sécurité ...) et conclut sur le besoin d'augmenter les transports en commun qui « attirant ceux qui peuvent se passer de la voiture, sauveront l'automobile ». Il faut donc plus de TC pour décongestionner la ville et permettre aux voitures de circuler.

Le facteur de Jacques Tati est à vélo en 1949 dans « Jour de fête », mais « Mon oncle » roule à Solex en 1958. Le vélo, c'est la nostalgie déjà en 1968, avec la chanson d'Yves Montand : « Quand on partait de bon matin, quand on partait sur les chemins, à bicyclette ... »

Depuis 1940, le déclin du vélo est très élevé aussi en Grande-Bretagne, en Allemagne, aux Pays-Bas, au Danemark.

1970 - La résistance des cyclistes

Quelques voix s'élèvent contre ce tout-voiture mais elles sont très minoritaires. La crise de l'énergie (1973-1974) vient appuyer ce besoin de limiter la circulation automobile. De premières manifestations de cyclistes se multiplient dans tous les pays développés, des associations de cyclistes se constituent (Paris et Lille en 1974, Strasbourg en 1975), et se fédèrent en 1980 au sein de la Fubicy. À Paris, premiers changements : les couloirs bus créés en 1972 sont tolérés aux cyclistes, qui avaient été renvoyés à circuler entre bus et voitures ; avec le changement de municipalité en 2001, ils seront autorisés aux cyclistes, sauf certains.

Les années 1980-2000 voient un grand écart en Europe selon les pays. Arrêt de la régression, et même redressement durable dans les pays

d'Europe du Nord, mais baisse toujours en France, au Royaume-Uni, en Espagne. À partir des années 1970, Pays-Bas et Allemagne ont une politique cyclable ambitieuse : voies cyclables, premières zones 30, relance des déplacements des scolaires à vélo, double-sens cyclables généralisés, ouverture des couloirs bus aux cyclistes, sas-vélos aux carrefours, tourne à droite au feu rouge. Ainsi, par des politiques urbaines et de mobilité volontaires, les augmentations de circulation à vélo sont parfois spectaculaires : à Amsterdam, la part modale vélo passe de 21% en 1988 à 28% en 2006 ; à Fribourg : la part modale vélo passe de 15% à 28% ; Berlin-Ouest remonte de 2% en 1974 à 8% en 1990 ; Copenhague multiplie par quatre sa part vélo entre 1975 et 2005. En Grande Bretagne, l'ère Thatcher (1979-1990) est marquée par une politique d'investissements routiers, déplacements en transports en commun et à vélo stagne ou régresse.

En France, à partir des années 1970, la politique des transports en commun prédomine.

Avec la crise du pétrole, Robert Galley, ministre des transports, veut privilégier les transports en commun, mais aussi les vélos et les cyclomoteurs. Une série de mesures sont prises, financées en partie par l'État, mais de portée très locale et limitée dans le temps : en 1976, La Rochelle lance un service de prêt de 250 vélos, les vélos jaunes. Effet médiatique certain, mais les vélos sont peu adaptés et peu utilisés. 1978 : cofinancement de quelques pistes cyclables. Cette politique ne dure pas, seule Strasbourg continuera.

La théorie reste que, pour des raisons de sécurité, il faut séparer la circulation vélo de la circulation motorisée qu'il ne faut pas gêner. On arrive donc à des bouts de pistes morcelés. Et ceci dans un climat d'indifférence assez générale sur ces questions. Le vélo prend une image d'insécurité. Ainsi, en France, la Sécurité Routière publie des statistiques de sécurité alarmantes et ne distingue jamais dans la catégorie des deux-roues, les vélos des deux roues motorisés. Il faudra attendre les années 2000 pour obtenir cette séparation. En 1976, on martèle que sur 5 000 morts en circulation urbaine, 30 % étaient des usagers des deux roues. Le vélo, c'est dangereux : c'est un message

largement véhiculé qui renforce l'idée qu'il faut séparer la circulation à vélo de celle des autres véhicules, rendre le port du casque obligatoire pour les cyclistes, ne pas encourager la circulation à vélo. La résistance aux aménagements pouvant faciliter la circulation à vélo est forte en France. Certes, il y a modération de la vitesse en ville : limitation de la vitesse en ville à 50 km/h en 1990 (33 ans après l'Allemagne), la Zone 30 entre dans le code de la route. L'arrivée du tramway dans les villes (dès 1985 à Grenoble) ne vient pas toujours favoriser le vélo en prenant de la place aux voitures (et parfois au vélo comme à Orléans pour le passage sur le pont George V). Les cyclistes les plus vulnérables prennent alors le tramway. Cela ralentit la remontée de la circulation à vélo. Les couloirs bus se multiplient mais sont longtemps interdits aux vélos, car les opérateurs de transports en commun n'en veulent pas. Il faut attendre 1995 à Lille, 1999 à Paris, 2004 à Dijon, par exemple, pour obtenir leur emprunt par les cyclistes. Parmi les principaux freins à une politique d'aménagements en faveur du vélo, il faut citer en France le lobbying du commerce contre la circulation à vélo en ville, qui prend sur la part de la voiture. Avec la conviction qu'un cycliste n'est pas un bon acheteur.

Strasbourg, un cas à part

Strasbourg relance les transports en commun (décision du tramway en 1989), double les surfaces piétonnières, multiplie les aménagements cyclables ainsi que les services liés au vélo et la communication en faveur du vélo. L'existence de km de berges a favorisé la création d'un réseau cyclable. La part modale vélo est encore en baisse, à 6% en 1997, un point bas avant de remonter à 8% en 2008 (dont 14% dans le centre). Soulignons le rôle décisif pour cette politique du maire, Pflimlin (maire de 1959 à 1983, président du Parlement européen de 1984 à 1987, il n'a pas de permis de conduire), et le rôle majeur d'un pasteur, Jean Chaumien, et de l'association qu'il a fondée à Strasbourg en 1975. Les mairies suivantes ont poursuivi cette politique cyclable.

Premières mesures favorables des années 1990

Du côté des cyclistes, il faut citer la création en 1989 du club des villes cyclables, avec

quelques villes qui ne craignent pas d'afficher leur ambition pour le vélo : Bordeaux, Strasbourg, Toulouse, Lorient et Chambéry. Un premier palmarès des villes cyclables paraît en 1990. En 1995, la LAURE (Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie) affirme comme objectif « la diminution du trafic automobile, le développement des transports collectifs et des moyens de déplacement économes et les moins polluants, notamment l'usage de la bicyclette et la marche à pied ». En 1999, Paris ouvre plus largement ses couloirs bus aux cyclistes. La loi SRU en 2000 réaffirme l'objectif de diminution du trafic automobile.

Années 2000, le retour du vélo

Les années 2000 voient un renouveau en France, Grande-Bretagne, Espagne, trente ans après les pays d'Europe du Nord. Pays-Bas, Allemagne, Danemark continuent leur forte progression. Aux Pays-Bas, la part modale vélo des déplacements urbains atteint 29% (à Amsterdam, 40%) ; en Allemagne, 10%. À Copenhague, 50% des trajets domicile-travail se font à vélo, à Bâle 25%, à Bologne et à Florence 20%.

Commence en France le retour du vélo dans les centres-villes. La part modale dans les déplacements locaux s'est stabilisée, à la baisse, à 2,7 % en 2008. Avec une disparité, la hausse étant rapide dans les grandes aires urbaines (de 2,6% à 3,9%) (dont Paris : de 0,3% à 2,7%) et dans le centre des grandes villes françaises, moins dans l'ensemble de ces agglomérations. La pratique du vélo recule encore ailleurs. Cette forte différence est spécifique à la France, on n'observe pas ces écarts en Allemagne. La hausse du prix des carburants n'a pas été un réel facteur de développement de la circulation à vélo. On se souvient de la déclaration de Christine Lagarde, en 2007, alors que le gazole venait d'atteindre un nouveau record à 1,14 euro le litre, et le super sans plomb frôlait 1,30 euro le litre :

«Sur des petits trajets, quand on n'est pas très chargé, pourquoi ne pas laisser la voiture au garage? Dans les grandes agglomérations ou dans les petites villes de province, utilisons les bicyclettes.»

Ce message fut incompris d'une partie des citoyens qui n'ont justement pas d'alternative à la

voiture, notamment pour aller travailler, et le système médiatique n'a pas apprécié.

Cette recrudescence de la pratique amène les élus dans un nombre croissant de villes à vouloir développer l'usage du vélo, par des aménagements et des services. Une trentaine de villes adoptent un libre-service vélo, en premier lieu à Lyon (2005), puis à Orléans et Paris (2007), etc. Ces libres-services vélo ont légitimé l'usage du vélo. Dans les villes où leur usage a été un succès, ils ont eu lieu alors que le vélo commençait déjà à se redresser depuis cinq à dix ans. Leur usage, dans ces premières années, représentait un tiers des vélos en circulation et ils ont boosté le développement du vélo. Ils rendent un vrai service (Paris, 300 000 abonnés. Orléans : 3 000 abonnés), certes, dont le coût important vient grever les budgets que l'on accepte de consacrer à la politique vélo. Dans certains cas, ce fut une gabegie. Des villes lancent des plans vélos, de plus en plus ambitieux (Grenoble, Bordeaux, Nantes...). L'Etat adopte un plan national vélo en 2012, comportant quelques mesures : le nouveau panneau autorisant les cyclistes à tourner à droite au feu ; l'obligation de créer un local à vélos dans tout nouvel immeuble ; et fixant un objectif de 10% de part modale à l'horizon 2020. Les indemnités de trajet domicile-travail à vélo apparaissent maintenant en France, depuis 2016, vingt ans après les Pays-Bas ou la Belgique.

Les freins à la politique du vélo sont bien identifiés. Outre le coût des aménagements de la voirie, il faut convaincre les automobilistes de céder de la place au vélo, les commerçants (c'est-à-dire leurs lobbies, souvent proches des municipalités) de l'intérêt d'avoir des villes cyclables, il faut aussi avoir des services qui aient la technicité nécessaire à la conception des aménagements. Les années 2000-2010 ont également donné une certaine priorité mise par les élus aux aménagements verts (boucles de loisir, sorties de ville pour les cyclotouristes), faisant mine d'œuvrer ainsi pour le développement de la circulation à vélo.

La congestion des centres-villes par la voiture ne peut plus se résoudre à coup de millions d'euros, les budgets d'investissement des transports en commun (TC) ont beaucoup augmenté et le vélo devient une alternative très

économique. Les budgets vélos des villes qui ont une réelle politique cyclable vont alors dépasser les 10 euros par an par habitant, le double pour les villes les plus ambitieuses (soit plus de 20 euros par an par habitant).

Nouvelles incitations

L'argument écologique, du côté des cyclistes, n'est pas une motivation première. Ils prennent le vélo quand c'est pratique, efficace, économique et agréable. Les institutionnels mettent plus en avant l'argument écologique : le vélo est écologique, il faut donc le favoriser. L'argument santé a été longtemps mésestimé malgré toutes les études faites. Le premier bénéfice de la pratique du vélo pour la santé est celui de lutter contre la sédentarité que l'usage de la voiture a considérablement imposée. Dans ce bilan santé, le risque d'accident est pesé et jugé bien inférieur aux bénéfices pour la santé de l'usage du vélo, dans des proportions telles qu'on se demande pourquoi, en France, il fallut attendre 2008 pour que le ministère de la santé intègre le vélo dans ses plans santé. Cela est maintenant pris au sérieux dans les derniers rapports, comme celui de la Coordination Interministérielle pour le Développement de l'Usage du Vélo, en 2013 ; « Pour l'Etat, la sécurité sociale, les entreprises, le vélo est une bénédiction ». Dans le bilan global de l'économie du vélo, c'est l'enjeu santé qui l'emporte de loin sur tous les autres bénéfices ou dépenses.

Travailler à vélo

Aller travailler à vélo est une pratique surtout urbaine. Les distances moyennes parcourues par des cyclistes pour se rendre au travail (étude ADEME 2016) sont en vélo classique de 3,4 km et en vélo à assistance électrique (VAE) de 7,6 km. Dans les grands pôles urbains, le recours au vélo est d'autant plus important que la ville-centre est peuplée : moins de 4 % des travailleurs des communes de 50 000 à moins de 100 000 habitants, 4 % de celles de 100 000 à moins de 200 000 habitants et 6 % de celles de 200 000 habitants ou plus, à l'exception de Marseille et aussi de Paris, où seuls 4 % des actifs vont travailler à vélo. Dès qu'on franchit les limites communales des villes-centres des grands pôles, l'utilisation du vélo devient plus rare. Elle baisse de plus de la moitié dans les communes de banlieue et tombe à moins de 1% dans celles des

couronnes des grands pôles. Aller travailler à vélo reste très peu fréquent dans les zones les moins denses, malgré des distances quotidiennes domicile-travail plutôt moins longues que dans les autres zones.

Le temps de trajet

Le vélo est un moyen de transport aussi ou plus rapide que la voiture sur des distances allant jusqu'à 5 km et plus rapide que les trajets en transports communs sur des distances encore plus longues, jusqu'à 10 km. Une enquête, en 2005, sur les trajets domicile-travail a été conduite à Grenoble chez STMicroelectronics, un site qui se trouve à 5 km du centre de Grenoble. L'âge moyen des salariés y est de 37 ans. Parmi les 700 qui ont répondu, ce sont ceux qui habitent dans Grenoble qui viennent le plus à vélo (33% le font, et seulement 10% de ceux qui n'habitent pas dans Grenoble), la difficulté d'avoir ou de stationner sa voiture en ville étant plus grande qu'ailleurs. Ceux qui vont au travail à vélo sont un peu plus jeunes que la moyenne (35 ans), parcourent 5,9 km en moyenne (la moyenne générale des trajets est de 16 km), et mettent 20 minutes. Ceux qui viennent en voiture ne vont plus vite que les cyclistes qu'après 5 km et ceux en TC qu'après 10 km.

La sécurité à vélo et le risque perçu

Les accidents de la route provoquent 3 477 tués par an (2016, métropole), c'est un chiffre en forte baisse depuis le pic historique de 1972 (16 000 victimes, soit une division par cinq), et même depuis 2000 (une baisse de moitié). La mortalité routière est cependant repartie à la hausse depuis 2014. Sont inclus dans le bilan de 2016 162 cyclistes (4,7%), 734 motocyclistes et cyclomotoristes (21,1%), 559 piétons (16,1%) et 1890 usagers de véhicules divers.

85% des accidents des cyclistes ont lieu en milieu urbain mais plus de la moitié des décès de cyclistes ont lieu en-dehors des agglomérations. Ce qui indique que les accidents sont moins graves en ville qu'à la campagne. En ville, une majorité des décès concerne les cyclistes de 55 ans et plus (93 tués, dont 31 tués de 75 ans et plus). Pour les jeunes : 15 tués de moins de 18 ans. Notons aussi que l'on constate en Allemagne, où l'usage du VAE est trois fois plus marqué qu'en France, une part croissante des

cyclistes en VAE tués, dont 82% sont des seniors.

La forte hausse, récente, de la pratique du vélo n'a pas amené de hausse correspondante des accidents. Le risque d'accident augmente quand les cyclistes sont moins nombreux, les études dans divers pays convergent sur ce point. Cependant, cette règle dépend de l'amélioration des aménagements faits pour le vélo qui va de pair avec l'augmentation du trafic à vélo. Plus de cyclistes, c'est une meilleure attention des conducteurs de véhicules motorisés. C'est aussi une circulation à vélo mieux adaptée.

Une notion importante est celle du risque perçu, l'idée que l'on se fait du danger de circuler à vélo. C'est un des facteurs clés qui empêche la pratique du vélo. Il faut noter une forte polarisation de quelques lobbies sur ce point. Dans les vingt dernières années, le cycliste a souvent été stigmatisé, dans les campagnes de sécurité routière (par exemple, celle de *La Prévention routière*), comme la personne fragile, exposée. Des campagnes ont ainsi mis en avant le casque, de manière disproportionnée avec les risques réels. Il y eut amalgame aussi des risques particuliers aux coureurs cyclistes et à ceux qui roulent en peloton, plus exposés aux chutes et, bien sûr roulant hors agglomération principalement. Un amalgame aussi, avec les risques bien supérieurs des conducteurs de deux-roues motorisés. L'INPES et l'Assurance Maladie ont alors fait des campagnes, non pas pour les bénéfices santé de la circulation à vélo, mais pour favoriser le port du casque. Sur ce point de la sécurité à vélo, le journal *Le Monde*, lorsqu'il était dirigé par un spécialiste du sport à vélo, Éric Fottorino, publiait en juillet 2007, la veille de l'ouverture du libre-service Véli'b à Paris, un édito virulent sur les risques de ces cyclistes qui allaient inonder la capitale dans la circulation parisienne. Alors que très vite 40 % des cyclistes à Paris roulaient sur des Véli'b, il n'y eut aucun accident mortel de Véli'b la première année. Le nombre de tués à vélo à Paris oscille actuellement entre 0 et 6 par an.

Le port du casque

Une partie significative des décès de cyclistes pourrait être évitée par le port du casque, en particulier pour les seniors. Une étude sérieuse, dans le département du Rhône, a mis en

évidence que 17% des cyclistes accidentés ont le crâne touché (contre 31% pour les piétons accidentés, 24% pour les automobilistes accidentés). Il est pourtant impensable de faire porter un casque aux piétons, ni aux automobilistes. Le port du casque est obligatoire depuis longtemps pour les coureurs cyclistes, et il est pratiqué par les cyclotouristes de la Fédération Française de Cyclotourisme (FFCT). Des projets répétés de rendre le port du casque obligatoire pour tous les cyclistes ont eu lieu depuis les années 1990 dans le cadre des mesures de lutte contre l'insécurité routière. Cette mesure devenait une mesure phare parmi les mesures à prendre. Quelques pays avaient déjà fait ce choix et ont vu leur mobilité à vélo décroître. Les conséquences d'une obligation du port du casque sont une réduction de la gravité des accidents pour les cyclistes portant un casque (le casque diminue a priori le nombre et la gravité des traumatismes crâniens) mais le risque d'accident augmente quand les cyclistes sont moins nombreux et certaines personnes renoncent à utiliser le vélo pour ne pas s'encombrer d'un casque ou parce qu'ils croient que c'est dangereux. Or moins il y a de cyclistes, moins ils sont visibles dans la circulation et plus ils risquent l'accident. En France, la Fédération des usagers de la bicyclette (FUB) s'est battue pour s'opposer à cette mesure d'obligation, expliquant que le rapport coûts/bénéfices était très négatif. Finalement, l'obligation de port du casque est effective en France depuis 2017 pour les moins de 12 ans. En fait, ce sont les seniors qui seraient le plus concernés par le port du casque.

Le vol des vélos

Le vol des vélos est un des freins à l'usage du vélo. Il est estimé qu'il y a 400 000 vélos volés par an, vols déclarés ou estimés. Ces vols ont lieu pour moitié dans des espaces privés, dont la moitié dans des locaux fermés. On vole un peu plus dans les grandes agglomérations que dans les moyennes ou petites. Chaque année, 6% des cyclistes urbains en sont victimes et ce sont surtout des cyclistes inexpérimentés. 50% des volés vont racheter un vélo d'occasion. Et 20% vont renoncer au vélo. Le risque de vol est en soi très dissuasif pour utiliser un vélo en ville. Les voleurs sont loin d'être tous des professionnels

du vol. Leurs méthodes sont parfois très simples. Les solutions sont connues, d'abord sensibiliser les cyclistes novices, au vol, au bon antivol, au choix des bons lieux de parking. Disposer de parkings sûrs, marquer les vélos. Un marquage des vélos permet de retrouver leur propriétaire et rend plus difficile la revente de vélos volés. La Loi d'orientation des mobilités de 2018 inclut une obligation de marquage dans l'avenir.

Le vélo à assistance électrique

Le vélo à assistance électrique (VAE) connaît une forte expansion en Allemagne, aux Pays-Bas et en Belgique, et très récemment en France. Les ventes de VAE en Allemagne se montaient en 2016 à 605 000 vélos, près de 5 fois les ventes en France. La France rattrape son retard, grâce en particulier à une prime de l'État pour l'achat d'un VAE en 2017, qui a provoqué un véritable boom des ventes. Les ventes de VAE doublent en 2017 (255 000 VAE vendus) par rapport à 2016, et quadruplent par rapport à 2014. Les acheteurs de VAE s'en servent surtout pour les loisirs, mais aussi, pour la moitié, pour les déplacements domicile-travail. Un fort développement du VAE devrait se poursuivre. Les marchands de VAE en Europe en ont vendu 1,7 million en 2016, et s'attendent à une forte croissance. Des prévisions de 3 à 4 millions vendus en Europe en 2020 circulent. En 2016, 430 000 VAE ont été importés en Europe de Chine et probablement 700 000 importés en 2017. Les Chinois ont une énorme production (23 millions en 2016, en forte baisse sur 2015, le marché chinois étant saturé avec un parc installé de 120 millions). En Belgique, le VAE représente une vente de bicyclettes sur trois. Son prix baisse, le public rajeunit, le VAE passe d'un usage loisir à un usage utilitaire.

L'arrivée en 2018 du vélo électrique à hydrogène (sans recharge électrique, donc) pourrait aussi bouleverser l'avenir du vélo électrique. Son prix pourrait passer de 7000 euros à 4000 euros, et il peut se passer de station de recharge. (Le principe : un sachet d'oxyde de magnésium et d'aluminium jeté dans l'eau permet de casser la molécule d'eau pour isoler l'hydrogène et obtenir la source d'énergie).

Les services vélo en forte augmentation

Pour leur quasi-totalité, les services vélo ont émergé depuis les années 2000. Ils favorisent le développement de la circulation à vélo.

Les libres-services vélos (VLS) sont adoptés par 26 villes en France. Ils permettent pour une durée généralement brève l'emprunt d'un vélo et sa dépose dans des stations situées sur l'espace public. L'utilisateur est ainsi libéré des contraintes de stationnement et d'entretien. La taille de ces VLS va de 16 à 18 000 vélos à Paris, à 300 vélos à Orléans. Une part importante de ces VLS est maintenant constituée de vélos à assistance électrique.

Les locations « longue durée » de vélos classiques concernent près de 30 000 vélos en France. Le plus souvent financées par des collectivités, elles ont comme principaux usages les trajets pour aller au travail et ceux des étudiants. Plusieurs villes amplifient la location longue durée de VAE. Ile-de-France Mobilités a lancé un appel à candidatures pour gérer un service de 20 000 vélos électriques en location longue durée sur tout le territoire francilien. L'État, en 2017, et plusieurs villes donnent des aides à l'acquisition de vélos à assistance électrique.

Pour favoriser l'intermodalité entre la circulation à vélo et les transports collectifs, des services de consigne à vélo, en gare ou en milieu urbain, concernent maintenant plus de 30 000 places. Leur potentiel est énorme (200 à 300 000 places). À Strasbourg, les parkings vélo de la gare centrale accueillent 1 700 vélos.

70 vélo-écoles ont été créées, presque toutes depuis dix ans. Elles forment 18 000 personnes par an. Leur potentiel est également énorme, vers les 550 000 personnes formées par an.

230 Ateliers d'autoréparation de vélos sont recensés, en 2017. Leur potentiel est de 500.

Les Plans de déplacements Entreprises et écoles (PDE) sont actifs depuis plus de dix ans. Ce sont plusieurs centaines de PDE qui accompagnent par des mesures incitatives les cyclistes qui se rendent à vélo au travail ou à l'école. On note aussi depuis dix ans l'émergence de grands parkings à vélo dans des collèges.

Le ressenti, les attentes

Les cyclistes expriment leur opinion sur la pratique du vélo, et leurs attentes, dans plusieurs collectivités, comme Strasbourg et Metz. Une grande enquête, la plus grande jamais menée en France auprès des usagers du vélo, et la 2^e d'Europe, a obtenu 113 000 réponses en 2017. On peut en extraire les principales opinions suivantes :

80% des répondants (85 % des répondantes) estiment qu'à vélo il est important d'être séparé du trafic motorisé. 90 % estiment que les conditions actuelles ne permettent pas aux enfants ou aux personnes âgées de se déplacer à vélo en sécurité.

90% des répondants constatent que des conducteurs se garent fréquemment sur les itinéraires cyclables qui leur sont réservés. 8 % seulement des répondants s'estiment respectés par les conducteurs de véhicules motorisés !

20% seulement des répondants trouvent qu'il est facile de stationner son vélo en sécurité près des gares ou stations de transports en commun.

92% des répondants estiment que les vols de vélo sont fréquents et craignent pour la sécurité de leur véhicule

Ces réponses sont un bon indicateur de l'important chemin à parcourir pour que la circulation à vélo devienne un mode normal de déplacement. Les cyclistes établissent désormais un classement des villes au regard de la circulation à vélo. Strasbourg est en tête, Marseille fortement à la traîne. Des différences notables se révèlent entre des villes assez comparables, ainsi en est-il d'Orléans, Tours, Angers, les deux dernières bénéficiant d'une politique cyclable plus appuyée.

Stratégie de quelques grandes villes cyclables

Plusieurs grandes villes ont obtenu en quinze ans une part modale cyclable appréciable, et ont des plans assez ambitieux pour doubler cette part dans les dix prochaines années. En particulier, ces villes ont l'objectif de développer le vélo en dehors du centre-ville. Ainsi, Nantes est passée de 2,2 % en 1990 à 6,5 % en 2015 et affiche un objectif de 12% de déplacements à vélo en 2030. Grenoble avait une part modale vélo de 4% dans l'agglomération, 5% dans la ville centre en 2010

(8% à Strasbourg à cette même époque) et a l'objectif de tripler la part vélo en 2020, avec une part modale dans la métropole de 12% qui deviendra équivalente à celle du tramway, et 20% dans la ville centre. Strasbourg a en 2016 une part vélo de 17% des déplacements dans le centre (13% en 2009), supérieure à la part des transports en commun (13%), et dans le reste de la ville une part du vélo de 12%. Son objectif est de doubler cette part vélo en quinze ans (2025, par rapport à 2010). Bordeaux, qui est passée d'une part modale vélo de 2% en 1995 à 11,8% en 2015, ambitionne d'atteindre 15% en 2020. Paris est fortement remontée d'une part modale vélo de 2% en 1998 à 4,2% en 2015. Elle affiche, avec un plan vélo ambitieux 2015-2020, l'objectif de tripler les déplacements à vélo d'ici 2020 (!), dont la part passerait de 5% à 15% du total des trajets effectués. Et, si son effort continue, on peut envisager d'avoir en 2030 plus de déplacements à vélo qu'en voiture.

Toutes ces villes ont des programmes d'actions semblables : aménagement des axes structurants, centraux ou périphériques, desserte des équipements d'agglomération, des établissements d'enseignement et des zones d'activités, complémentarité transports en commun - vélo par le rabattement vers les gares et les stations de tramway périphériques, accès aux zones de loisirs, aménagement des quartiers périphériques des villes. Les budgets consacrés représentent dans ces villes et agglomérations, plus de 10 euros par an et par habitant. Bordeaux affiche un investissement 2017-2020 de 65 millions d'euros. Paris a fixé un plan vélo 2015-2020 de 150 millions d'euros. Les villes moyennes ont des plans plus modestes et des budgets vélo qui avoisinent les 6 euros par an et par habitant. En dix ans, bien des collectivités locales ont changé d'attitude pour accélérer leurs efforts pour le développement du vélo.

L'action de l'Etat a surtout consisté dans les modifications du code de la route modérant la vitesse des voitures, et donnant plus de facilités de circulation en ville pour le vélo, comme les double-sens cyclables. Le Grenelle de l'Environnement, en 2007, n'a débouché sur rien, ou presque, pour encourager ce mode écologique de déplacement. En 2018, l'État adopte une Loi d'orientation des mobilités, avec

quelques mesures incitatives (indemnité kilométrique vélo systématisée, obligation du marquage du vélo, par exemple) et le financement de la réduction de coupures d'itinéraires.

Conclusion

Tous ces faits attestent que le développement du vélo est dans une phase de redémarrage. Il est difficile d'accréditer telle ou telle prévision, mais des chercheurs sérieux disent que le vélo dans les villes « peut retrouver les 20 à 30% de de part modale qui étaient les siens dans les années 1930. Nous sommes dans un moment fort d'évolution de nos mobilités, de l'urbanisme qui va avec, du retour « à la rue ». On parlera peut-être plus tard d'un « changement sociétal » pour cette époque.

Nous pouvons citer l'abbé de Hautefeuille - l'inventeur orléanais à la fin du XVII^e siècle d'une nouvelle chaise à porteurs - qui reprenait des propos de Fontenelle :

« Toutes les Découvertes, toutes les Inventions & tous les Arts n'ont point été trouvez dans leur perfection, ils ont été dans leur commencement rudes, grossiers et imparfaits, ce n'a été que par une longue suite d'années et de siècles, qu'ils sont parvenus dans l'état où nous les voyons. Il s'est passé quatre cent ans, entre la découverte des lunettes à mettre sur le nez et l'invention des lunettes d'approche, ce qui a fait dire à l'illustre Mr. de Fontenelle dans son *Histoire de l'Académie des Sciences* 1709, que les choses vont lentement parmi nous. »

En 1898, Alphonse Allais, alors journaliste au quotidien sportif *Auto Vélo*, déclarait que le cyclisme semblait « être entré définitivement en nos mœurs ». Le mot « définitif » était bien osé, mais, un bon siècle après, le vélo revient dans notre société.

Remerciements

Mille remerciements à mes deux relecteurs de cet article, Christian Loddé et Hervé Finous.

Bibliographie

- Flonneau, Mathieu. *L'automobile à la conquête de Paris - Chroniques illustrées*, Ponts et chaussées (Presses), 2003 pp 288.
- Gioria Christian. *Étude d'évaluation sur les services vélos*, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par INDDIGO, 2016, pp 64.
- Héran, Frédéric. *Le retour de la bicyclette. Une histoire des déplacements urbains en Europe, de 1817 à 2050*, La Découverte, Ed., Paris, Collection : Cahiers libres, 2014, pp 255.
- Héran, Frédéric. *La ville morcelée. Effets de coupure en milieu urbain*, Economica, Ed., Paris, Collection : Méthodes et Approches, 2011. pp 224.
- Razemon, Olivier. *Comment la France a tué ses villes*, 2016. Rue Échiquier, Ed., Paris, Collection : Diagonales, 2016, pp 208.

Christian de Valence

Membre correspondant de l'Académie
d'Orléans

Le jeudi 18 février 2018

Gentien Hervet et Nicolas Psaume, deux acteurs du concile de Trente

François Maupu

Résumé

Après avoir suivi des itinéraires bien différents, l'orléanais Gentien Hervet et le verdunois Nicolas Psaume ont participé activement au concile de Trente (1545 – 1563). Ils y sont arrivés dans le sillage de Charles de Guise, cardinal de Lorraine, archevêque de Reims. Adversaires déterminés de la Réforme, tous deux ont lutté contre le protestantisme, l'un comme curé de paroisse et comme pamphlétaire, l'autre comme évêque de Verdun. Ils sont intervenus dans les débats du concile sur les questions disciplinaires et sur les questions doctrinales.

Abstract

After following various routes, Gentien Hervet from Orléans and Nicolas Psaume from Verdun actively participated in the Council of Trent (1545 - 1563). They arrived in the wake of Charles de Guise, Cardinal of Lorraine and Archbishop of Reims. Determined opponents of the Reformation, both fought against Protestantism, one as parish priest and pamphleteer, the other as bishop of Verdun. They intervened in the debates of the council on disciplinary questions and on doctrinal questions.



Dans quelques semaines, nous pourrons faire mémoire du « grand abatis » de la cathédrale d'Orléans, dans la nuit du 23 au 24 mars 1568, il y aura 450 ans.

Au lendemain de la paix de Longjumeau, entre Catherine de Médicis et les huguenots, ceux-ci devaient évacuer Orléans dont ils étaient maîtres depuis plusieurs années ; dans la nuit du 23 au 24 mars, quelques soudards entrent dans la cathédrale, qui jusqu'ici avait été préservée : elle avait servi d'écurie et de magasin à bagages pour les reîtres allemands, à la suite de quoi Condé en avait fait murer les portes pour la protéger : il préférait en faire « *un beau temple calviniste plutôt qu'une ruine papiste* ».

Quatre charges de poudre dans les quatre piliers principaux ; des cordes fixées à la flèche et tirées par des chevaux qui permettent de l'abattre.

Dans les basses nefs, deux petites portes ogivales donnant sur des escaliers restent debout. Au tympan de la porte nord, était représenté Saint Michel terrassant le dragon. L'explosion endommagea le tympan. Gentien Hervet, qui habitait alors à Reims écrivit : « *Savez-vous bien qu'en l'église Sainte Croix d'Orléans vos frères ont abattu l'image de Saint Michel et n'y ont laissé que le diable à ses pieds.* »

Cet anniversaire orléanais est celui d'un tout petit élément dans la grande tourmente de la

Réforme protestante initiée par Luther en 1517 et dans la contre-réforme catholique qui s'articula autour du concile de Trente (1545-1563).

J'ai l'intention de vous parler de deux personnages qui ont vécu cette période, tous les deux dans le camp des catholiques. L'un est un humaniste né à Olivet en 1499, Gentien Hervet (Fig. 1); l'autre, né en 1518 à Chaumont-sur-Aire, à mi-chemin entre Verdun et Bar le Duc, Nicolas Psaume, fut évêque de Verdun. Tous deux ont pris une part active au concile de Trente, intervenant parfois sur les mêmes dossiers. Tous deux furent proches d'un personnage-clé de l'histoire de France à cette époque et de l'histoire du Concile de Trente, au moins dans sa phase finale : Charles de Guise, archevêque de Reims, cardinal de Lorraine qui allait devenir chef de la maison de Lorraine après la mort de son frère François, tué à Saint-Pryvé-Saint- Mesmin le 24 février 1563, par Poltrot de Méré.



Figure 1. Gentien Hervet

Quelques repères dans le XVIème siècle

Dans sa longue vie (85 ans), Gentien Hervet a connu douze papes : né sous Alexandre VI, enfant et adolescent sous Jules II, il fut, plus tard, secrétaire de l'un de leurs successeurs, Marcel II, trois semaines de pontificat en avril mai 1555, après avoir été son secrétaire quand il s'appelait Marcel Cervin ; Hervet lui avait été présenté en 1545. Il a connu six rois de France, de Louis XII à Henri III.

Nicolas Psaume a connu dix papes et quatre empereurs, Maximilien Ier, Charles-Quint, Ferdinand Ier et Maximilien II . Comte du Saint-Empire, Nicolas Psaume vivait dans la partie francophone du Saint-Empire Romain Germanique. Participant au jeu de bascule pratiqué par les trois évêchés entre la France et l'Empire, il accueillera à bras ouverts le roi de France Henri II lors du « voyage d'Austrasie » de celui-ci en 1552 ; à la suite de quoi Verdun, restant toujours terre impériale, abritera une garnison française. Pour participer au concile, l'évêque de Verdun a eu besoin de l'autorisation de l'empereur ; quant à la suite d'incidents au concile il envisagera de quitter l'assemblée, il devra en référer à Charles Quint, qui refusera qu'il ne parte.

En suivant Gentien Hervet et Nicolas Psaume, nous rencontrerons un certain nombre de personnages ; nous frôlerons de grands moments de l'histoire concernant la France, le Saint-Empire, l'Italie et l'Angleterre.

En préparant cette intervention, j'ai réalisé que j'avais eu, pourrait-on dire, les yeux plus grands que le ventre, tellement la vie de ces deux hommes a été remplie, s'est déroulée dans un contexte riche en événements, tellement aussi ils ont rencontré des personnages insérés dans l'histoire : je compte donc sur l'indulgence des auditeurs pour les oublis, les à-peu-près, les raccourcis dans ce qui voudrait être au moins le partage d'une découverte émerveillée.

Un universitaire orléanais

Gentien Hervet est né à Olivet de parents sans doute vigneron. Il fait ses humanités à Orléans où il restera jusqu'en 1528. Il y sera jeune précepteur de Claude de l'Aubespine, futur secrétaire d'État sous plusieurs rois de France. Il y sera enseignant et « régent » de collège

On peut noter deux données importantes dans la vie de l'université d'Orléans au début du XVI^{ème} siècle :

1. L'enseignement du droit n'y est semble-t-il pas brillant. Pour lui redonner sa splendeur, le recteur, Pyrrhus d'Anglebermes (1470 – 1522) développe l'enseignement du grec (et du latin), de façon à permettre un retour aux sources. En 1523, la Sorbonne a beau interdire l'enseignement du grec, Orléans le maintient, avec entre autres Gentien Hervet et un certain Melchior Wolmar, dont la présence à Orléans sera importante pour la diffusion des idées nouvelles, celles de la Réforme.

2. La « nation germanique » y est bien représentée et elle s'impose comme la plus prestigieuse, en raison de la richesse et la qualité de ses membres, comme on a pu l'apprendre par l'exposition sur les débuts du protestantisme dans le Loiret, en juin-juillet 2017 aux Archives départementales.

Les étudiants de l'Empire sont nombreux, même si le décompte des membres de cette nation englobe des étudiants d'autres origines. Par eux des idées nouvelles et des livres circulent. La présence de Melchior Wolmar, ouvertement luthérien, favorise ce mouvement.

Parmi les étudiants, il y a Calvin et Étienne Dolet. Ils ont dix ans de moins que Gentien Hervet. Ils se rencontreront... Calvin arrive à Orléans en 1525. Il a 16 ans. Il est devenu maître ès arts à Paris, en quatre ans d'études. A Orléans, il loge chez Nicolas Chemin, rue du

Pommier, avec Jean et Claude de Hangest, un nom à retenir : Jean de Hangest deviendra évêque de Noyons (la ville dont Calvin est originaire). Quand, sur le tard, Gentien Hervet sera devenu prêtre, Jean de Hangest l'appellera comme vicaire général.

Étienne Dolet ira s'installer à Lyon comme imprimeur. Il imprimera des traductions latines par Hervet des œuvres de Sophocle. Quels qu'aient pu être leurs liens d'amitié, Hervet n'adhère pas au matérialisme de Dolet. Il semble bien qu'à côté des questions métaphysiques, des questions d'intérêt (relations entre auteur ou traducteur et imprimeur) les aient aussi opposés.

Carrière européenne

En 1528, Hervet quitte Orléans. Il accompagne à Paris un enseignant d'Orléans, juriste et helléniste, Édouard Lupset, pour s'occuper avec lui de l'édition de la traduction latine des œuvres de Galien, le célèbre médecin grec. Hervet suivra ensuite Lupset en Angleterre. Par lui, il entrera chez la comtesse de Salisbury (née Plantagenet, cousine du roi Henri VIII), comme précepteur de son fils Artus Pole. Comme trace de la présence d'Hervet chez la comtesse et de son travail, on peut lire aujourd'hui encore un « sermon » d'Érasme sur la miséricorde de Dieu (1532) traduit en anglais par Hervet à l'intention de la comtesse. Artus a un frère aîné, Réginald, proche du Pape Paul III, qui le fera cardinal en 1534.

Chez la comtesse de Salisbury, Hervet a pu rencontrer Thomas More, peut-être aussi Érasme. Faut-il rappeler ici que Thomas More, chancelier d'Angleterre, aura la tête tranchée sur ordre du roi Henri VIII, tout comme la comtesse de Salisbury et une partie de sa famille. Réginald Pole, pour plus de sécurité, s'est installé en Italie

A propos de ce séjour de Gentien Hervet dans la famille de Pole, l'historien de Thou écrit :

« là il vit dans la famille d'un si grand homme, officine de vertus et de pratique de la courtoisie. Très cher à Pole, il est conduit par lui à l'amitié des plus grands en Italie, à cause de sa très rare érudition et de la douceur de ses mœurs. »

Retour en France, d'abord à Bordeaux, à Lyon puis à Orléans où il enseigne au collège Sainte-Colombe, rue des Gobelets. C'est pendant ce séjour que Gentien Hervet écrit trois textes sur le port de la barbe : *« De radenda barba ; De alenda barba ; De vel radenda vel alenda barba »* :

la couper, la faire pousser, la couper ou la faire pousser, un exercice de style publié en 1536 avec d'autres discours portant sur des sujets que nous jugerons plus sérieux.

En Italie en 1545, Pole introduit Hervet dans la suite de Marcel Cervin, le futur Marcel II, comme nous l'avons dit. Avec Cervin, il participe, comme théologien « mineur » aux deux premières parties du concile de Trente (1545-48 et 1551-1552).

Hervet, homme d'Eglise

Nouveau retour à Orléans. L'évêque d'Orléans, Jean de Morvilliers, et l'évêque de Noyons, Jean de Hangest poussent Gentien Hervet à se faire ordonner prêtre. Il semble que l'un comme l'autre lui aient donné le titre de vicaire général. Ce qui est sûr, c'est que Jean de Morvilliers confie à Hervet la cure de Cravant



Figure 2. Église de Cravant

(Fig. 2), près de Beaugency, où il restera quatre ou cinq ans.

« Je suis un simple prêtre, curé de Cravant, qui est à deux lieues près de Beaugency, là où vous prêchez (écrit Hervet à un prédicateur protestant, dans l'Épître à un sacramentaire), auquel lieu je fais ma résidence pour l'acquit de ma charge, tâchant à faire mon devoir au moins mal que je puis et m'efforçant de suppléer avec diligence le défaut de ma non-suffisante littérature.»

Face au calvinisme qui se répand, il met en garde ses fidèles. D'après l'abbé Gand, *« il semble qu'Hervet eut la maladresse de défier les ministres de l'Église réformée devant ses paroissiens. Un*

pasteur nommé Moranges se rendit à Cravant et fit tant d'impression sur l'esprit des villageois qu'ils abandonnèrent leur curé malgré sa réputation. L'évêque d'Orléans, qui admirait l'érudition d'Hervet, en profita pour le retirer. »

Ce qui est sûr, c'est qu'en 1561, Jean de Morvilliers se fit accompagner par Gentien Hervet au colloque de Poissy. C'était pour Catherine de Médicis et pour Michel de L'Hôpital, le colloque de la dernière chance pour un dialogue entre catholiques et réformés.

Au colloque de Poissy, Hervet est remarqué par le Cardinal de Lorraine qui va se faire accompagner par lui au Concile qui se réunit pour une troisième fois à Trente en 1562-1563.

Avant de se rendre à Trente, Charles de Guise accompagne son frère François : le dimanche 1^{er} mars 1562 ils se rendent de Joinville, où est la demeure familiale, à Wassy pour y assister à la messe. A Wassy se tient au

même moment une assemblée de prières réformée. Un affrontement d'abord verbal entre les hommes du duc de Guise et les réformés devient violent et s'achève par un massacre. On a l'habitude de voir dans le massacre de Wassy, six mois avant la Saint-Barthélémy, le point de départ de nos guerres de religion.

Après le concile, Hervet résidera à Reims ; il sera fait chanoine. Enseignant à l'université il contribuera à la formation de catholiques anglais dont plusieurs connaîtront un sort tragique à leur retour en Angleterre. Dans cette dernière partie de sa vie, il rédige des écrits apologétiques ou polémiques et traduit des auteurs grecs : Pères de l'Église mais aussi philosophes, parmi lesquels le philosophe sceptique Sextus Empiricus, et un auteur latin, Saint Augustin (La cité de Dieu).

Au cours de cette période prend place un échange d'amabilités entre Hervet et Micqueau. Celui-ci, « maître d'école à Orléans » est né à Reims ; protégé du Cardinal de Lorraine qui avait favorisé ses études, il avait suivi un itinéraire inverse de celui de Hervet. Et à Orléans, en 1562, il était devenu protestant.

Nicolas Psaume à Verdun et à Trente

C'est dans l'entourage du Cardinal de Lorraine que Gentien Hervet a rencontré

l'évêque de Verdun, Nicolas Psaume (Fig. 3). Né à Chaumont sur Aire, le 11 décembre 1518, fils de Pierre Psaume « laboureur » et prévôt de Tilly. Un oncle, François, est religieux prémontré, abbé de Saint Paul à Verdun. François se charge de la formation de son neveu à l'abbaye puis à Paris, où Nicolas est étudiant à partir de 1534 ; il passe par Orléans, Poitiers, et devient docteur en théologie en Sorbonne le 6

novembre 1541 ; lors de la cérémonie du doctorat, à Paris, sont présents Jean de Guise, alors évêque de Verdun et son neveu Charles qui a 17 ans. Comme il y a du relâchement chez les prémontrés. François Psaume veut une réforme ; et il pense à son neveu pour lui succéder.

Le Concile de Trente s'ouvre le 13 décembre 1545. Nicolas Psaume est devenu prémontré et même « commissaire général des prémontrés » ; à ce titre il est envoyé au Concile, mais il ne s'y rendra pas car il est au cœur de tractations pour l'attribution de l'Évêché de Verdun : tractations auxquelles sont mêlés Charles Quint et le tout jeune archevêque de Reims, Charles de Guise (Fig. 4).

Après une interruption de trois ans, le Concile reprend, toujours à Trente, en 1551 sous le Pontificat de Jules III (celui-ci a été préféré à Pole par le Conclave alors que Pole partait favori). Trente se trouve en terre impériale ;



Figure 3. Nicolas Psaume à Chaumont-sur-Aire

pour cette raison, Henri II interdit aux Evêques Français d'y prendre part. Le Cardinal de Lorraine n'y est donc pas. Nicolas Psaume, sujet du Saint-Empire, y est présent, seul francophone de l'Assemblée ; il y sera très actif, s'opposant même à plusieurs reprises au légat du Pape. Psaume ayant eu le malheur de dire que la réforme de la commende, telle que le légat la proposait, n'était qu'une prétendue réforme et de ce fait était inutile, le légat traitera Psaume « de jeune homme, de sot, d'étourdi »

Gentien Hervet se trouve aussi à Trente comme secrétaire de Marcel Cervin.

Le Concile a invité les protestants. Mais on ne les voit pas venir : le Concile est de nouveau suspendu en avril 1552, en principe pour deux ans, deux ans qui dureront de 1552 à 1562. Revenu à Verdun, Nicolas Psaume accueille Henri II lors de sa « promenade d'Austrasie », voyant en lui un soutien pour son autorité en difficulté face aux magistrats d'une part et aux chanoines d'autre part.

Pendant dix ans, Psaume va se consacrer à son diocèse et essayer d'y introduire des réformes : il convoque sept synodes diocésains pendant cette période.

En 1562, le Concile reprend le 18 janvier. Mais le Cardinal de Lorraine demande aux évêques français ainsi qu'à Nicolas Psaume de l'attendre pour partir ensemble : ils arriveront à Trente le 13 novembre seulement à 22 h 00 : le Cardinal, plus treize évêques, plus trois abbés et quelques théologiens. Petit nombre, mais la



Figure 4. Charles de Guise

« suite » du Cardinal de Lorraine compte, elle, une soixantaine de personnes.

En raison de ce départ retardé, Nicolas Psaume était encore présent à Verdun dans la nuit du 2 au 3 septembre 1562 : cette nuit-là, les protestants locaux (c'est-à-dire venant des Ardennes et de Champagne autant que de Lorraine) profitent du passage d'une troupe de soldats allemands : ceux-ci se rendent au secours de Condé et de Coligny en difficulté à Orléans. Grâce à une lettre interceptée, Verdun a été informée. Nicolas Psaume organise la défense. Déroute des agresseurs. Verdun ne connaît pas le sort d'Orléans

qui, occupée par les protestants, restera leur capitale jusqu'en 1568 !

A Trente l'année 1563 sera une période d'intense activité pour Charles de Lorraine et surtout pour Nicolas Psaume qui va présider plusieurs commissions et assurer la rédaction de décrets. Fin novembre, pour que le Concile puisse s'achever en décembre, le Cardinal de Lorraine va fournir un gros travail, hors de l'aula conciliaire, dans son appartement, pour rédiger les derniers textes. Ses théologiens, parmi lesquels Gentien Hervet, sont mis à contribution pour une marche forcée qui réussira à aboutir dans les temps : le Concile est terminé le 4 décembre. Le 7, les familiers de Nicolas Psaume quittent Trente. L'évêque attend un cheval ; il partira le 12. Passant par Augsburg, Wittlig, Trèves et arrive dans son diocèse le 2 janvier.

Trente : la ville, le concile

Revenons au Concile de Trente, qui fut la réaction de l'Église catholique à tout le mouvement déclenché par la révolte de Luther à partir de 1517. Le 5^{ème} Concile du Latran, convoqué par Jules II et prolongé sous Léon XII, s'était achevé en 1517. En 1518, Luther en appelle à un nouveau Concile. En 1523, la diète de Nuremberg s'adresse à Charles Quint (qui est d'accord) pour qu'il demande la convocation d'un Concile. En 1531, la ligue de Smalkade fait la même demande. C'est seulement en 1542 qu'une Bulle de Paul III convoque un Concile pour novembre de la même année. Il est convoqué à Trente qui a la particularité d'être une ville située en Italie mais appartenant au Saint- Empire.

Au début d'une traduction des textes du Concile qu'il publiera quelques années plus tard, Gentien Hervet présente ainsi la ville de Trente : *« Ayant pour un temps laissé mes autres études je l'ai (le Concile) tout mis en langue française sauf la 7^{ème} session, fidèlement traduite par le docte et savant homme François le Clerc, principal du collège des Orphelins à Verdun, érigé nouvellement par Monseigneur Nicolas Psaume, évêque et comte de Verdun. Trente, aux confins de l'Italie et de l'Allemagne, environné de très hautes montagnes, a été édifiée il y a plus de 1900 ans par Brennus : un lieu qui est fort commode pour faire belles et grandes choses. Maisons belles et grandes ; châteaux ; palais que tout le monde admire pour ses beautés, sa grandeur et ses richesses. Fort fertile en vin, Trente a très bon pain et en grande abondance et généralement toutes choses nécessaires pour la vie. Ses citoyens sont doux, honnêtes, courtois. La ville a été illustrée par un saint évêque martyr (383) qui a très aigrement combattu les hérétiques. Demeurée ferme et stable dans la foi malgré trente ans de sectes et hérésies en Allemagne. Lieu choisi pour le Concile général et universel comme le prophétise son nom, Trente, pour ramener la tranquillité comme le trident de Neptune calmait la mer.*

Tu es petite entre les autres cités impériales d'Allemagne si tu regardes au nombre de tes citoyens et des maisons et à la grandeur d'icelles. Mais tu n'es pas petite : tu es presque beaucoup plus ample et triomphante si tu as égard aux dons de Dieu qui sont en toi : tu leur as donné la loi, tu les as instruites et tu les as rappelées à la vraie et droite foi... ».

Le travail de Gentien Hervet

Les interventions de Gentien Hervet au Concile et en marge du Concile et ses travaux de traduction lui ont permis de rassembler tout une documentation sur laquelle il s'appuiera pour argumenter. Cela avait commencé par le dialogue avec Etienne Dolet sur l'immortalité de l'âme et sur le libre arbitre ; en 1544 Gentien Hervet avait traduit, d'Alexandre d'Aphrodise, philosophe péripatéticien du 2^{ème} siècle un ouvrage qui aborde ces questions : « De fato et de quod est in nostra potestate », traduction dédiée à François Ier.

A Trente, dans une intervention qui sera reprise par le Concile et plus tard par la législation d'Henri III, il aborde la question des mariages clandestins : mariages conclus sans le consentement des parents (ou des personnes ayant autorité) ; il demande qu'ils ne soient pas considérés comme valides. Il intervient aussi au sujet des traductions de la Bible en langue vulgaire qu'il juge « utiles et même nécessaires ». Il intervient sur l'obligation de résidence des évêques (qui ne peut être respectée si un évêque a plusieurs diocèses !). C'est un point de rencontre avec Nicolas Psaume et avec le Cardinal de Lorraine. Gentien Hervet « ferraillera » à ce sujet avec un théologien pontifical jésuite et avec un des légats, Hosius, cardinal polonais. Il se prononcera sur un sujet doctrinal, la « justification » thème central dans le débat avec les protestants ; il intervient sur les sacrements en janvier 1547 et sur l'eucharistie

en février de la même année ; le 18 février 1562, il publie un discours sur le purgatoire.

Dans ses ouvrages polémiques, que ce soit dans sa période orléanaise (1556 – 1561) ou dans sa période rémoise (après 1563), il expose la doctrine catholique, reprenant les trois points selon lesquels on peut résumer la doctrine de Luther et des réformés : *sola fide*, *sola gratia*, *sola scriptura*,

Sola fide : pour Hervet, la foi opère dans la charité ; pour cette raison il n'y a pas à manière de dire opposer la foi et les œuvres.

Sola gratia et théologie des sacrements. Gentien Hervet s'intéresse en particulier à la présence réelle du Christ dans l'eucharistie ; puisque le Christ est présent, on a le droit d'adorer l'eucharistie sans être traités d'idolâtres. L'eucharistie est un vrai sacrifice qui ne fait pas nombre avec le sacrifice du Christ mais qui le rend présent. Sur ces sujets, à l'appui de ses affirmations, Gentien Hervet publie la traduction du catéchisme d'un évêque allemand, Guillaume Lindan, qui reprend tous les éléments de l'enseignement traditionnel de l'Eglise catholique.

Sola scriptura : Gentien Hervet reconnaît l'autorité de l'Écriture, mais il y a dans l'enseignement de l'Eglise catholique des éléments qui ne sont pas dans l'Écriture et qui ont cependant autorité. De quel droit des Eglises qui ont à peine quarante ans d'existence se permettent-elles de mettre en cause des traditions qui sont celle de l'Eglise depuis 15 siècles ?

Apport de Nicolas Psaume

Au concile, Nicolas Psaume (Fig. 5) intervient sur des questions doctrinales en particulier sur l'eucharistie : pour lui la communion est possible sous les deux espèces mais la communion sous une seule espèce est légitime et valide. Il intervient aussi au sujet du

devoir de résidence des évêques, mais surtout sur l'origine de cette obligation de résidence : est-elle de droit divin ou seulement de droit ecclésiastique ? Il approfondit cette notion de droit divin : les Apôtres ont-ils été appelés par Saint Pierre ou par le Christ ? C'est le Christ qui a mis en place les Apôtres et non Saint Pierre. Les évêques tiennent donc leur autorité de Dieu, par l'ordination, et non du Pape. Ce ne sont pas de simples prêtres auxquels le Pape aurait confié une responsabilité juridique plus large. Il faudra attendre le Concile Vatican II pour que cette question soit reprise et que soit affirmée la sacramentalité de l'épiscopat : les évêques ne sont pas seulement des prêtres à qui le Pape confie une juridiction plus étendue.

Le 2 décembre 1562, Nicolas Psaume fait une triple proposition (qui est rejetée) :

- 1) Reconnaître l'institution divine des évêques : ils reçoivent de Dieu un pouvoir dont le Pape autorise l'exercice
- 2) Reconnaître la supériorité des évêques sur les prêtres



Figure 5. Nicolas Psaume.

3) Reconnaître le pouvoir plénier du Pape qui permet à l'organisation hiérarchique de l'Église de tenir dans l'unité. Devant le rejet, Nicolas Psaume demande qu'on soumette cette proposition au Pape. En attendant il invite à ne pas perdre trop de temps à débattre, « pendant que le troupeau est livré aux loups ».

Nicolas Psaume se fait aussi remarquer non seulement par la pertinence de ses interventions mais par sa liberté de parole, qui se traduit par une préoccupation de la liberté de parole pour tous les Pères du Concile. Il s'oppose lui aussi aux légats. Ainsi en novembre 1551, il demande qu'on écoute les Pères (ils ne sont alors que cinquante) avant de voter les articles ; ce n'était pas seulement une question de procédure, mais de résistance aux légats.

Une anecdote montre que Nicolas Psaume ne passe pas inaperçu. Au terme d'une longue intervention sur le rôle des princes dans la nomination des évêques, sur les cardinaux et autres points de la réforme de l'Église, l'évêque d'Orvieto, dit à son voisin : « *Quam multa gallus iste cantat ! que ce coq chante abondamment !* ». A quoi l'évêque français de Lavaur répond (en latin) : « *si seulement le chant de ce coq pouvait inciter Pierre à pleurer amèrement* » souhaitant au Pape des larmes de repentir semblables à celles de Saint Pierre après son reniement.

L'évêque en son diocèse

Nicolas Psaume est rentré dans son diocèse au début de l'année 1564. A Trente il a mis en œuvre son souci de l'Église universelle ; il va maintenant exercer son activité de pasteur : il le fera dans la ligne que lui avait tracée son oncle abbé, ligne qui a été la sienne comme abbé de Saint Paul, puis comme évêque de Verdun, la réforme de l'Église. Chaque année il convoque un synode diocésain. Dès 1564 il fait appel aux jésuites pour qu'ils ouvrent un collège.

Il publie en latin les décrets et canons du Concile à l'intention de son clergé. Ce volume de 238 pages édité à Verdun chez Bacnet a l'originalité de présenter les décrets de Trente, non pas selon l'ordre chronologique, comme le feront les éditions officielles de Rome ou de Venise et comme on le fait encore actuellement, mais par sujet. Dans l'épître dédicatoire, Psaume explique qu'il n'y a pas de temps à perdre. Les idées hérétiques ne cessent de gagner du terrain ; les errements du clergé sont autant d'arguments en faveur des protestants. Il faut donc mettre en œuvre la réforme sans tarder malgré les résistances, celles des princes en général, celles du chapitre cathédral, et malgré la présence active et toujours menaçante des huguenots.

En plus des décrets du Concile, il publie plusieurs livres de prières, « Le vray et naïf portrait de l'Église catholique » et « l'Avertissement à l'homme chrétien » ; il y écrit : « *La vraie Église est une ; en face : vingt manières d'hérétiques confessionnistes, onze de sacramentaires, six d'anabaptistes et trois autres monstres, entre eux contraires et fort divers* ». Parmi les remèdes proposés dans cet ouvrage pour conserver la foi catholique, outre la confession et la communion, la lecture de livres : il cite une vingtaine de titres parmi lesquels ceux d'ouvrages de Guillaume Lindan, l'évêque de Ruremonde, dont Gentien Hervet a traduit et diffusé le catéchisme.

Dans le cadre de ses fonctions civiles, il promulgue en 1564 un décret chassant de Verdun les protestants ou les sommant de revenir à la foi catholique. Protecteur de la cité, il organise en 1567 la défense de Verdun, à titre préventif, avec la présence du Cardinal de Lorraine. Il demande l'appui de l'empereur, Maximilien II, et celui du roi de France tout en obtenant de celui-ci qu'il diffère la construction d'une citadelle qu'il envisageait, mais dont la

construction aurait entraîné la destruction de maisons.

Les années 1567 et 1568 furent particulièrement éprouvantes. Les protestants et les réîtres allemands, chassés de Metz, repoussés à Sens par les troupes du roi de France, désolent la Champagne et la Lorraine. Il faut payer et nourrir la garnison de Verdun rendue bien utile par les circonstances : pour cela, conseille le Cardinal de Lorraine, « *fondre vaisselle et argenterie d'églises et chapelles* », tout en obtenant de l'empereur Maximilien qu'il patiente pour le paiement des impôts impériaux. Dans les difficultés que l'on devine, le Cardinal de Lorraine fut constamment un conseiller et un soutien pour Psaume.

Protecteur et ami de Nicolas Psaume, le Cardinal de Lorraine meurt le 26 décembre 1574 en se rendant à la rencontre du nouveau roi de France, Henri III. Nicolas Psaume meurt quelques mois plus tard, le 10 août 1575.

Bibliographie

Ardura Bernard. Nicolas Psaume, 1518-1575. Evêque et comte de Verdun. Paris, Cerf, 1990.

Hervet Gentien. Aucune publication récente. Œuvres consultables en bibliothèque.

O'Malley John W. Le concile de Trente, ce qui s'est vraiment passé. Bruxelles, Lessius, 2013.

Remerciements

Claude et Marc Baconnet ont lu et corrigé cette communication, je leur en suis très reconnaissant.

François Maupu

Evêque émérite de Verdun

Membre titulaire de l'Académie

Communication du jeudi 18 mars 2018

Le transhumanisme

Michel Monsigny

Résumé

Le transhumanisme est une doctrine dont les bases remontent à la nuit des temps en ce qui concerne le désir très humain d'immortalité et s'appuie sur les progrès spectaculaires de la science et des techniques au cours du 20^e siècle et plus encore pour la génétique et l'intelligence artificielle en ce début du 21^e siècle. La convergence des techniques NBIC (nanotechnologie, informatique, biotechnologie et sciences cognitives) permet d'envisager des progrès inestimables en ce qui concerne la longévité, la maîtrise des pathologies, l'accroissement des capacités intellectuelles et physiques de l'Homme (l'homme augmenté), l'association des facultés neurologiques et cognitives aux systèmes informatiques complexes, voire même le transfert bidirectionnel de données cérébrales et des systèmes informatiques avancés. Le dynamisme actuel du transhumanisme est associé à l'existence de groupes industriels très performants qui possèdent une richesse considérable à la fois en moyens humains et en moyens financiers : les GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft) pour les USA et les BATX Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi pour la Chine.

Cette communication comprend 4 parties : une mise au point historique de la pensée qui a permis l'apparition du courant transhumaniste, les données biologiques et biotechnologiques qui ouvrent des perspectives de développement de l'Homme augmenté qui pourrait conduire éventuellement à une nouvelle espèce humaine, le potentiel considérable de systèmes neurologiques connectés et dans une dernière partie quelques éléments de réflexion éthique.

Abstract

Transhumanism is a doctrine whose foundations go back to the dawn of time with respect to the very human wish for immortality and its development is based on spectacular advances in science and technology during the 20th century and even more for genetics and artificial intelligence in the early 21st century. The convergence of NBIC techniques (nanotechnology, computer science, biotechnology and cognitive sciences) makes it possible to envisage inestimable progress as regards to the longevity, the mastery of pathologies, the increase of the intellectual and physical capacities of the Human beings (the man augmented), the combination of neurological and cognitive faculties with complex computer systems, and even the bidirectional transfer of data between the brain and advanced computer systems. The current dynamism of transhumanism is associated with the existence of high-performing industrial groups that have considerable wealth in both human resources and fundings: GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon and Microsoft) for the USA and the BATX (Baidu, Alibaba, Tencent and Xiaomi) for China.

This communication comprises 4 parts: a historical development of the thought which allowed the emergence of the transhumanist current, the biological and biotechnological data which open perspectives of development of the Man augmented which could possibly lead to a new human species, the considerable potential of connected neurological systems and in the last part some elements of ethical reflecti on.



Le transhumanisme : Est-ce un rêve ? Est-ce une utopie ? Est-ce une réalité ? Est-ce une religion ? Est-ce nouveau ? Est-ce dangereux ? Faut-il en avoir peur ?

L'évolution jusqu'à présent a été un phénomène spontané que ce soit pour les plantes, pour les animaux voir même pour les hommes. Cependant avec les technologies nouvelles et en particulier : les nanotechnologies, les biotechnologies, l'informatique, les sciences cognitives (quatre technologies modernes quelquefois appelées par leurs initiales les NBIC) il est possible d'envisager une évolution accélérée. À ce titre, l'homme du XXI^e siècle renoue avec la mythologie qui espérait que l'homme, dans l'avenir, se comporterait comme un dieu.

Le transhumanisme prend des formes variées, il implique des éléments de l'intelligence artificielle et pourrait utiliser des prothèses informatiques : en particulier, le transhumanisme évoque la possibilité d'avoir un cerveau connecté.

Aujourd'hui dans cet exposé, nous aborderons quatre aspects : dans un premier temps, nous parlerons des aspects historiques du courant transhumaniste puis nous aborderont le potentiel des connaissances biologiques actuelles pour accélérer l'évolution de l'homme ensuite nous aborderons le problème du potentiel neurologique connecté et nous terminerons en évoquant des éléments de questionnement éthique.

1° Les aspects historiques du courant transhumaniste.

a) Définitions

Il existe plusieurs définitions du transhumanisme :

- 1- le transhumanisme est un mouvement intellectuel et culturel qui affirme la possibilité et l'opportunité d'améliorer fondamentalement la condition humaine. En utilisant les technologies largement disponibles, on peut envisager effectivement d'éliminer le vieillissement dans un premier temps avant d'améliorer considérablement les capacités humaines qu'elles soient physiques intellectuelles ou psychologiques.
- 2- le transhumanisme est l'étude des ramifications des promesses et des dangers

potentiels des technologies modernes utilisées pour surmonter les limites humaines fondamentales et l'étude connexe des questions éthiques impliquées dans le développement et l'utilisation de ces technologies.

b) Quelques rappels fondamentaux.

Il y a environ 3 700 ans, Gilgamesh, dans l'épopée sumérienne, était un roi à la quête d'immortalité. Gilgamesh récupère une herbe qui pousse au fond de la mer mais un serpent la lui vole avant qu'il puisse la manger.

Dérivant de ce mythe, divers explorateurs ont cherché « une fontaine de jeunesse » ; des alchimistes ont travaillé assidument en espérant trouver « l'élixir de vie » ; en Chine, le taoïsme ésotérique cherchait « l'immortalité physique » par le contrôle des forces de la nature afin de trouver l'harmonie.

Plus près de nous, Dostoïevski dans « Crime et châtimeut » évoquait l'existence d'un surhomme qui n'a pas de supériorité légale sur les autres hommes mais qui aurait une supériorité morale.

Il faut aussi évoquer Nietzsche avec son idée de « surhomme » dans « **Ainsi parlait Zarathoustra** » ainsi que dans « **Le gai savoir** » Nietzsche dit :

« Dieu est mort et c'est nous qui l'avons tué ... ne sommes-nous pas forcés de devenir nous-mêmes un Dieu tout simplement ».

John Haldane, un généticien britannique favorable à un « eugénisme de gauche » publie « **Le manifeste des généticiens** » dans lequel il développe le concept d'ectogenèse c'est-à-dire de gestation du fœtus humain dans un utérus artificiel.

Julian Huxley, (le frère de Aldous, auteur de « **Le meilleur des mondes** »), un biologiste, en 1957 popularise le terme « transhumanisme » dans un ouvrage intitulé « **Vers un nouvel humanisme : le transhumanisme** ».

On peut aussi citer Pierre Teilhard de Chardin, un paléontologue chrétien, théologien jésuite, qui voit dans l'évolution un progrès vers le point oméga, vers la noosphère englobante pour arriver à une conscience globale.

Frank Tipler, cosmologiste chrétien, avec une démarche analogue vers le point oméga, s'attend à ce que, après le point Oméga, l'univers s'effondre : l'humanité serait à ce moment-là intégrée dans une réalité simulée au sein d'un

méga-ordinateur et pourrait ainsi réaliser une forme de divinité posthumaniste.

Plus récemment Marvin Minsky, un informaticien, promeut des systèmes pour mettre en relation l'intelligence humaine et l'intelligence artificielle.

On peut citer quelques auteurs qui ont contribué à jeter les bases du transhumanisme, en particulier FM Esfandiary, Francis Fukuyama, Éric Drexler.

c- Les actes fondateurs

Éric Drexler fonde le « *Foresight Institute* » à Palo Alto en Californie : il s'agit d'un organisme sans but lucratif pour la promotion des technologies expérimentales et spéculatives.

Max More, un britannique, explique que le transhumanisme est une philosophie futuriste ; il participe au démarrage du mouvement transhumaniste international en Californie et il fonde un institut : « *Extropy Institute* ».

Hans Moravec, canadien, développe l'idée que le matériel informatique se rapprochera de plus en plus du cerveau humain.

Rappelons également Arthur Clarke un britannique célèbre pour son « Odyssée de l'espace ».

En 1998, le transhumanisme apparaît sous la forme d'une association la WTA, c'est-à-dire *World Transhumanist Association* avec Nick Bostrom et David Pearce. En 2002, WTA est modifiée et adopte une déclaration « **La déclaration transhumaniste** ». Enfin en 2008 WTA devient « *Humanity plus* », une organisation internationale préconisant l'utilisation éthique des technologies émergentes pour renforcer les capacités humaines.

Voici les principaux objectifs du transhumanisme en 2008 :

1. soutenir la discussion et la sensibilisation du public aux nouvelles technologies
2. défendre le droit des individus, dans les sociétés libres et démocratiques, d'adopter des technologies qui augmentent les capacités humaines
3. Anticiper et proposer des solutions aux conséquences potentielles des technologies émergentes
4. Encourager et soutenir activement le développement de technologies émergentes

sensées avoir des avantages positifs avec une probabilité suffisante.

d- Les laboratoires

Le transhumanisme est aujourd'hui un mouvement avec des laboratoires de recherche en particulier :

Aux USA, « L'université de la singularité » qui est dirigée par Ray Kurzweil, membre de Google

En Angleterre « le CSER », « Centre pour l'étude du risque existentiel » associé à l'université de Cambridge et le « FHI », « Institut pour le futur de l'humanité », rattaché à l'université d'Oxford

En Suisse, le transhumanisme se développe avec Henri Marckram, spécialisé dans la recherche sur le cerveau, qui développe des technologies novatrices : il a en particulier initié « le HBP » *Human Brain Project*, un projet qui s'étend de 2013 à 2022 à l'EPFL (l'école polytechnique fédérale de Lausanne), siège de HBP qui comprend depuis 2016 six plates-formes de recherche :

- 1° nano informatique et neurosciences
- 2° reconstruction et simulation du cerveau
- 3° traitement des grands volumes de données (« *big data* », en anglais)
- 4° maladies du cerveau en rapport aux données réelles des patients
- 5° émulation informatique des microcircuits du cerveau
- 6° neurobiotique : connexion de modèles virtuels de cerveau à des robots

e- Un périodique

Le transhumanisme est en devenir et communique avec un périodique appelé « Cahier de veille de la fondation Télécom » qui donne des informations sur les thérapies anti-âge, souhaitant augmenter de 20 ans la durée de vie en modulant la régulation génétique du vieillissement et en promouvant l'immortalité numérique avec l'enregistrement des moments de vie, grâce à des équipements mobiles et avec une modélisation de cerveaux animaux puis de cerveaux humains.

On trouve également des articles

** sur la nanomédecine : le sang artificiel, les biorobots et les nanorobots, les corps nanotechnologiques, etc.

** sur les organes artificiels : l'impression 3D complète d'organes et la création d'éléments du corps facilement remplaçables

** il faut citer aussi les cyborgs avec des poumons artificiels, des organes biomécaniques, une connexion cerveau-machine, la mise à disposition des ressources de stockage et de calcul.

2- Les connaissances biologiques actuelles.

Nous abordons maintenant le chapitre des éléments biologiques susceptibles d'être utilisés pour accélérer l'évolution de l'homme.

a- L'évolution

Aujourd'hui, l'homme actuel peut être entraîné, réparé, être guéri. L'homme du futur pourra être sélectionné, amélioré, augmenté, connecté, immortalisé.

Selon un autre aspect, on peut rappeler que l'évolution spontanée est due à l'hérédité et est caractérisée par des phénomènes de discontinuité et de singularité.

Par contre, avec l'évolution induite qui implique l'utilisation de modulateurs, on peut envisager d'éditer des gènes, c'est-à-dire de les modifier et en particulier de modifier les gènes qui conduisent à des facteurs nucléaires : les facteurs nucléaires sont des protéines agissant comme des « chefs d'orchestre » ce qui permet de réguler l'expression de plusieurs autres gènes.

Les différentes étapes de l'évolution depuis l'origine de la vie, ont été de durées très variées. On peut estimer que l'origine de la vie remonte à quelques milliards d'années, les primates sont arrivés il y a 100 millions d'années, l'*Homo sapiens* et le langage parlé, il y a environ un demi-million d'années, l'*Homo sapiens sapiens*, c'est-à-dire vous et moi, il y a 100 000 ans, l'écriture et la roue quelques milliers d'années, l'ordinateur et le PC quelques dizaines d'années. On voit donc que les phénomènes s'accélèrent. Alors, on imagine qu'avec le transhumanisme cette accélération puisse s'amplifier encore.

Jusqu'à présent, l'évolution a été un phénomène discontinu (**Figure 1**). Les différents ancêtres d'*Homo sapiens* actuel placés sur un diagramme constituent une panoplie

d'humanoïdes qui sont apparus puis ont disparu. Le dernier en date est l'homme de Néanderthal qui a disparu il y a environ 35 000 ans. De même, l'homme de Denisova, apparu un peu après l'homme de Néanderthal, est également disparu approximativement à la même époque.

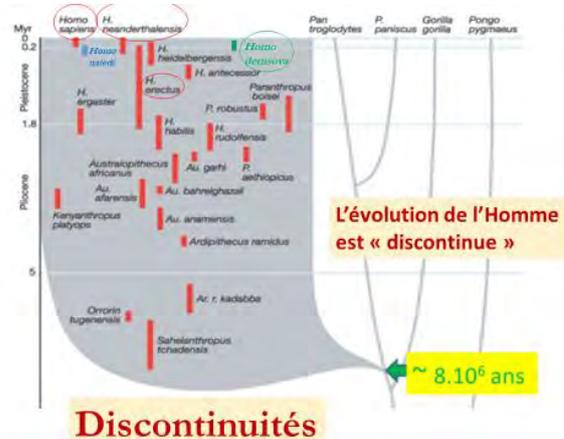


Figure 1 – Depuis quelque 8 millions d'années des hominoïdes sont apparus puis ont disparu.

Les bases biologiques de l'évolution des êtres vivants reposent sur leur génome. Le génome correspond à l'ADN (acide désoxyribonucléique) qui est contenu dans chaque cellule. Environ, deux pour cent de cet ADN code des protéines et donc 98 % correspond à des éléments de régulation. Les principes actifs dans une cellule (et donc dans un organisme) sont les protéines : elles sont synthétisées à partir de l'ADN (en passant par des intermédiaires : les acides ribonucléiques ARN). L'évolution est un phénomène discontinu lié à l'existence de réarrangements chromosomiques c'est-à-dire par des cassures et des soudures des chaînes d'ADN et donc d'éléments comportant des gènes. C'est ce mécanisme qui fait que les descendants d'un couple sont différents¹ les uns des autres car les remaniements géniques sont spécifiques à chaque individu. Sur un temps plus long incluant de nombreuses générations, des discontinuités apparaissent effectivement et forment de nouveaux ensembles d'individus que l'on peut appeler races, ce qui correspond à des ruptures dans l'évolution.

¹ sauf s'il s'agit de vrais jumeaux puisqu'ils se développent à partir d'un œuf unique.

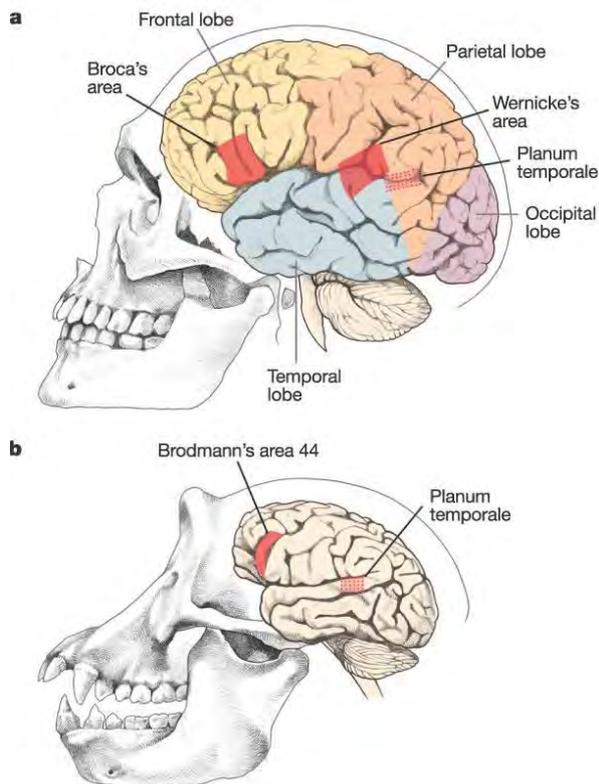


Figure 2 – Le cerveau humain (a) est beaucoup plus développé que celui du chimpanzé (b)

b- Le cerveau

L'une des caractéristiques de l'homme est la complexité de son cerveau (**Figure 2**). En effet le cerveau de l'homme comprend quelque 100 milliards de neurones (10 fois plus que chez notre lointain cousin, le chimpanzé) et les connexions entre neurones (les synapses) sont de l'ordre du million de milliards 10^{15} (100 fois plus que chez le chimpanzé qui se contente de 10 mille milliards).

Au début du XX^e siècle, Brodmann (en 1909) avait repéré 87 aires dans le cerveau humain dont la zone dite de Broca qui est impliquée dans la parole et la zone dite de Wernike qui est impliquée dans la compréhension du langage. Aujourd'hui on en sait un peu plus et au moins 180 aires différentes ont été répertoriées.

On peut envisager diverses interventions pour aboutir à l'homme augmenté. Les interventions classiques sont

1° l'entraînement : entraînement physique, entraînement intellectuel, développement de la mémoire, méditation ...

2° l'utilisation de composés pharmacologiques appelés composés nootropiques ...

3° l'intervention d'éléments intervenant dans la régulation de l'expression génique avec les ARN interférants et les modulateurs épigénétiques.

c- Modulations de l'expression des gènes

De nombreuses techniques sont accessibles, en particulier :

- l'introduction d'un gène ou la modification d'un gène par les mécanismes de thérapie génique.
- la fécondation *in vitro* à partir de cellules souches embryonnaires ou de cellules souches induites.
- la modification du génome soit à partir de cellules somatiques soit (peut-être bientôt) à partir de cellules germinales
- l'introduction d'un gène sain pour remplacer un gène en mauvais état
- la modulation de l'expression d'un ou de plusieurs gènes en modifiant les processus de régulation, en particulier en favorisant l'expression de facteurs nucléaires
- enfin, et ceci est plus récent, la modification de l'expression des gènes sans toucher au génome par ce que l'on appelle des **modulations épigénétiques**, c'est-à-dire par modifications chimiques des bases nucléiques de certains gènes sans changer la séquence ou par modifications chimiques des facteurs qui sont associés aux gènes, par exemple les histones (protéines associées aux gènes dans les chromosomes), ce qui a pour conséquence de moduler à long terme l'expression des gènes associés.

d- Modulations géniques décrites

Voici quelques exemples de modulations décrites dans la littérature :

1° modulations des facteurs nucléaires impliqués dans le langage : le produit du gène *FOXP2* (la protéine FoxP2) régule la synthèse de diverses protéines du cerveau. Ces gènes sont communs à *Homo sapiens* et à *Homo neanderthaliensis* ; il est cependant différent de celui des chimpanzés *Pan troglodytes*. Ce facteur nucléaire FoxP2 module l'expression de nombreux gènes du cerveau et au cours de l'évolution au moins cinq gènes ont subi une sélection positive. On le sait car lorsque ces

gènes portent des mutations, il y a dysfonctionnement du langage

2° Un autre exemple concerne l'origine de la différence de la taille du cerveau entre l'homme et le chimpanzé qui est liée à deux facteurs : le facteur d'encéphalisation du cerveau d'*Homo sapiens* est de 8,7 alors que celui de *Pan troglodytes* est de 2,5, différence considérable. La cause de cette différence est due à deux gènes : le *MCPH1* qui produit la microcéphaline et l'*ASPM* qui est un gène associé à la microcéphaline anormale de type fuseau. Si la microcéphaline n'est pas active le cerveau est petit. L'évolution de ces gènes a permis de séparer les caractéristiques de l'*Homo sapiens* de celles de *Pan troglodytes*. Ces gènes favorisent la croissance de la partie frontale du cerveau appelée « cortex ». Grâce à ces deux gènes, l'homme a un gros cerveau alors que le singe est resté avec un petit cerveau.

3° On sait aujourd'hui que le cerveau a une plasticité remarquable. Par exemple, le violoniste qui s'entraîne très jeune a une partie de son cortex (**Figure 3**) considérablement plus développée que les humains qui ne jouent pas de violon : la musique favorise la mémoire, favorise la motricité, le langage et les émotions ; la zone concernée est plus développée : le nombre de neurones et la densité des synapses (éléments des neurones impliqués dans le dialogue entre neurones) sont considérablement augmentés.



Figure 3 - L'aire correspondant à l'auriculaire est considérablement plus développée chez le violoniste que chez un non-violoniste

4° Un autre exemple est lié à la méditation, une voie naturelle pour arriver à l'homme

augmenté. Une expérience impliquant 15 hommes et 15 femmes qui se sont adonnés à la méditation pendant une vingtaine d'années a montré que, statistiquement, l'hippocampe des personnes ayant pratiqué la méditation est considérablement plus développée que l'hippocampe des personnes qui n'ont pas médité.

5° On peut aussi augmenter les capacités de l'homme en utilisant des suppléments nootropiques, en particulier les racétames (**Figure 4**) qui favorisent une augmentation, une amélioration des processus cognitifs. Ces molécules sont des anxiolytiques qui améliorent l'humeur, la mémoire et la capacité de se concentrer. Un autre exemple d'homme augmenté est le cas de l'utilisation d'hormones telles que l'érythropoïétine encore appelée ÉPO : cette hormone est absolument indispensable à la vie normale car elle est à la base de la synthèse des globules rouges. Les globules rouges ont une durée de vie de 100 jours. Il est possible d'augmenter le nombre de jeunes érythrocytes en se dopant soit de façon naturelle, par exemple par un séjour en haute altitude pendant trois à six semaines, soit par injection de l'hormone isolée. Dans le futur, un dopage permanent pourrait être obtenu par modification du promoteur (gène) qui contrôle la synthèse de l'ÉPO.

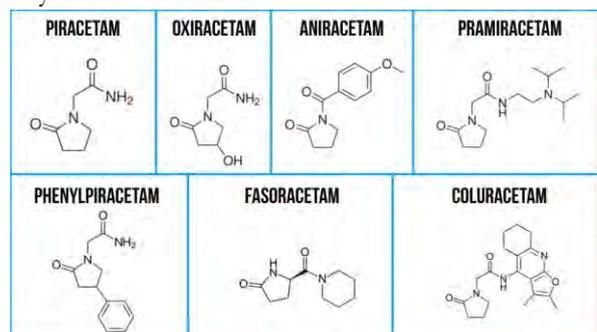


Figure 4 – Les racétames sont des nootropes qui augmentent et améliorent les processus cognitifs. 1970 Hoffman-La Roche

Ainsi le transhumanisme est à portée de main.

e- La fécondation *in vitro* et ses applications

La fécondation *in vitro* ouvre la voie à des manipulations génétiques pouvant permettre

l'accès à des descendants dignes du nom d'homme augmenté. Jusqu'à présent en France, la fécondation *in vitro* est réservée aux couples infertiles ; cependant il y a des évolutions et en voici quelques exemples.

1° l'enfant médicament

Depuis quelques années des « enfants médicaments » ont été obtenus dans le cas d'une pathologie génétique affectant un enfant premier né. Le principe est simple : il suffit de préparer des embryons et de sélectionner ceux qui ne sont pas porteurs de la mutation qui affecte le premier enfant. L'embryon « sain » est implanté *in utero* et l'enfant qui va naître ne possède pas le défaut génétique du premier ; cet enfant est appelé « **enfant médicament** » car il sera un donneur privilégié d'organe pour soigner le premier né dans des conditions optimales.

2° le clonage reproductif

Des perspectives s'ouvrent sur le clonage thérapeutique de façon à créer des tissus biologiques sur mesure. Si jusqu'à présent le clonage reproductif est interdit chez les humains, il fonctionne parfaitement chez les mammifères et il n'est pas impossible qu'un jour, dans certains pays, le clonage reproductif voit le jour chez les humains.

En effet, si Dolly la brebis, fut le premier mammifère cloné, en 1996, depuis de nombreux autres mammifères ont été clonés, à l'exception des primates dont nous faisons partie. Or le mois dernier, une équipe de Shanghai (Liu Z *et al.*, *Chinese Academy of Sciences Institute of Neuroscience*) a publié un article dans le très sélectif journal : Cell, annonçant qu'ils avaient réussi à obtenir 2 singes macaques (Figure 5) par transfert de noyaux de fibroblaste fœtal dans des ovocytes énucléés. Le résultat est cependant pauvre car sur 65 mères porteuses qui ont reçu un embryon cloné, seuls deux singes sont viables. Par contre, le résultat est spectaculaire en ce qu'il démontre pour la première fois que le clonage reproductif est possible chez les primates. Ce succès est dû à l'utilisation de modulateurs épigénétiques qui ont permis d'améliorer la qualité du transfert de noyau en se rapprochant au plus près des conditions naturelles de développement de l'embryon.

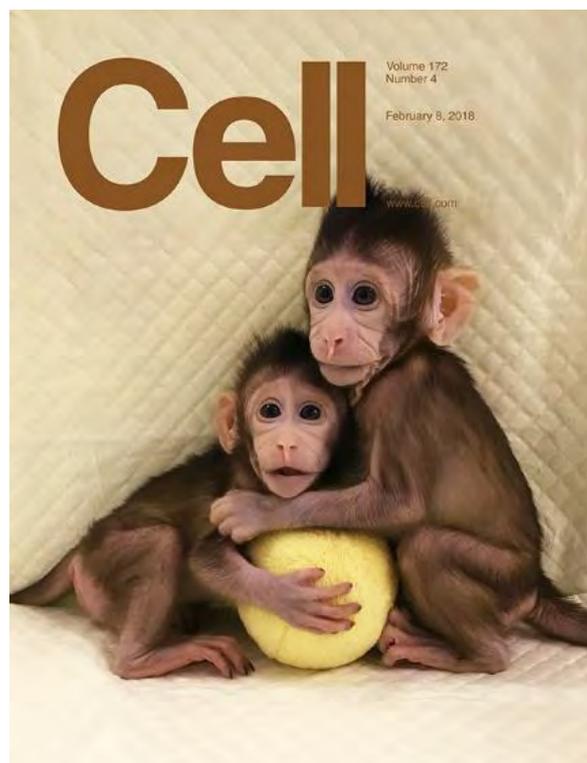


Figure 5 - Les deux singes nommés **Zhong Zhong 55** et **Hua Hua**, 45 jours.

3° Les cellules souches pluripotentes et totipotentes.

Il y a plusieurs années, il a été montré (cf. le prix Nobel de John Gurdon et Shinya Yamanaka Yamakawa) que des cellules somatiques c'est-à-dire non germinales (fibroblastes de la peau, par exemple) peuvent être transformées en cellules induites souches. Les cellules souches induites peuvent être pluripotentes : c'est-à-dire qu'elles ouvrent la voie aux diverses cellules somatiques de l'organisme, ou totipotentes c'est-à-dire des cellules capables de former un individu à part entière. Il existe plusieurs pistes pour obtenir de telles cellules totipotentes : les premières correspondent à l'utilisation de modulateurs des protéines qui jouent le rôle de chef d'orchestre dans le noyau et permettent de dédifférencier la cellule. Depuis peu, il est même possible d'obtenir des cellules totipotentes par manipulations génétiques en jouant sur des phénomènes épigénétiques.

4° les cellules souches germinales

En ce qui concerne les cellules germinales, il a été montré qu'il est possible aujourd'hui de transformer une cellule somatique soit en

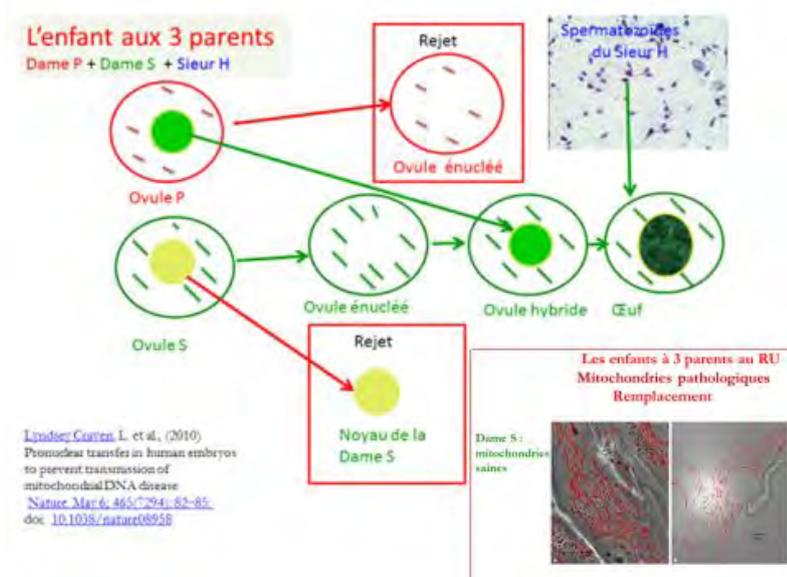


Figure 6 - Schéma explicatif de la préparation de l'œuf issu de 3 parents : Les femmes donnent l'une le génome nucléaire (la mère), l'autre le génome mitochondrial (la préteuse) pour reconstituer un ovule indemne de la pathologie mitochondriale de la mère. Alors le spermatozoïde du père féconde l'ovocyte reconstitué.

ovocytes soit en spermatozoïdes. Ces avancées techniques associées à celles de la mise au point d'utérus artificiel conduisent tout droit à l'ectogenèse sur mesure.

La GPA (gestation pour autrui) ouvre des perspectives en vue de l'obtention d'enfants de duos homosexuels hommes. Le principe est de préparer des ovocytes à partir de cellules souches d'un homme A. Cet ovocyte sera fécondé par un spermatozoïde de l'homme B et l'œuf obtenu sera implanté dans l'utérus d'une femme hormonalement préparée.

5° L'enfant aux trois parents

Un autre exemple de manipulations est donné par « l'enfant aux trois parents » (Figure 6). Il s'agit d'un cas où la femme à une pathologie liée aux mitochondries.

On sait que les mitochondries sont présentes dans toutes les cellules et qu'elles sont indispensables à la transformation des aliments, en particulier le glucose, en molécules dites

riches en énergie, molécules telles que l'ATP, indispensables pour la synthèse des constituants des cellules. Ces pathologies liées aux mitochondries sont transmissibles par la mère. On sait en effet que les mitochondries du bébé dérivent des mitochondries de la mère et non du père ; donc une femme qui a des mitochondries

malades donnera des enfants avec la même pathologie.

Par contre, si on utilise l'ovule de la femme pour en extraire le noyau (qui contient le génome) et que l'on introduit ce noyau dans un ovule énucléé (c'est-à-dire ovule dont on a extrait le noyau) d'une femme qui a des mitochondries saines, on obtient un ovule hybride qui pourra être fécondé par un spermatozoïde du père et conduira à un organisme sain : on a donc bien un enfant qui a, au moins partiellement, comme origine trois parents différents.

6° Régénération des axones

Il a pu être montré que l'on pouvait régénérer des axones (Figure 7) chez le rat en implantant des cellules souches traitées pour favoriser une différenciation vers les neurones : une liaison spinale a pu être réparée par ce

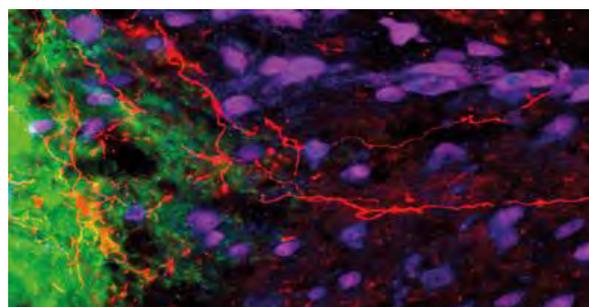


Figure 7 – Régénération de neurones : filaments colorés en rouge. procédé.

7° Préparation d'organes chimériques

On peut aussi envisager la fabrication d'embryons chimériques (Figure 8) c'est-à-dire utiliser des cellules souches pour générer un organe humain dans un mammifère domestique ce qui permettrait de remplacer le pancréas chez un humain. En effet, pour le cancer du pancréas, le pronostic est désastreux et la chimiothérapie, l'immunothérapie, la radiothérapie sont en général parfaitement inefficaces ; d'où l'idée de partir d'une cellule souche d'un patient et de développer des cellules différenciées en cellules précurseurs de pancréas, d'injecter ces cellules humaines dans

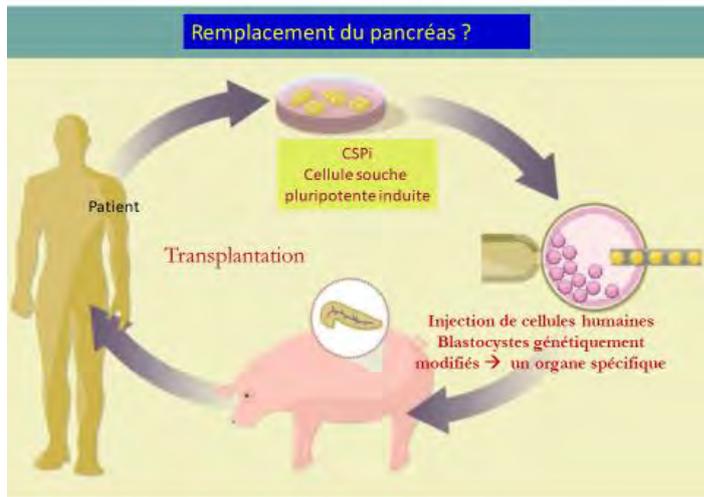


Figure 8 – Schéma de la préparation d'un organe humain chez un porc.

un animal, par exemple un porc, pour obtenir *in situ* la fabrication d'un pancréas humain. Ce pancréas humain est récupéré et transplanté chez le patient dont le pancréas est défectueux.

8° Fabrication de bébés

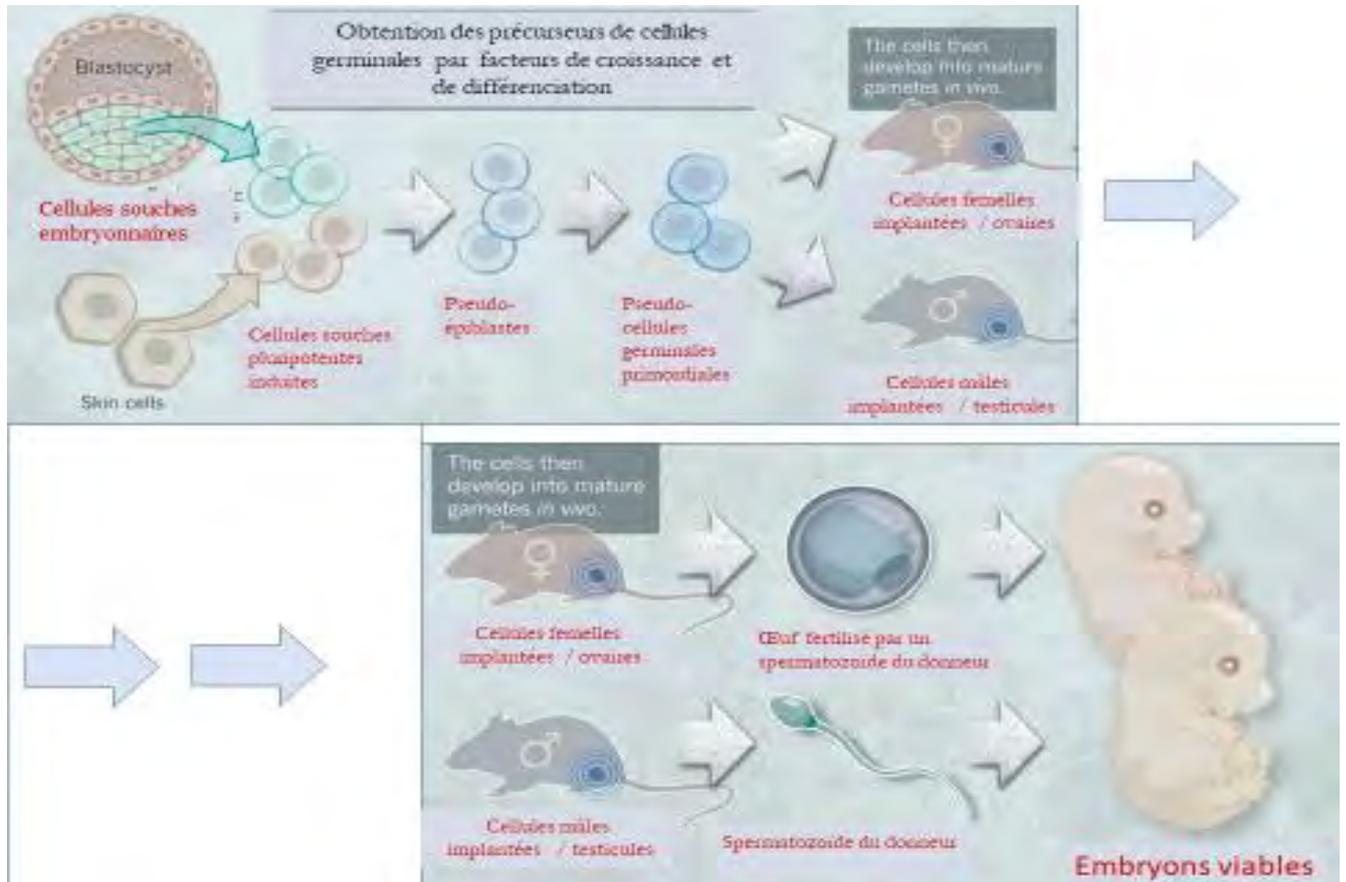


Figure 9 – Nouveaux nés *via* l'obtention de gamètes (ovocytes et spermatozoïdes) à partir de cellules différenciées

Passons maintenant à la fabrication de bébés (Figure 9). Nous l'avons dit, il est aujourd'hui possible d'obtenir des cellules souches pluripotentes soit en cultivant des cellules souches embryonnaires soit en dédifférenciant des cellules souches somatiques, par exemple des cellules de la peau. Les cellules pluripotentes peuvent être transformées en cellules prégerminales c'est-à-dire susceptibles de donner soit des ovocytes soit de spermatozoïdes : ces cellules prégerminales sont injectées dans les ovaires d'une souris femelle pour obtenir des ovocytes ou dans le testicule d'une souris mâle pour obtenir des spermatozoïdes. Ensuite, on récupère d'un côté les ovocytes et de l'autre les spermatozoïdes : les spermatozoïdes permettent de fertiliser des ovocytes et d'obtenir de ce fait des descendants. Ce qui est vrai aujourd'hui chez la souris pourra demain l'être chez l'homme.

Dans cette optique on peut donc obtenir des descendants sans avoir recours à un couple classique.

9° L'ectogénèse

On peut aller plus loin avec l'ectogénèse : l'ectogénèse est un mode d'obtention de jeunes animaux (voire de jeunes humains) en dehors du corps de la mère en général ou de la femme en particulier, ceci grâce à un utérus artificiel. Dès maintenant il est possible d'obtenir un développement presque complet d'un animal : ceci a été démontré dans le cas de la préparation d'un agneau (**Figure 10**) : il y a encore des progrès à accomplir mais c'est envisageable dans l'avenir.

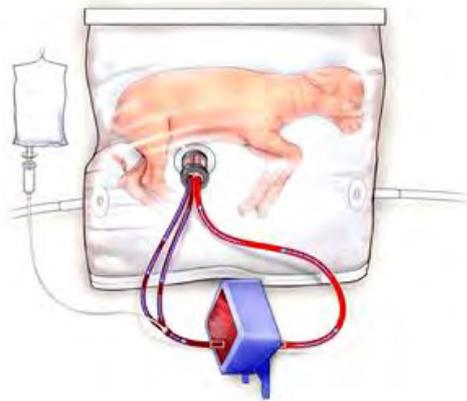


Figure 10 – Agneau développé dans un utérus artificiel à partir d'un œuf obtenu *in vitro* : ectogénèse

f- Les organismes génétiquement modifiés

Après avoir fait état d'un certain nombre de données biologiques qui peuvent conduire à l'homme augmenté, passons maintenant à la manipulation du génome humain.

Depuis le début du siècle la biologie moléculaire a fait des progrès considérables. Le génome de l'homme et celui de centaines d'autres organismes ont été séquencés. Il est envisageable aujourd'hui pour une somme modique d'obtenir une connaissance totale du génome d'un individu.

Plus simplement on peut aussi séquencer un ou plusieurs gènes qui sont liés à des caractéristiques intéressantes ou qui sont liés à des pathologies. Ce séquençage du génome humain total ou partiel permet effectivement de détecter d'éventuelles pathologies et en particulier de mettre en évidence les gènes de susceptibilité c'est-à-dire qui sont habituellement liés à une pathologie.

Pour obtenir ce genre de résultats, les cellules embryonnaires sont idéales. Comme le jeune embryon jusqu'au stade à huit cellules contient des cellules qui, prises isolément, peuvent donner chacune un individu complet. La séquence est la suivante :

** Prélèvement d'une cellule sur un jeune embryon

** Détermination de la séquence partielle ou totale de son génome

** Sélection de l'embryon qui a les caractéristiques attendues (et, dans l'avenir, les qualités en vue d'améliorer les descendants).

L'embryon ne sera pas utilisé s'il possède des gènes mutés mais il le sera si ses gènes sont intacts. En outre, il est dès maintenant possible de modifier un gène particulier, de corriger une anomalie, de remplacer un gène défectueux, de changer un gène régulateur, d'échanger deux gènes, d'introduire un gène plus actif, d'éliminer un gène de susceptibilité et de le remplacer par un gène qui n'a pas de mutation. Ce tour de

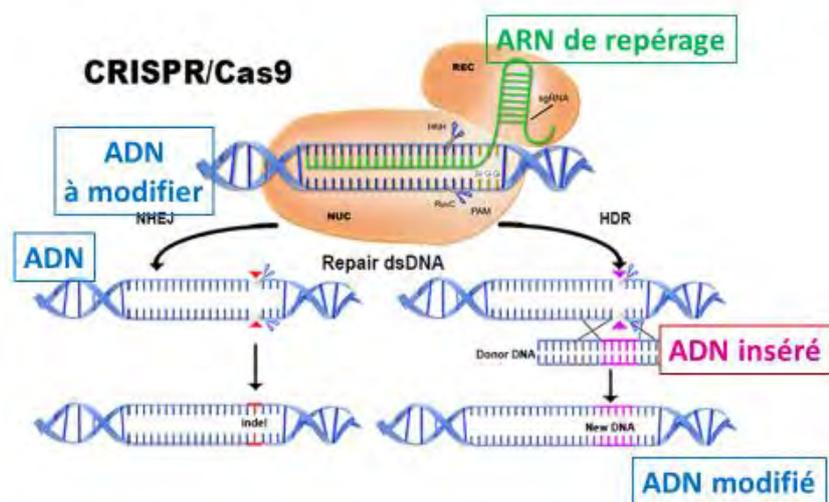


Figure 11 – Schéma de modification de l'ADN chromosomique (en bleu) par le système CRISPR/Cas9. L'ARN de reconnaissance est vert. Le fragment d'ADN ajouté est rose. (Feng Zhang) Nature Protocols 8, 2281–2308 (2013)

force est dû à un système qui a été mis en évidence chez les bactéries par une française Emmanuelle Charpentier et une américaine Jennifer Doudna et qui a ensuite été appliqué par un américain Feng Zhang à des cellules de mammifères. Cette technique qui s'appelle la CRISPR Cas9 (prononcez : crisper casse 9) permet grâce à ce complexe qui contient de l'ARN (acide ribonucléique) et des enzymes de se fixer d'une façon extrêmement sélective, (pratiquement absolument sélective) sur la séquence de l'ADN que l'on souhaite modifier. Les enzymes associées vont permettre de couper l'ADN à un endroit parfaitement déterminé (et pas à un autre) pour soit éliminer un segment de cet ADN du chromosome considéré soit insérer un segment qui remplacera le segment défectueux.

1° Immunothérapie du cancer

Cette technique a déjà été utilisée pour le traitement du cancer. Le feu vert a été donné (en Chine d'abord puis aux USA) pour le gène codant la protéine PD-1, un inhibiteur de l'action tueuse des cellules blanches appelées lymphocytes T. C'est grâce à cette protéine que la tumeur peut échapper à l'action tueuse des lymphocytes ; donc en neutralisant le gène codant la PD-1, les lymphocytes T du patient vont devenir actifs contre les cellules tumorales. Dès que les lymphocytes T du patient ont été isolés, on pratique l'édition du génome c'est-à-dire l'inhibition ou la neutralisation du gène *PD-1* on multiplie les cellules ainsi obtenues et on les injecte au patient.

2° Organismes résistant au virus du Sida

Un autre exemple a été décrit récemment, il s'agit d'obtenir des embryons humains résistants au HIV. On sait en effet que pour entrer dans une cellule le virus doit reconnaître des récepteurs à la surface de la cellule l'un des récepteurs, le CD4, est commun mais l'autre le CCR-5 peut ne pas être efficace chez certains individus : c'est le cas en particulier d'environ 1 % des humains infectés par le virus HIV (Sida). Ces personnes peuvent vivre avec le virus sans développer la maladie : le sida. L'idée est donc d'utiliser le CRISPR-Cas9 pour inhiber le CCR-5 et obtenir ainsi des cellules embryonnaires incapables de laisser pénétrer le virus. Les résultats publiés montrent qu'environ 20 % des

embryons humains ainsi traités sont effectivement réfractaires à l'entrée du virus.

3° Traitement de la bêta-thalassémie

Un autre exemple est donné par le cas d'une pathologie liée à l'hémoglobine il s'agit de la bêta thalassémie, pathologie due à un gène anormal qui conduit à des globules rouges ayant une forme particulière le gène fautif, muté dans la cellule embryonnaire initiale, a pu être édité et l'embryon sain ainsi obtenu est parfaitement viable.

4° Traitement de la maladie de Duchenne

Un dernier exemple est celui de cardiomyocytes (cellules cardiaques du cœur) dans le cas de la dystrophie musculaire de Duchenne (**Figure 12**). Il s'agit d'une pathologie qui touche les cellules musculaires. La protéine dont le gène est muté s'appelle la dystrophine. Dans le cas de de la maladie de Duchenne, la dystrophine n'est pas fonctionnelle. Le gène de la dystrophine non fonctionnelle peut être corrigé par CRISPR-Cas9 ou par un système équivalent : dans les cellules « éditées » la dystrophine fonctionnelle est exprimé à nouveau ; ceci permet d'ouvrir la voie à une possible guérison de la maladie de Duchenne.

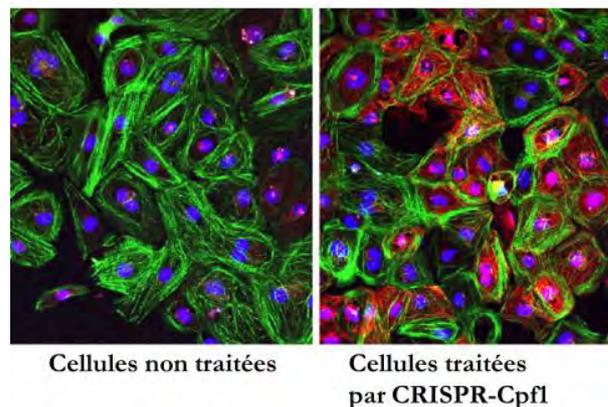


Figure 12 – Correction de cardiomyocytes humains par un système de type CRISPR. 2017. A droite l'intérieur de la plupart des cellules est coloré en rouge montrant que la dystrophine est exprimée. Y. Zhang et al. Science Advances, doi:10.1126/sciadv.1602814

Cependant jusqu'à présent cette technique d'édition fine n'est pas sûre à 100 % ; de nombreux travaux en cours ont pour but de rendre encore plus spécifique l'édition. Dans

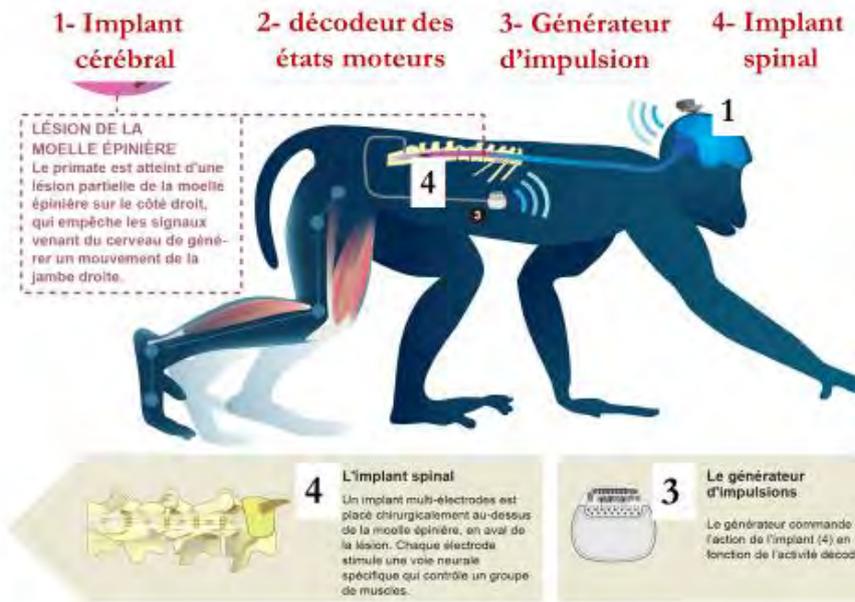


Figure 13 – Un primate souffrant d'une lésion de la moelle épinière retrouve la capacité de se déplacer grâce à un implant cérébral, un décodeur des états moteurs, un générateur d'impulsion et un implant spinal.

l'avenir ceci permettra de guérir de nombreuses autres pathologies.

3 – Le potentiel neurologique connecté

Passons maintenant au troisième aspect celui du potentiel neurologique connecté. Cette approche est animée actuellement par les GAFAM, les grandes entreprises informatiques que sont Google, Apple, Facebook, Amazon Microsoft aux USA. En Chine les sociétés équivalentes sont les BAXT : Baidu (moteur de recherche, cf. Google) Alibaba (cf. Amazon) Tencent (messagerie instantanée, cf. Facebook ...) Xiaomi (cf. Apple). La base de ce potentiel est de concevoir et de réaliser des neuroprothèses. Il existe des prothèses auditives, des prothèses mécaniques ... il s'agit maintenant de prothèses neurologiques. Ces prothèses permettront de réaliser des interfaces entre la machine et le cerveau. Cette approche est en plein développement à l'école polytechnique fédérale de Lausanne et il y a déjà des résultats en particulier pour un implant cérébral qui permet aux singes partiellement paralysés de marcher à nouveau. Mais il y a des progrès à faire car les mouvements sont brusques et lents et nécessitent un retour visuel continu. Le schéma (**Figure 13**) explique le mécanisme : il s'agit d'un singe dans la moelle épinière a été lésée, le côté droit a été touché et les signaux venant du cerveau qui normalement favorisent le mouvement de la jambe droite sont interrompus.

Il y a quatre éléments importants :

- 1° un implant cérébral,
- 2° un décodeur des états moteurs,
- 3° une génération d'impulsions et enfin
- 4° un implant spinal qui permet de recevoir les ordres venant du cerveau.

Ce qui est vrai chez le primate est également vrai chez l'homme (**Figure 14**) : il est possible aujourd'hui de restaurer les mouvements d'approche et de préhension grâce à une simulation musculaire contrôlée par le cerveau chez une personne tétraplégique. Les éléments de l'activité neuronale sont enregistrés par des implants dans le cerveau : ces activités

sont décodées et transmises à un stimulateur externe implanté dans le bras paralysé, ce qui permet de modifier la position du bras directement sous la dépendance du cerveau.

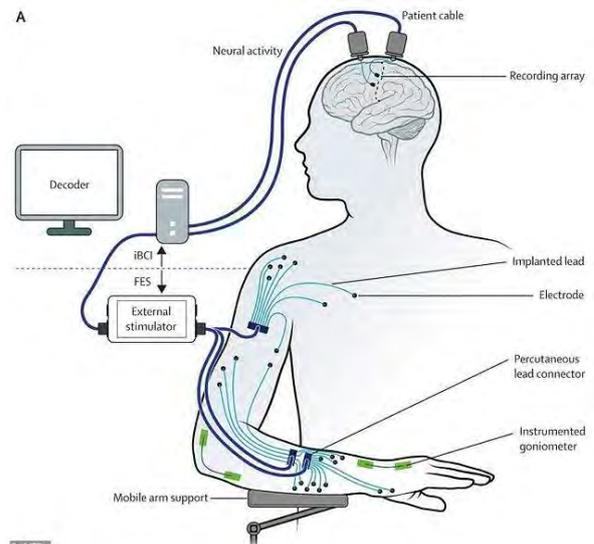


Figure 14 –Un homme peut bouger les doigts grâce à des systèmes électroniques implanté dans le cerveau et dans le bras.

Facebook travaille sur la télépathie entre les ordinateurs et les hommes. L'année dernière 2017, lors de la conférence qui s'est tenue en avril à Boston, les auditeurs ont vu une femme qui fixait un ordinateur et sur l'écran de cet

ordinateur les mots s'affichaient : elle ne parlait pas, elle ne tapait pas sur un clavier : il lui suffisait de penser à une phrase pour l'écrire. Elon Musk (le fondateur de X.com devenu PayPal en 2001, de Tesla Motors, de Space X) a lancé Neuralink en mars 2017 : c'est une entreprise qui a pour mission de mettre au point un mécanisme de raccordement du cerveau humain à des éléments de l'intelligence artificielle.

4 - Éléments d'un questionnement éthique.

Nous abordons maintenant le dernier aspect correspondant à des éléments d'un questionnement éthique.

Un article intéressant d'Andy Miah est paru en 2016 : il s'intitule « L'éthique de l'amélioration humaine » : l'auteur passe en revue les progrès scientifiques récents avec les nombreuses améliorations avérées, des améliorations qui verront le jour dans un futur proche ou lointain et enfin des améliorations qui pour l'instant ne sont que rêvées. Cependant à capacités nouvelles, questions nouvelles

- comment utiliser ces améliorations ?
- comment les contrôler ?
- qui doit prendre les décisions ? parmi les questions brûlantes liées au transhumanisme, on peut citer
- la réification de l'homme c'est-à-dire la perte d'une partie de ses qualités pour ne devenir qu'un système partiellement ou totalement mécanique.

Le transhumanisme peut dévier vers

- un eugénisme négatif c'est-à-dire avec élimination des êtres non conformes ou
- un eugénisme positif avec des sélections spécifiques de l'homme augmenté

Les développements de cellules germinales induites présentent de graves dangers dont l'accès à la reproduction à partir de cellules génétiquement manipulées. La voie est ouverte grâce aux possibilités de modification du génome en utilisant des outils tels que le CRISPR-Cas9 ou le Talen, etc.

Enfin, quid de l'ectogénèse, c'est-à-dire du développement et de l'utilisation d'utérus artificiels.

a- L'eugénisme négatif

Quelques mots sur l'eugénisme négatif : il s'agit d'éliminer les embryons ou les fœtus non conformes. En fait, c'est déjà le cas lorsqu'après un diagnostic préimplantatoire, on élimine les embryons qui ne sont pas conformes à ce que l'on souhaite ou après un diagnostic prénatal lorsque le diagnostic est suivi d'un avortement. De façon générale, la fécondation *in vitro* ouvre la voie à la sélection des embryons pour le choix du sexe, mais aussi pour la recherche de gènes de susceptibilité : les embryons qui possèdent les gènes susceptibles de conduire au cours de la vie à un développement d'une pathologie sont éliminés, par contre les embryons possédant des gènes permettant d'obtenir des hommes augmentés seront sélectionnés et implantés : ceci correspond à l'eugénisme positif.

b- L'eugénisme positif

L'eugénisme positif pourrait conduire à un corps amélioré voire à un corps inaltérable : la voie est ouverte par la sélection des embryons qui possèdent des gènes les plus performants soit pour des prouesses sportives soit pour la force physique soit pour la longévité soit pour des capacités intellectuelles etc.

c- Les OGM humains

Il est possible de modifier le génome en faisant des corrections d'un gène ou de plusieurs gènes, en permettant l'insertion d'un nouveau gène ou en éliminant un gène défectueux, en modulant l'expression d'un ou de plusieurs gènes, en modulant la régulation épigénétique. L'eugénisme positif correspond dans ces exemples à la formation d'embryons génétiquement modifiés : les OGM. Parler d'OGM en France à propos de simples plantes génétiquement modifiées provoque une levée de boucliers, à quoi peut-on s'attendre lorsque l'on proposera la gestation d'embryons génétiquement modifiés ?

d- De nouvelles responsabilités à définir

En ce qui concerne la réflexion éthique il y a plusieurs voies de réflexion : il faut se pencher, d'abord, sur le problème du rapport bénéfice/risque. En effet, jusqu'à présent la médecine

avait pour but de guérir mais avec les approches transhumanistes, la médecine pourrait être utilisée non pour guérir mais pour modifier la descendance de l'homme. Si le médecin ne se contente plus de guérir, se pose alors des problèmes de responsabilité et de précaution.

Qui sera responsable ? Le médecin qui réalise l'insémination artificielle ou le biologiste qui manipule les cellules et, en particulier dans le cas du CRIPR cas9, l'entreprise qui produit les outils, l'organisme qui en assure le financement, etc.

À propos des buts poursuivis, il est clair que lorsque l'on passe de l'homme réparé à l'homme augmenté, il s'agit de repousser les limites humaines mais

jusqu'où ?

pourquoi faire ?

à quel prix ?

qui pourra en bénéficier ?

qui ne pourra pas en bénéficier ?

quid de l'égalité des humains par rapport à ce transhumanisme ?

L'un des buts du transhumanisme est l'allongement de la vie :

par quelles voies ?

pour quoi faire ?

quelles sont les implications positives et négatives de l'immortalité ?

quel sera l'impact sur la démographie ?

quel sera le nouveau rapport au vivant et à la vie ?

que deviennent les limites entre le vivant et l'inanimé, entre le naturel et l'artificiel ?

va-t-on vers de nouveaux êtres biologiques, vers une nouvelle espèce humaine ?

Pour aller plus loin, après ces quelques propos, vous pouvez approfondir la question en lisant certains des ouvrages présentés ci-après.

Remerciements

Je remercie Daniel Locker, professeur honoraire des Universités, généticien et Annie-Claude Roche, Directeur de recherche honoraire de l'Inserm pour leurs conseils et pour la lecture et la correction de ce manuscrit.

Références

Laurent Alexandre - La guerre des intelligences, 250 pages, Éd. JC Lattès 2017, Collection : Essais et documents ISBN-10: 2709660849, ISBN-13: 978-2709660846

Laurent Alexandre et Jean-Michel Besnier - Les robots font-ils l'amour ? Le transhumanisme en 12 questions. 144 pages, Éd. Dunod 2016, ISBN-10: 2100747584, ISBN-13: 978-2100747580

Jean Boboc et Pierre Magnard - Le transhumanisme décrypté : Métamorphose du bateau de Thésée. 463 pages, Éd. Apopsix 2017, ISBN-10: 2359791370, ISBN-13: 978-2359791372

Christian de Duve - Singularités : Jalons sur les chemins de la vie, 296 pages, Éd. Editions Odile Jacob 2005, Collection : SCIENCES ISBN-10: 2738116213, ISBN-13: 978-2738116215

K. Eric Drexler - *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization* (Abondance radicale : Comment une révolution nanotechnologique va changer la civilisation) 368 pages, Éd. Public Affairs 2013, ISBN-10: 1610391136, ISBN 978-1-6103-9113-9

K. Eric Drexler - *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (Les moteurs de la création : l'arrivée de l'ère des nanotechnologies), 1987, 312 pages, Éd. Anchor, ISBN-10: 0385199732, ISBN-13: 978-0385199735 - *Engines of Creation 2.0: The Coming Era of Nanotechnology - Updated and Expanded*, 2007, 647 pages

F. M. Esfandiary - *Up-Wingers: A Futurist Manifesto* (Un manifeste futuriste), Éd. John Day Co, 1973, ISBN-10: 0381900088, ISBN-13: 978-0381900083 1986

Luc Ferry - La révolution transhumaniste, 216 pages, Éd. Plon 2016, ISBN-10: 2259249159, ISBN-13: 978-2259249157

Francis Fukuyama - *The End of History and the Last Man* (La fin de l'Histoire et le dernier Homme) Ed. Free Press 1992 ASIN: B01JXSNISK, Éd. Flammarion 2009, Collection : Champs Essais ISBN-10: 2081219026, ISBN-13: 978-2081219021

Francis Fukuyama - La fin de l'homme (Les idées les plus dangereuses au monde : le transhumanisme), 448 pages, Poche 2004, Éd. Gallimard Collection : Folio actuel, ISBN-10: 2070304434 ISBN-13: 978-2070304431

Jean-Gabriel Ganascia - Le mythe de la Singularité - Faut-il craindre l'intelligence artificielle ? 144 pages, Éd. Le Seuil 2017, Collection : Science Ouverte ISBN-10: 2021309991, ISBN-13: 978-2021309997

Jean-Claude Heudin - Intelligence Artificielle: Manuel de survie, 168 pages, Éd. Science eBook 2017, ISBN-10: 2377430007, ISBN-13: 978-2377430000

Edouard Kleinpeter - L'Humain augmenté, 224 pages, Éd. Cnrs 2013, Collection : ESSEN HERMES ISBN-10: 2271079144, ISBN-13: 978-2271079145

Michel Le Van Quyen - Améliorer son cerveau : oui, mais pas n'importe comment ! 272 pages, Éd. Flammarion 2017, Collection : Documents SC.HU, ISBN-10: 2081389568, ISBN-13: 978-2081389564

Pierre-Marie Lledo - Le Cerveau, la machine et l'humain: Le cerveau au XXI^e siècle, 270 pages, Éd. Odile Jacob 2017, Collection : OJ. Sciences ISBN-10: 2738135188, ISBN-13: 978-2738135186

Thierry Magnin - Penser l'humain au temps de l'homme augmenté: Face aux défis du transhumanisme, 304 pages, Éd. Albin Michel 2017, Collection : A.M. Grand Format ISBN-10: 2226326596 ; ISBN-13: 978-2226326591

Michel Monsigny

Professeur honoraire des Universités,

Membre titulaire de l'Académie d'Orléans

Communication du 1^{er} mars 2018

Pour harmoniser les activités humaines dans le Val d'Orléans : le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Val Dhuy Loiret

François Lelong

Résumé

Le Val d'Orléans, vaste plaine alluviale en amont de l'agglomération, est un territoire très typé, bénéficiant d'abondantes ressources en eau, mais aussi soumis à de fortes contraintes : risques d'inondation, diversité et intensité des besoins en eau, protection des captages d'eau potable, objectifs de qualité des eaux de surface et souterraines, conservation des zones humides ...

Après avoir défini les limites et les caractéristiques du Val d'Orléans et avoir évoqué ses richesses patrimoniales, l'objet de cet exposé est d'analyser les principaux enjeux auxquels le SAGE est confronté :

- 1- assurer la protection contre les inondations
- 2- sécuriser l'alimentation en eau potable ;
- 3- restaurer la qualité des eaux de surface et souterraines ;
- 4- satisfaire l'ensemble des usages professionnels et de loisirs ;
- 5- préserver des milieux aquatiques et rechercher une plus grande diversité piscicole.

Une dizaine d'années après la création de ce SAGE, on examinera comment ces problèmes ont été traités et quelles perspectives se dessinent pour l'avenir.

Abstract

The "Val d'Orléans", a vast alluvial plain upstream of the agglomeration, is a very typical territory, benefiting from abundant water resources, but also subject to strong constraints: flood risk, diversity and intensity of water needs, protection of drinking water abstractions, surface and groundwater quality objectives, conservation of wetlands...

Having defined the boundaries and characteristics of the "Val d'Orléans" and evoked its rich heritage, the purpose of this presentation is to analyze the main issues facing the SAGE:

- 1- *to provide protection against floods*
- 2- *to secure the supply of drinking water;*
- 3- *to restore the quality of surface and groundwater;*
- 4- *to satisfy all professional and leisure uses;*
- 5- *to preserve aquatic environments and seek greater fish diversity.*

A dozen years after the creation of this SAGE, we will examine how these problems were dealt with and what perspectives are emerging for the future.



Introduction

La loi sur l'eau de 1992 a créé les SDAGE, schémas de développement et de gestion des eaux à l'échelle des grands bassins versants, et les SAGE, schémas de gestion des eaux à l'échelle de territoires plus restreints où la disponibilité en eau pose question avec une acuité particulière. C'est ainsi qu'on a créé dans l'emprise du Val d'Orléans, le « SAGE du Val-Dhuy-Loiret », afin de concilier les divers enjeux sociaux-économiques et environnementaux avec les particularités hydrologique de ce territoire. La figure 1 montre les documents officiels de cette création, les notices techniques et l'arrêté préfectoral.

1- Qu'est-ce qu'un SAGE ?

Le principe de ces schémas a été créé par la Loi sur l'eau de décembre 1992 ; leur contenu a été précisé par la nouvelle loi sur l'eau de décembre 2006 : il vise à établir un plan durable d'aménagement et de gestion des eaux et des milieux aquatiques à l'intérieur d'un périmètre dans lequel les ressources en eau (cours d'eau et nappes souterraines) présentent une certaine unité fonctionnelle. Par exemple, dans notre région, deux SAGE ont été créés, l'un concerne l'aquifère de Beauce, l'autre la rivière Loiret et son affluent principal le Dhuy. Ces cours d'eau longent le coteau de Sologne entre Neuvy-en-Sullias à l'amont et la pointe Courpain (confluence du Loiret avec la Loire) à l'aval ; ils drainent la plaine alluviale du Val d'Orléans et reçoivent quelques émissaires provenant de ce coteau.

2- Historique et fonctionnement du SAGE

Le périmètre du SAGE, « Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Val-Dhuy-Loiret » a été

défini par arrêté préfectoral, le 14 janvier 1999 ; il s'est appuyé pour cela sur les travaux menés depuis une cinquantaine d'années par l'Association pour le Développement l'Animation et la Promotion de la Rivière Loiret et de son Site (ADAPRILS), et par l'Association pour la Protection du Site du Loiret (APSL). Une Commission Locale de l'Eau (CLE), composée d'une cinquantaine de membres (membres élus des communes concernées, représentants des usagers et des services de l'État) a été ensuite mise en place. Elle assure le fonctionnement technique, administratif et financier du SAGE ; elle bénéficie pour cela, du support de l'Etablissement Public Loire et du soutien de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne. Cette Commission a mené, avec divers bureaux



Figure 1 : les documents de la création officielle du « SAGE Val-Dhuy-Loiret »

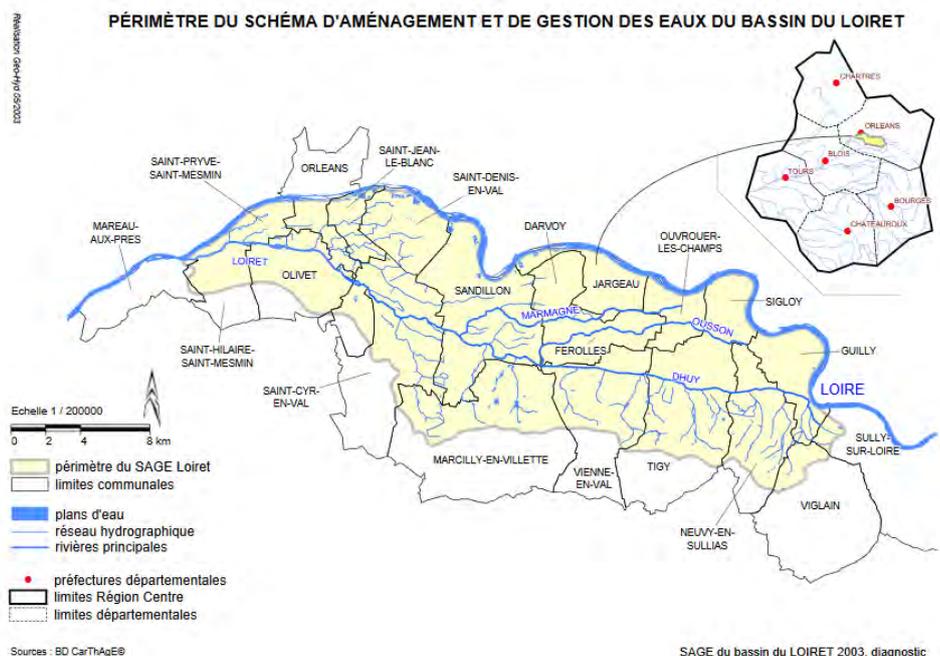


Figure 2 : Le territoire du SAGE

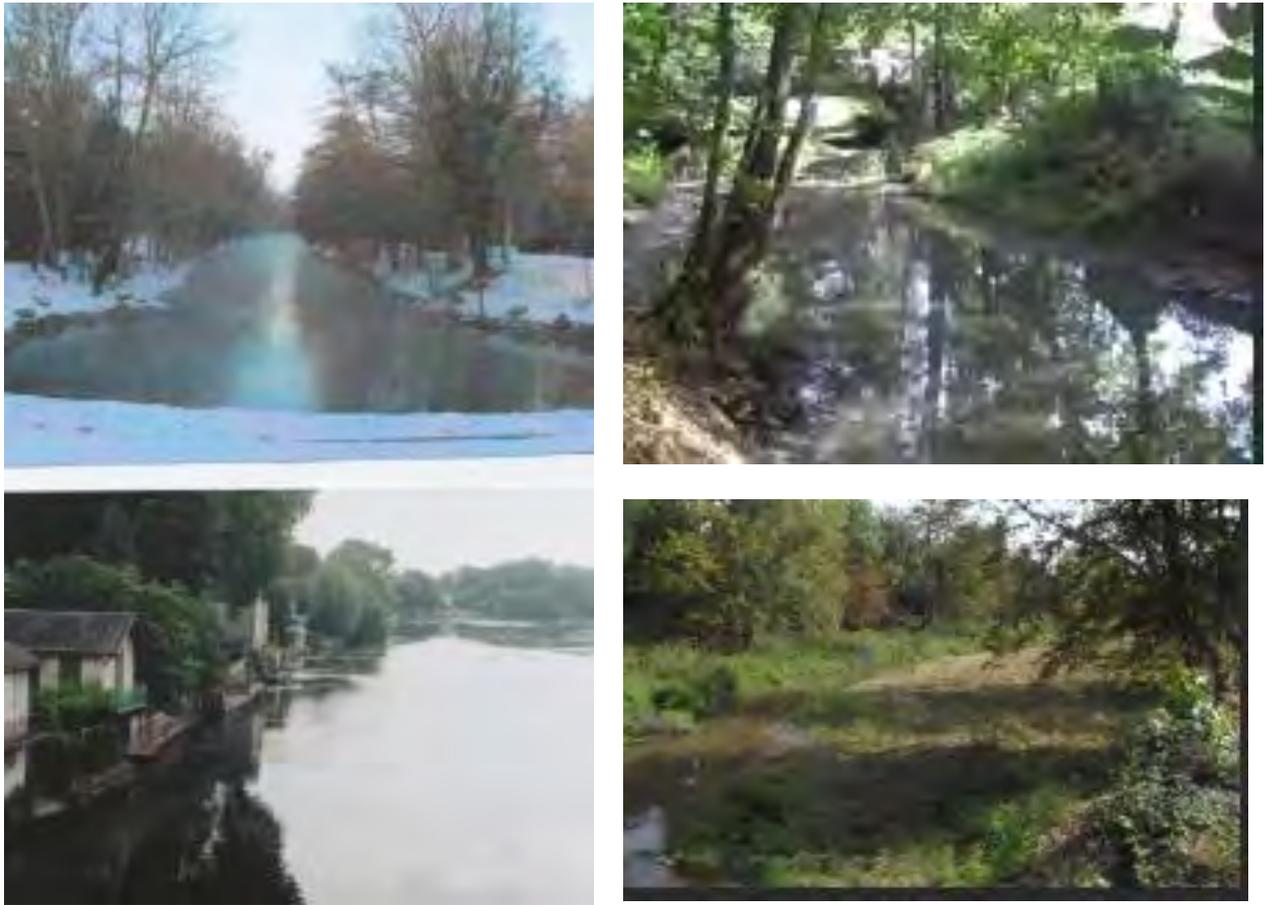


Figure 3 : A droite le Dhuy à l'amont et à l'aval du pont Gobson ; à gauche la source du Bouillon et le bassin Saint Sanson à l'aval du pont d'Olivet.

d'étude, des travaux visant à établir « l'état des lieux » du territoire du SAGE, à étudier différents scénarios d'aménagement et de gestion possibles, à définir les objectifs à poursuivre pour optimiser le fonctionnement hydrologique de ce territoire, de nature à favoriser les activités humaines et économiques qui s'y tiennent en relation avec les ressources en eau et les milieux aquatiques. Après consultation des services de l'État et enquête publique, la version finale du SAGE a été adoptée par la CLE en octobre 2011 et le texte adopté par arrêté préfectoral, le 15 décembre 2011.

3- Le territoire du SAGE Val-Dhuy-Loiret

Ce territoire s'étend sur 330 km² et concerne 21 communes (Fig. 2) ; mais il ne les couvre pas toutes totalement : on voit par exemple que le lit de la Loire définit la limite nord et donc que l'aire urbaine d'Orléans rive droite n'y est pas

incluse. S'agissant des communes situées au sud du Val, seul y est intégré la surface du coteau de Sologne, où coulent de petits cours d'eau qui se jettent dans le Dhuy.

Le Loiret et son affluent principal le Dhuy en occupent le centre, ils s'étirent sur 45 km d'est en ouest ; curieusement le Loiret qui ne mesure que 11,6 km, est beaucoup plus imposant en taille et en débit : son débit annuel moyen varie de 6 à 10 m³/s, alors que celui du Dhuy se limite à 0,7 m³/s. En effet on considère qu'environ 90% du débit du Loiret provient de résurgences, c'est à dire des sources alimentées par des pertes de la Loire (Fig. 4). En toute rigueur le SAGE devrait donc intégrer la totalité du bassin versant qui alimente le fleuve à l'amont d'Orléans.

Ce phénomène de l'alimentation du Loiret par les pertes de Loire a été reconnu dès la fin du XIX^e siècle (voir les travaux de Sainjon, 1888, de Marboutin en 1901 et ceux de Blanchard, 1903) ; il a été ensuite étudié par les géologues du BRGM (Desprez, 1967 ; Albinet et Brossier,



Figure 4 : Exemples de cavités dans lesquelles l'eau de la Loire s'engouffre dans le substrat (calcaires de Beauce), à l'aval de Jargeau.

1973) et, depuis 1980, par ceux du laboratoire d'hydrogéologie de l' Université d' Orléans (Zunino, 1979 ; Lelong et Lepiller, 1981, Albéric, 2001 ; Lepiller, 2006 ; Lelong et Jozja, 2008), qui les poursuivent encore. Ces travaux intéressent directement les gestionnaires du SAGE car ils permettent de mieux connaître en quantité et en qualité les ressources en eau de son territoire et aussi d'optimiser la façon de les utiliser en les partageant équitablement entre les divers usages : alimentation en eau potable des collectivités, besoins des activités industrielles et irrigation. Ils permettent aussi de prévoir des situations extrêmes (crues et étiage) lors desquelles ce partage devient difficile et parfois conflictuel.

. 4- Morphologie et géologie du Val d'Orléans

Ce Val est très original : il correspond à un tronçon de la Loire où la plaine alluviale, corsetée à l'amont dans un substrat géologique dur, se dilate brusquement entre Sully et Orléans, pour atteindre une largeur de 5 à 7 km, avant de se resserrer plus à l'aval. Cette particularité est sans doute l'héritage d'une érosion fluviale qui a décapé la vallée pendant les débâcles post-glacières ; ceci a permis au fleuve royal de s'étaler en traversant les couches (du Miocène) des sables et argiles de Sologne, friables et faciles à déblayer. Du coup, le fleuve va se trouver contraint, dans ce tronçon où il s'écoule désormais sur les assises plus dures des

calcaires de Beauce, de divaguer pour trouver la meilleure façon de s'écouler. On découvrira par la suite les étonnants cheminements que les flots ont réussi à trouver.

Le territoire du SAGE couvre donc la plaine alluviale entre Orléans et Sully-sur-Loire, il est limité au nord par le fleuve, mais il s'étend au-delà de la plaine au sud puisqu'il intègre le coteau de Sologne, d'où descendent quelques petits émissaires qui alimentent le Dhuy ; ceux-ci font donc partie du système hydrographique Loiret-Dhuy. Le territoire d'un SAGE, rappelons-le, s'efforce de prendre en compte les différentes composantes hydrologiques qui interagissent.

C'est bien le cas pour le SAGE Val-Dhuy-Loiret, avec la rivière Loiret et ses divers contributeurs : le premiers sont bien visibles : ce sont le Dhuy, son affluent principal et les ruisseaux qui dévalent le coteau solognot ; les autres sont occultes : ce sont toutes les sources qui résurgent dans son lit, à partir d'écoulements souterrains provenant soit de la nappe contenue dans les alluvions, soit surtout de résurgences karstiques ; il s'agit d'écoulements rapides dans des chenaux souterrains creusés par érosion chimique dans les calcaires de Beauce, écoulements qui sont alimentées par des pertes de la Loire dans le tronçon où celle-ci coule directement sur les calcaires, entre Guilly et Sandillon

L'origine de ce phénomène est connue : les roches calcaires réputées dures sont en fait

soumises à une lente érosion chimique due au gaz carbonique contenu dans l'eau circulant au sein des fissures de ces roches, selon la réaction suivante :

$\text{CaCO}_3 +$	$2 \text{CO}_2 +$	$\text{H}_2\text{O} =$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
carbonate de calcium	Gaz carbonique	eau	bicarbonate de calcium

Les fissures du substrat calcaire se trouvent ainsi peu à peu élargies, elles deviennent des drains ou même de véritables chenaux souterrains, à tel point que les poissons s'y développent et que les spéléologues plongeurs parviennent à cheminer dans certaines parties de ces réseaux. La vitesse d'écoulement dans ces chenaux peut atteindre plusieurs centaines de mètres par heure, vitesse 100 à 1.000 fois plus rapide que celle de la plupart des nappes d'eau souterraines. Par contre, l'eau n'y est

6- Les enjeux du SAGE et les programmes d'action

Après les diverses études préalables à l'institution du SAGE et suite à l'expérience acquise par son fonctionnement depuis sa publication en 2011, cinq enjeux majeurs sont identifiés en tenant compte du milieu physique, des activités

agricoles et industrielles, des agglomérations et des aménagements, des richesses patrimoniales :

- 1-assurer la protection contre les inondations ;
- 2-sécuriser l'alimentation en eau potable ;
- 3-restaurer la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines ;
- 4-satisfaire l'ensemble des usages professionnels et de loisirs ;
- 5-préserver des milieux aquatiques et rechercher une plus grande diversité piscicole.

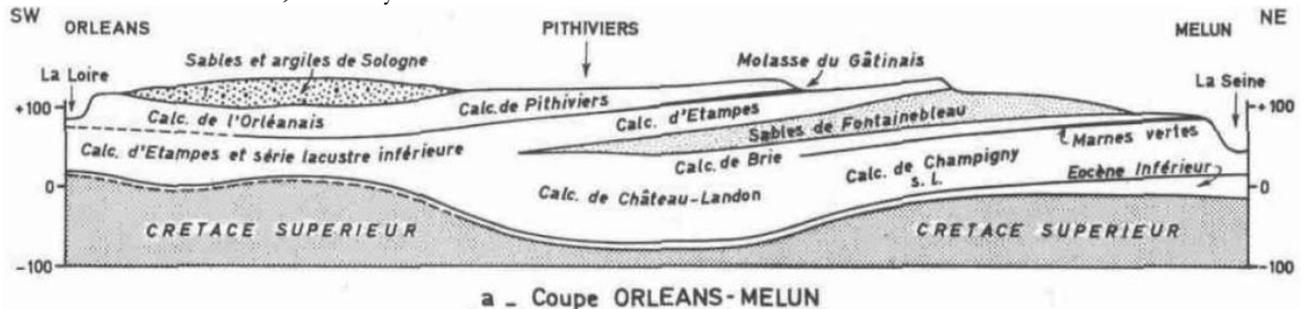


Figure 5 : Structure des calcaires de Beauce au nord de la Loire

pas filtrée comme dans les aquifères poreux, et de ce fait les polluants véhiculés par l'eau n'y sont pas épurés. La coupe (Fig. 5) montre la structure des calcaires de Beauce au nord de la Loire.

5- Occupation du sol et richesses patrimoniales

Le Val d'Orléans offre de nombreuses richesses historiques, culturelles, et écologiques. Dans le paysage à dominante rurale (zone inondable) s'inscrivent diverses curiosités illustrées en médaillons sur la carte (Fig. 6). On y trouve aussi des sites inscrits et zones protégées d'intérêt écologique au titre de la faune et de la flore, ou pour la protection des oiseaux, ou encore soumises à des contraintes d'urbanismes (ZNIEFF, ZICO, ZPPAUP ...). Ces zones sont indiquées sur une carte du dossier annexé à l'arrêté préfectoral de 2011 (Fig. 7).

Chacun de ces enjeux entraîne de très nombreux objectifs (une quarantaine ...) et travaux, pas seulement en termes techniques, car cela implique des concertations et des arbitrages, notamment quand il s'agit de recherches, d'actions transversales ou d'aspects réglementaires. La mise en œuvre de ces actions et réglementations est parfois très difficile, car de nombreuses mesures de protection contrarient la poursuite de certaines activités économiques ; par exemple, l'extraction de sables et de granulats est en principe interdite sur la majeure partie de la plaine du Val, à la fois pour prévenir les risques d'érosion des alluvions et d'altération de la nappe d'eau souterraine exploitée par les captages d'eau potable de la ville d'Orléans.

Je me contenterai ici d'évoquer brièvement le premier enjeu, pour développer davantage les quatre enjeux suivants.



Figure 6 : Occupation du sol du Val de Loire, et quelques illustrations de sites patrimoniaux

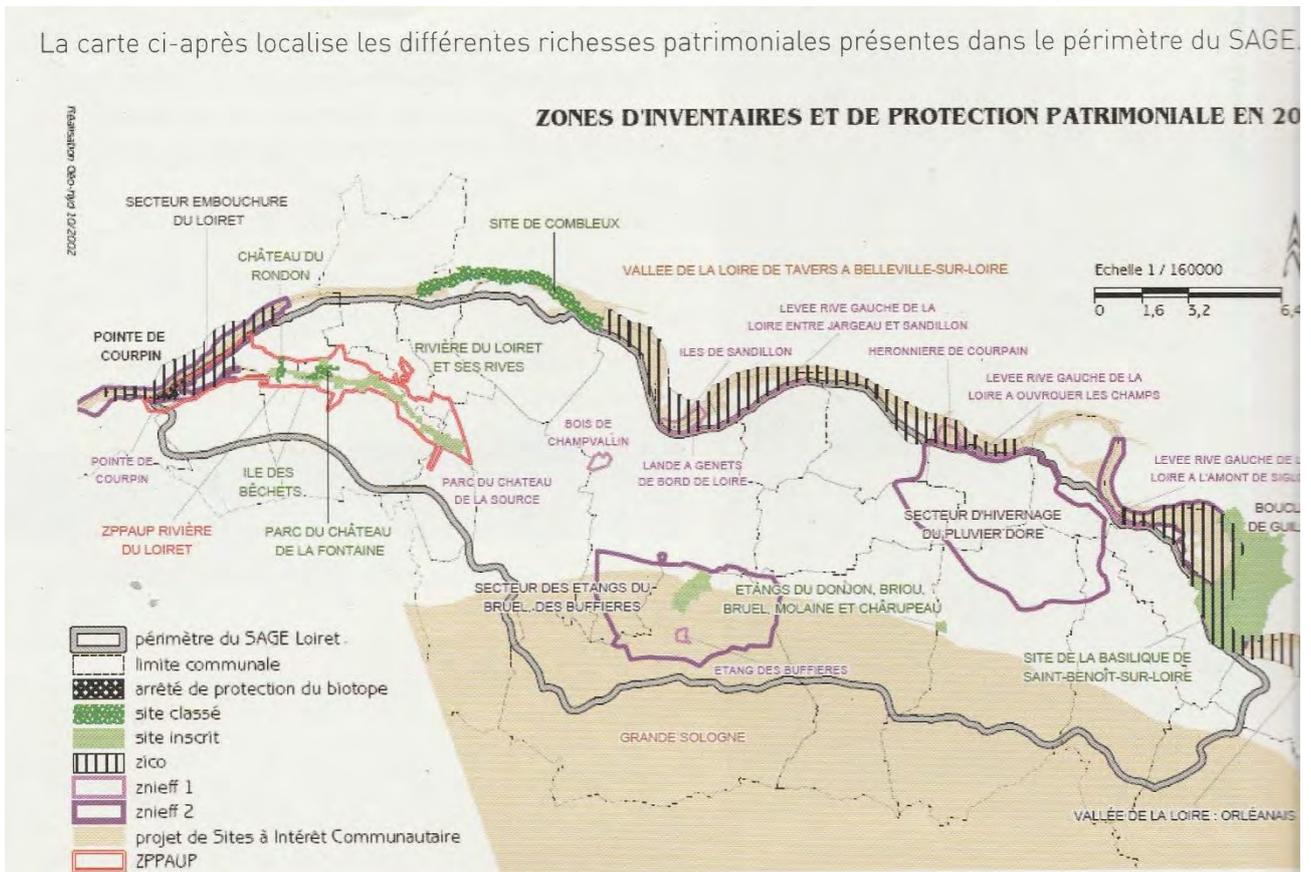


Figure 7 : abondance et diversité des sites inscrits et classés au patrimoine dans le Val d'Orléans

1) La protection contre les inondations.

C'est un enjeu majeur car une grande partie du territoire du SAGE est en zone inondable. Les inondations peuvent se produire par le débordement du fleuve au-dessus des digues ou par rupture de celles-ci, ou encore par remontée de la nappe souterraine ; les très hautes eaux de la Loire peuvent aussi obstruer l'embouchure du Loiret, remonter le cours de celui-ci et le faire déborder.

L'enjeu « inondation » inclut le contrôle des digues qui protègent le Val, leur éventuelle consolidation, la possibilité de créer des déversoirs permettant l'expansion des crues. Il inclut aussi la fiabilité du système de prévision des crues et des dispositifs d'alerte. Un plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) avec diverses cartes des zones concernées a été établi. Ces risques entraînent de fortes contraintes en termes d'aménagement et d'occupation du sol, qu'il est difficile parfois de faire respecter.

Dans les secteurs urbanisés, les eaux de ruissellement dues aux fortes précipitations peuvent également provoquer de gros dommages ; l'amélioration de la gestion de ces eaux est donc nécessaire.

Enfin des réglementations spécifiques d'urbanisme sont nécessaires dans les zones inondables, ainsi que des dispositions administratives

(optimisation des systèmes d'alerte, information du public, coordination des plans communaux...).

2) La sécurisation de l'alimentation en eau potable

nécessite de poursuivre les mesures, les travaux et les recherches pour mieux connaître le fonctionnement du système hydrologique complexe qui intègre la Loire, les nappes d'eau souterraines et le Loiret : il s'agit d'apprécier dans quelle mesure les

prélèvements d'eau actuels, destinés à l'irrigation et aux besoins industriels sont compatibles avec une disponibilité permanente des volumes d'eau nécessaires pour l'alimentation en eau potable, en toute saison, notamment lors de longues sécheresses où les volumes prélevés pour l'irrigation deviennent considérables. Il convient aussi de savoir quels seraient alors les risques de tarissement des résurgences du Loiret et d'assèchement de son lit.

Le schéma de la figure 8 montre la complexité des flux hydrologiques existants entre l'atmosphère, les eaux de surface, et les eaux des nappes d'eau souterraines contenues dans les alluvions de la Loire et dans les calcaires de Beauce karstifiés sous-jacents. C'est pourquoi il importe de chercher à mieux comprendre ce fonctionnement et à le simuler à l'aide d'un *modèle mathématique* : c'est un outil complexe conçu par les hydrogéologues à partir des variables (piézométrie, apports météoriques, prélèvements d'eau) et de divers paramètres (structure géologique, épaisseur et perméabilité des aquifères), tout en définissant les conditions hydrauliques aux limites du système (limites perméables à potentiel ou flux imposé, ou encore limites imperméables), pour tenter au mieux de reproduire virtuellement les

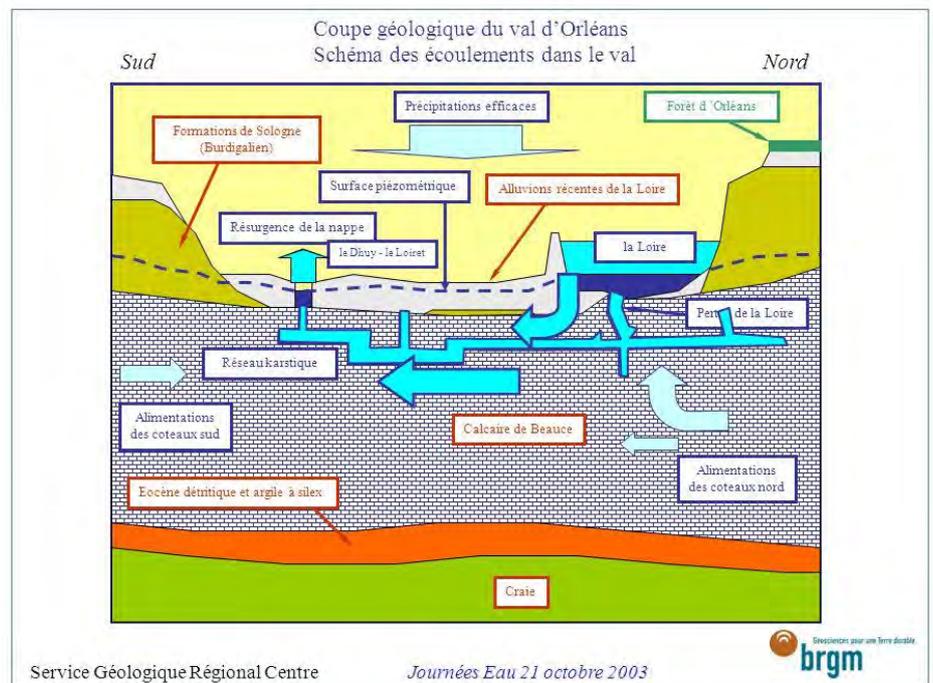


Figure 8 : Multiplicité des échanges d'eau entre les divers compartiments hydrologiques du Val d'Orléans (d'après le BRGM).

phénomènes réels. La modélisation mathématique des écoulements en terrains hétérogènes et avec des écoulements discontinus est un exercice difficile, surtout si on veut reproduire ce fonctionnement avec ses variations temporelles (modélisation dite en régime transitoire), qui nécessite beaucoup de mesures de terrain, sujettes à de très rapides variations spatiales et temporelles (météorologie, hydrologie, piézométrie).

Les responsables du SAGE, conscients de cette difficulté, ont confié une importante étude de mesures piézométriques au BRGM à ce sujet. Les résultats à ma connaissance ne sont pas encore connus : l'enjeu est notamment de mieux évaluer quels volumes d'eau transitent dans le système pourraient être disponibles pour les différents usages, et quels seraient les risques et/ou les contraintes dans les situations météorologiques extrêmes.

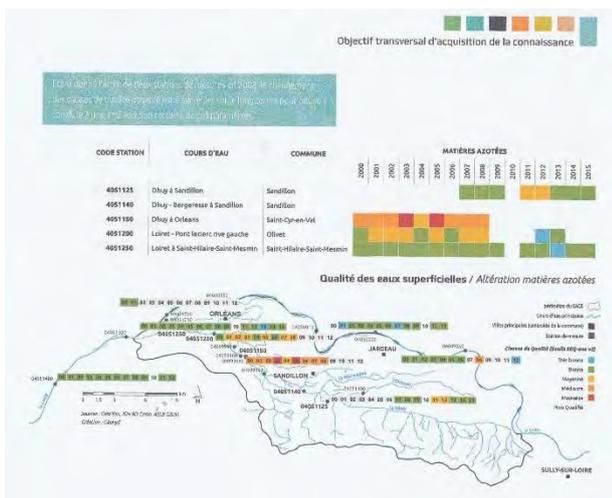


Figure 9 : Variations spatio-temporelles des matières azotées

3) La restauration de la qualité des eaux (eaux de surface et eaux souterraines). Le préalable à cette restauration est de bien connaître quelles sont les paramètres chimiques qui posent problème. Pour cela, les *eaux de rivière* font périodiquement l'objet de mesures de qualités biologique et physico-chimique ; je n'évoquerai ici que les mesures physico-chimiques. Cinq points de prélèvement sont suivis : le Dhuy à Sandillon, le Dhuy-Bergeresse à Sandillon, le Dhuy à Orléans, le Loiret au pont Leclerc, le Loiret à Saint-Hilaire-Saint-Mesmin. De nombreux paramètres sont analysés (Fig. 9 et 10).

Globalement la qualité de l'eau du Dhuy est moyenne à mauvaise, celle de l'eau du Loiret est moyenne à bonne, depuis que les effluents de la station d'épuration de la Source sont rejetés en Loire. Mais dans le détail, certains paramètres physico-chimique restent dans le rouge ou dans l'orange, notamment les MOOX (matières organiques oxydables, carbonées ou azotées) et les pesticides dans le Dhuy, et les MOOX qui passent du jaune à l'orange dans le Loiret selon les années.

Ces valeurs sont fortement impactées par les rejets des eaux pluviales et par les turbidités et les polluants chimiques qui proviennent du Dhuy et des petits affluents (Bras de Bou, Bras des Montées). En période de crues d'origine locale, ces rejets et ces cours d'eau sont des contributeurs majeurs de nuisances : on voit alors des nuages de turbidités se déverser dans le Loiret (Fig. 11) ; ces turbidités décantent dans

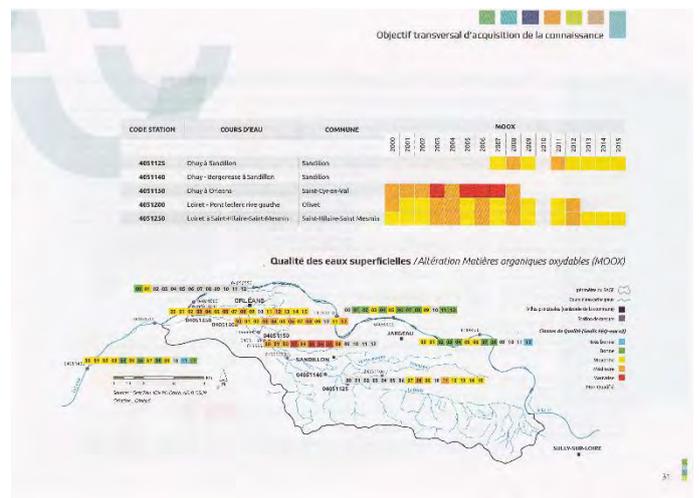


Figure 10 : Variations spatio-temporelles des matières organiques oxydables : MOOX

les bassins et provoquent un envasement très nocif.

Les éléments fertilisants (MOOX et phosphates) apportés par ces affluents provoquent en été des phénomènes d'anaérobiose et d'eutrophisation, favorisés aussi par la stagnation de l'eau et le réchauffement des bassins. De grandes quantités d'algues et de végétaux aquatiques, souvent invasifs (Égérie, Élodée, et diverses algues filamenteuses ...), se développent au point parfois de couvrir toute la surface de la rivière.



Figure 11 : Nuage de pollutions terreuses déversé par le Dhuy à sa confluence dans le Loiret ; ce nuage contient des fertilisants et des produits phytosanitaires provenant de l'érosion du bassin versant du Dhuy.

Des tonnes de matières végétales doivent être régulièrement faucardées, et à défaut ces matières participent en sédimentant à l'envasement du fond du lit. L'état de la rivière n'est pas bon : des relevés réguliers d'indices hydro-biologiques seraient opportuns.

La restauration de sa qualité et de celle des nappes souterraines passe bien sûr par la diminution des rejets polluants, ceux liés aux eaux usées et aux eaux pluviales qui sont abondantes en milieu urbanisé, mais aussi par celle des pollutions générés par les activités agricoles et industrielles.

- *En ce qui concerne les eaux de surface :*

les rejets *d'eaux usées*, provenant de la métropole orléanaise, sont correctement traitées et elles sont rejetées en Loire à l'aval

d'Orléans : elles sont donc sans impact pour le SAGE. Des rejets d'eaux usées peu ou pas traitées, provenant de communes du sud du Val, affectent encore probablement le Dhuy et ses affluents. Il en est sans doute de même pour certaines habitations riveraines du Loiret.

les rejets *d'eaux pluviales* : de vastes surfaces urbanisées se sont développées depuis un demi siècle au sud du Loiret (ZAC des Aulnays et de la Saussaye, Parcs d'activités des Provinces, des Quatre Vents et du Moulin ...) ; lors des averses, elles produisent des ruissellements intenses entraînant de nombreux polluants (hydrocarbures, métaux lourds ...) et beaucoup de matières en suspension qui se déversent directement ou indirectement (bassins d'orage tampons) dans le Loiret. Les pollutions provenant du parking du Zénith sont souvent dénoncées.

La restauration de la qualité des eaux concerne aussi les activités agricoles, horticoles et maraichères, qui sont à l'origine de pollutions diffuses, dus à l'utilisation d'engrais et de produits chimiques (matières azotées et produits phyto-sanitaires), qui impactent les eaux de surface (Fig. 9). Des bandes enherbées sont imposées par la réglementation, le long des fossés, des rus et des ruisseaux pour piéger ces éléments et éloigner leur épandage de ces lits. Le contrôle du respect de cette réglementation n'est pas aisé.

- *En ce qui concerne les eaux souterraines :*

la restauration de leur qualité nécessite d'abord de réduire ces pollutions diffuses dans le Val où l'agriculture intensive, avec serres, pépinières et cultures maraichères, est très développée. Le programme d'action de la Directive nitrate en vigueur impose aux exploitants agricoles une réglementation stricte pour limiter ce polluant (limitation des engrais azotés, fractionnement

des apports, cultures pièges d'azote pour limiter le lessivage de cet élément après les récoltes...). Mais ce programme ne vise pas les produits phytosanitaires, qui impactent fortement le Dhuy et l'aquifère alluvial ; cela constitue un risque important pour les gros captages d'eau potable de la ville d'Orléans, situés dans le Val (au nord du Parc floral). Pour cette raison, la protection réglementaire de ces captages, définie il y a une dizaine d'années par arrêté préfectoral a prescrit, outre les mesures de protection habituelles mises en œuvre dans les périmètres de protection, destinés à prévenir les causes de pollutions autour des captages d'eau potable, une convention tripartite entre la Ville d'Orléans, la Compagnie Lyonnaise des eaux et les exploitants agricoles, visant à réduire au maximum l'usage de produits phytosanitaires sur le Val d'Orléans.

Préserver la qualité des eaux souterraines, c'est aussi prévenir les causes de pollution ponctuelles et accidentelles, celles notamment qui peuvent se produire dans les zones d'activités : ainsi dans la zone d'activité industrielle de la Saussaye, des produits solvants ont plusieurs fois été détectés, à proximité des captages d'eau potable de secours, implantés dans ce secteur par la ville d'Orléans

4) La satisfaction des divers usages lié à la rivière Loiret, recouvre divers aspects. Le Loiret et son environnement offrent un milieu aquatique et un cadre de vie de grande qualité. Ce milieu favorise divers activités (pêche, nautisme, tourisme), mais il est fragile et il est nécessaire de le protéger par une réglementation spécifique (par exemple dans la ZPPAUP, les demandes de permis de construire doivent être validées par l'Architecte des Bâtiments de France et les coupes d'arbre sont soumises à autorisation). Dans la partie non domaniale du Loiret (à l'amont du pont St Nicolas), le syndicat des propriétaires riverains doit assurer le bon

état des rives et des bonnes conditions d'écoulement.

Pour améliorer la qualité de ce milieu, on a fixé ces trois objectifs :

- a) maintenir un niveau d'eau ni trop haut, lors des crues, ni trop bas lors des étiages ;
- b) limiter l'envasement pour conserver une tranche d'eau suffisante ;
- c) corriger les insuffisances des qualités biologique et physico-chimique de l'eau.

a) Corriger les effets du profil en long étagé

Le cours du Loiret est fortement artificialisé depuis le Haut Moyen Age, par suite de l'implantation de moulins, qui a nécessité la création de biefs séparés par de petites chutes d'eau. Le profil en long de la rivière est en marches d'escalier, ce qui altère beaucoup son fonctionnement hydraulique et biogéochimique : la vitesse de l'eau est ralentie dans les biefs et l'eau s'y réchauffe l'été, d'où l'augmentation des dépôts de sédiments lors des crues et l'intense production de végétaux (eutrophisation) qui est cause d'envasement. Ces deux causes expliquent l'épaisseur importante des dépôts au fond du lit ; l'envasement est tel dans certains bassins que la tranche d'eau ne dépasse pas quelques décimètres.



Figure 12 : Carte de l'épaisseur de l'envasement du Loiret (d'après le rapport de Géo-Hyd, 2004).

b) Limiter l'envasement

Pour remédier à l'envasement, plusieurs études ont été menées afin de connaître l'origine des sédiments et de quantifier autant que possible les divers flux de MES parvenant à la rivière. On a considéré les origines suivantes (voir rapports du bureau d'étude Géo-Hyd (2004-2006) : la source du Bouillon, le Dhuy (au pont Gobson), et divers points de rejets d'eaux pluviales dans le Loiret. Les concentrations en MES (matières en suspension) ont été mesurées lors de deux épisodes de pluies, l'un en hiver, l'autre au printemps, et les débits écoulés ont été évalués ; à partir de ces données, on a pu établir une certaine quantification des flux de matières en suspension (MES) entrant dans le Loiret. Les résultats sont : les résurgences alimentant le Loiret n'apportent que très peu de MES. Les apports du Dhuy et des eaux de ruissellement d'origine urbaine par contre, pèsent lourd, voire très lourd d'autant plus que tous les émissaires n'ont pas été pris en compte (le Bras de Bou en particulier). Cela explique l'envasement important de la rivière, aggravé par les dépôts des productions végétales, et concentré dans les biefs où le courant est ralenti.

On voit sur la carte des épaisseur de sédiments vaseux mesurés sur le Loiret que l'épaisseur est maximale à l'amont (plus d'un mètre), à partir de ses confluences avec le Dhuy, le Bras de Bou et le Bras des Montées, et en outre dans les biefs à l'amont des barrages (bassins de St Samson et des Tacreniers), car le courant y est ralenti (Fig 12). Pour limiter cet envasement, l'amplitude des vannes a été



Figure 13 : Seuil à vannes mobiles barrant le Loiret, à l'aval du bassin St Samson.

augmentée (Fig. 13) et une gestion plus réactive des déversoirs (baisse immédiate des vannes lors des crues) ont permis de favoriser l'évacuation des dépôts entraînés par le courant. Le raclage du fond de lit par des herse lors de grosses crues pourrait aussi désenvaser le lit.

L'autre source d'apports polluants et de MES correspond aux rejets des eaux pluviales, issus du ruissellement des espaces urbanisés. L'extension de ces surfaces de part et d'autre du Loiret est très importante (Fig. 14) : 10 km² d'espaces urbanisés, généralement couverts de revêtements imperméables, sont drainés par un réseau souterrain qui déverse dans la rivière les flots issus des averses ; ceux-ci entraînent tous les produits solides ou solubles présents sur les chaussées (hydrocarbures, métaux, débris divers...), qui s'accumulent entre chaque averse et qui vont donc participer à la pollution et à l'envasement du Loiret (voir carte ci-dessous)

c) Corriger la qualité physico-chimique de l'eau

Les sources de pollution sont innombrables, ponctuelles ou diffuses, chroniques ou accidentelles : les points de rejet d'eaux pluviales sont nombreux : en l'absence de bassins d'orage, ils déversent directement les flux de ruissellement non traités, qui peuvent être particulièrement nocifs en cas d'accident sur les chaussées. Les nouvelles dispositions d'urbanisme prévoient de limiter les surfaces imperméables, d'aménager des noues ou des bassins tampons et des dispositions pour limiter l'impact des accidents. On a vu précédemment



Figure 14 : Extension des zones urbanisées rendues imperméables, entraînant des rejets polluants importants (Olivet et Orléans sud)

dans le paragraphe « restauration de la qualité des eaux », l'impact des pollutions apportées par ces effluents et par l'érosion du bassin versant sur le dysfonctionnement de la rivière.

D) Préserver les milieux aquatiques

Le terme de milieu aquatique recouvre un large éventail de territoires marqués par l'eau, qu'il s'agisse de zones humides, de marécages, d'étangs ou encore de fossés, rus et ruisseaux, et aussi de cours d'eau dont le lit et les rives portent une flore et une faune spécifique.

Les zones humides participent au bon fonctionnement hydraulique et biogéochimique des territoires : en stockant l'eau, elles limitent le ruissellement, elles l'épurent grâce à l'activité biologique dont elles sont le siège et elles constituent des niches reconnues de biodiversité. Les zones humides situées dans le périmètre du SAGE ont été inventoriées et ont fait l'objet de diagnostics : certaines, en bon état, ont seulement besoin d'un entretien, d'autres nécessitent des actions de restauration.

Dans les espaces urbains, de nouvelles règles sont à développer pour limiter le ruissellement des eaux pluviales, en réalisant des bassins d'infiltration, des noues ou des chaussées perméables. Dans la plaine alluviale, tout un réseau de fossés, rus et ruisseaux a été créé pour drainer les terrains et évacuer l'eau lorsque le Val est inondé ; le bassin versant a ainsi été artificialisé, ainsi que le lit du Dhuy et celui du Loiret : rectifications de rives pour écouler les crues et construction de seuils et de barrages destinés à retenir l'eau lors de l'étiage. Par suite de ces aménagements, la continuité hydraulique de ces ruisseaux et leur fonctionnement hydro-biologique ont été fortement altérés. Un programme d'aménagement conduit par le syndicat intercommunal du bassin du Loiret (SIBL) doit remédier à ces altérations, en supprimant plusieurs de ces barrages et en réaménageant les berges.

De même le Bras de Bou, émissaire de 7 km qui traverse la plaine alluviale du Val d'Orléans, entre St Denis en Val et Olivet, collecte l'eau de fossés creusés pour la drainer ainsi que des rejets d'eau pluviale. Ce Bras a été étudié par l'Association de Protection du Site du Loiret (APSL), afin d'établir un état des lieux et de proposer un plan d'action pour sa restauration : il s'agit de lutter contre l'érosion des terres et de

limiter les apports de polluants, notamment les fertilisants et des produits phytosanitaires utilisés en arboriculture et en cultures maraîchères très développée dans ce secteur du Val. Dans ce but, il faudra re-profiler des berges, les végétaliser, créer des bandes enherbées et restituer à ce milieu son cadre naturel ; cela importe d'autant plus que ce petit bassin versant est situé dans le périmètre de protection rapprochée des captages d'eau potable de la Ville d'Orléans.

7- Conclusions

a) Le SAGE est une institution prometteuse mais lourde, même s'il concerne un territoire assez restreint. Il nécessite des démarches pluridisciplinaires, des actions transversales, de longues concertations ; les arbitrages sont difficiles. Concilier les contraintes et les intérêts plus ou moins formulés des communes, celles des entreprises agricoles et industrielles, et des associations d'usagers, représente une tâche laborieuse. Faire appliquer des réglementations superposées (plan de prévention des inondations, programme des zones vulnérables, protection des captages d'eau potables, défense des sites protégés, PLU...), c'est une mission ardue pour la CLE et on comprend que certains puissent renâcler devant la lourdeur et la lenteur de la démarche.

b) Mais le jeu en vaut la peine. Le site du Val d'Orléans présente une singularité exceptionnelle. C'est un exemple remarquable de « symbiose » entre deux cours d'eau : la Loire cède une part de son débit, précieuse à l'étiage, au Loiret, et celui-ci la lui restitue en totalité à la confluence, avec en prime, une régulation thermique et une certaine épuration de l'eau, si les pollutions diffuses d'origine anthropique sur le Val ne l'avaient pas altéré : en effet le transit souterrain dans les chenaux karstiques s'accompagne de la quasi disparition du plancton de l'eau du fleuve ; celui-ci s'y oxyde et donne de l'acide carbonique activant la dissolution du calcaire. Cet échange à bénéfice réciproque, a été perturbé par l'homme. Il revient à celui-ci de restaurer la qualité initiale de cette « symbiose ».

Réseau karstique du Val d'Orléans

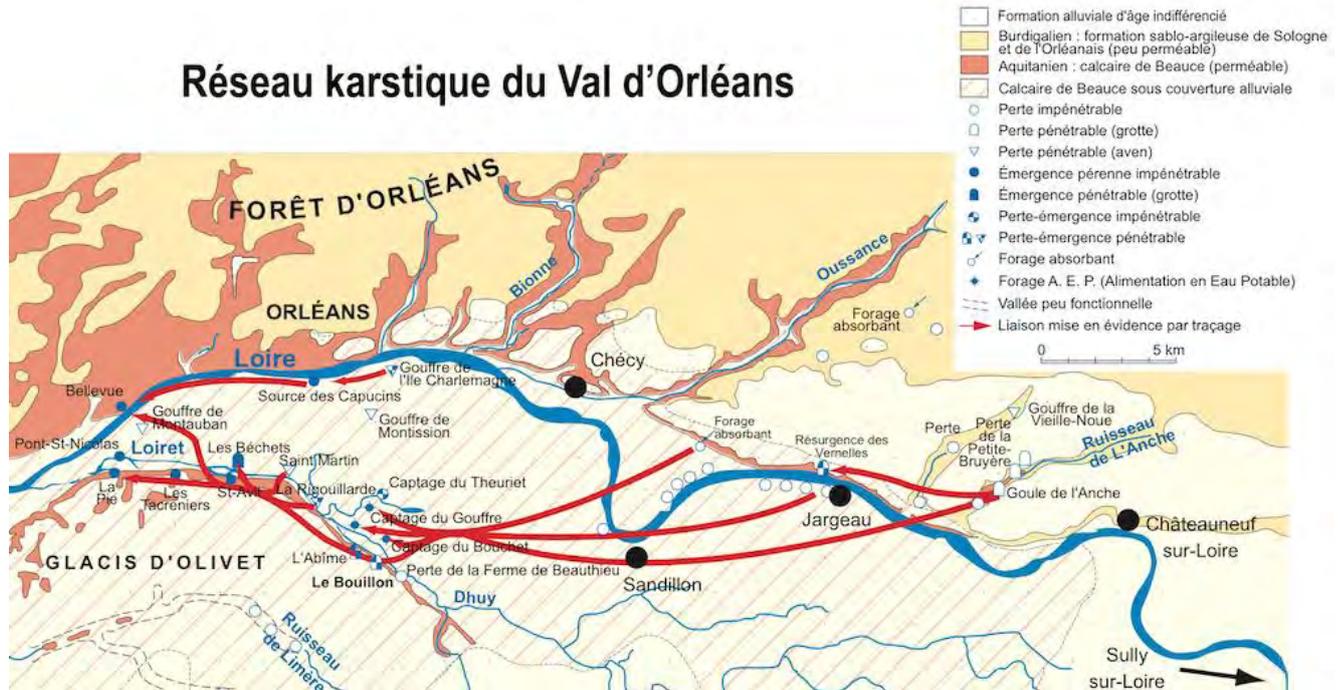


Figure 15- Carte hydrogéologique du Val d'Orléans, illustrant les surfaces d'affleurement des différentes couches géologiques présentes, résumant les divers points de mesures, d'observations, de traçages, et indiquant les trajectoires probables des circulations souterraines (carte d'après M.Lepiller, B. Leclerc et P. Albéric, 1998).

c) Dans le labyrinthe des programmes, des réglementations, des interventions, il paraît utile de rappeler les priorités. La CLE a défini 5 enjeux, d'où découlent un nombre impressionnant d'objectifs et de sous-objectifs, d'actions à mener, d'indicateurs de suivi à surveiller, de calendrier à respecter ... Après 7 ans d'existence, où en est-on ? Quelles sont les inconnues ou les incertitudes qui freinent l'avancée du processus ?

Deux enjeux me semblent particulièrement essentiels, car de leur réussite dépendent celle des autres : primo, les risques d'inondations, et la gestion des crises qu'elles entraînent, secundo la pérennité de la ressource en eau souterraine pour satisfaire les divers besoins (eau potable, irrigation, eau industrielle, débit des résurgences du Loiret) et conforter l'attractivité du site.

Le premier enjeu entraîne des considérations qui dépassent largement le territoire du SAGE, notamment le problème de la gestion hydraulique de la Loire pour éviter les trois crues dramatiques du XIX^e siècle et remédier à des tarissements incompatibles avec le fonctionnement des centrales nucléaires. Je ne m'y attarderai pas, faute de connaissances suffisantes.

Le second enjeu par contre dépend

essentiellement de la détermination locale ; pour y répondre, il me semble nécessaire d'établir un modèle de fonctionnement hydraulique du Val de Loire aussi rigoureux que possible, en fédérant toutes les compétences. Ce modèle, on l'a dit, est extrêmement difficile à mettre au point à cause des particularités de ce milieu karstique : les écoulements n'y suivent pas les lois classiques de l'hydraulique souterraine ; en outre les limites de ce milieu discontinu sont incertaines et les conditions hydrauliques aux limites sont très fluctuantes. Le calage de tels modèles risque d'être incertain pour des situations extrêmes, celles justement on aurait besoin de projections réalistes. Lors des assises du Loiret organisées par la municipalité d'Olivet, la crainte a été exprimée que, faute d'actions de réhabilitation de ces milieux et d'encadrement des prélèvements d'eau souterraine dans le Val, l'état de la rivière le Loiret ne s'améliore pas et, perspective pire, que lors d'étiages sévères, l'on observe le tarissement des sources de la rivière

8 – Rappels

La carte du Val d'Orléans (Fig. 15), établie par M. Lepiller *et al.* en 1998 résume l'essentiel des données de terrain acquises à la suite de

longues années d'observation et la réalisation de nombreux traçages réalisés par le laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Orléans. On y voit que :

- le calcaire de Beauce affleurant de part et d'autre du Val constitue le substrat des alluvions ; on sait que l'aquifère alluvial capacitif et l'aquifère karstique transmissif sont connectés.

- les trajectoires des écoulements souterrains (flèches en rouge) mises en évidence par les opérations de traçage convergent vers le Loiret ; certaines d'entre elles proviennent du versant au nord de la Loire (cf. les gouffres actifs du ruisseau de l'Anche). Le système hydrologique intègre donc une partie de la rive droite du fleuve. (La vitesse d'écoulement mesurées sont rapides : 100 à 200 m/h).

- d'autres écoulements karstiques suivent le lit de la Loire, entre Chécy et La Chapelle St Mesmin où ils résurgent ; d'après Lepiller et *al.*, ces écoulements sont majoritaires et représentent les 2/3 du total.

- le fonctionnement des émergences est ambivalent ; les résurgences du Loiret peuvent devenir des gouffres absorbants en cas de crues des émissaires locaux (phénomène d'inversac).

- les relations hydrauliques entre les deux couches aquifères superposées sont fluctuantes dans le temps et variables dans l'espace : en période de moyennes ou hautes eaux de la Loire, les écoulements karstiques peuvent alimenter la nappe des alluvions par le bas ; en période d'étiage de la Loire, c'est probablement cette nappe qui soutient le débit des circulations karstiques ; les forts volumes prélevés pour l'irrigation lors d'étés secs pourraient entraîner le tarissement des résurgences qui alimentent le Loiret, peut-être devront-ils être réglementés

- outre la poursuite des essais de traçage, l'utilisation des techniques hydrogéochimiques peut servir à définir des notions essentielles en hydrogéologie (comme la datation des eaux souterraines, leur temps de séjour dans les aquifères, leurs conditions d'alimentation, les échanges de flux entre aquifères et les conditions hydrauliques à leurs limites) ; on peut ainsi préciser les données nécessaires à la modélisation mathématique des écoulements.

Ces apports constituent un socle de connaissances fondamental pour la poursuite des recherches.

Remerciements

Je remercie Mme K. Biot, animatrice du SAGE, (établissement public Loire) pour les informations qu'elle m'a transmises et R. Réguigne pour ses remarques sur mon texte, M. Monsigny a œuvré à sa mise en page et J.P. Navailles à la rédaction de l'abstract : qu'ils en soient remerciés.

Bibliographie

- Albéric P. (2001) L'inversac (perte-émergence) de la résurgence du Bouillon (source du Loiret). Sci. Tech. Envir. Mem. H.S. n°13, 1-4.
- Albinet M. et Brossier G. (1973) Expériences de coloration dans le Val d'Orléans. BRGM, SGN 095 AME.
- Blanchard R. (1903) Le Val d'Orléans. Annales de géographie, vol 12, **64**, 307-323.
- Desprez N. (1967) Inventaire et étude hydrogéologique du Val d'Orléans. Rapport BRGM, SGR 67-A-21, Orléans.
- Géo-Hyd (2004) Etat des lieux, SAGE du Loiret. Rapport de bureau d'étude.
- Gutierrez A. et Binet S. (2010) La Loire souterraine : circulations karstiques dans le Val d'Orléans. Revue d'hydrogéologie, 42-52.
- Lelong F. et Lepiller M. (1981) Le système karstique du Val d'Orléans ; esquisse de fonctionnement. Communication 26 Coll. Nat. de Limnologie, Orléans, juin 1981.
- Lepiller M. (2006) Val d'Orléans, *in* « Aquifères et eaux souterraines en France ». BRGM édition, tome 1, **6**, 200-214.
- Lelong F. et Jozja N. (2008) Fonctionnement du système karstique du Val d'Orléans ; les acquis, les interrogations. Coll. CFH Hydrogéologie et Karst à travers les travaux de M. Lepiller, Orléans, 17 mai 2008.
- Sainjon H. (1988) La Loire, le Loiret et les courants souterrains du Val d'Orléans.
- Préfecture du Loiret (2011) Schéma d'aménagement et de gestion des eaux du Loiret. Rapport de 61 pages, annexé à l'arrêté préfectoral instituant le SAGE, Orléans, 15 décembre 2011.

François Lelong

**Professeur honoraire des Universités,
Université d'Orléans,
Membre titulaire de l'Académie d'Orléans**

Communication du 5 avril 2018

Lac Tchad : mer intérieure ou flaque d'eau ?

Patrick Brun

Résumé

Le Lac Tchad, mer intérieure, couvrait, il y a 6000 ans, une surface de 360 000 km², il s'est réduit progressivement, depuis la moitié du XX^e siècle, c'est désormais une « **grande flaque d'eau** » de 1500 à 2500 km² d'une profondeur de 3 à 7 m. Cette évolution s'explique par le changement des conditions climatiques (baisse drastique de la pluviométrie, sécheresse), aussi bien sur le lac lui-même que sur son principal affluent le Chari.

Quatre Etats sont riverains du lac : Cameroun, Niger, Nigéria et Tchad. Ensemble, ils ont constitué la « Commission du Bassin du Lac Tchad » dont la mission est d'assurer une gestion équitable et durable du lac et de son bassin versant, ainsi que la préservation de la paix et de la sécurité. Son objectif principal est désormais d'éviter l'assèchement et la disparition du lac. Son bassin versant s'étend sur 2 380 000 km², mais le bassin actif, c'est-à-dire celui donnant lieu à écoulement, est limité à 970 000 km². Le bassin du Chari, qui apporte au lac 90% de la ressource en eau, est situé pour l'essentiel en zone soudanienne (pluviométrie annuelle de 600mm), alors que le lac et sa région ont un climat sahélo-saharien avec une faible pluviométrie (100 à 400 mm par an).

Les variations du niveau du lac témoignent des nombreux changements, au sein du Sahara. Pendant une phase préhistorique, il connaît des surfaces de plusieurs centaines de milliers de km² et des profondeurs variant de 15 à 65 m. A partir des temps historiques, la surface et la profondeur du lac se réduisent régulièrement, avec une profondeur variant de près de 20 m à des assècs totaux. Sur la période récente, le lac connaît une réduction continue : de 25 000 km² à 1 500 km², accompagnée de fluctuations importantes.

Quelles seraient les conséquences de la poursuite du retrait du lac Tchad ? Celui-ci constitue, pour les 4 Etats riverains, un enjeu économique majeur (pêche, agriculture irriguée, ...) et la ressource en eau d'une population de plus 2 millions d'habitants. L'assèchement du lac, s'il se produisait, se traduirait par la famine et l'émigration d'une partie de cette population, estimée à plus de 2 millions d'habitants. Le réchauffement climatique sera-t-il responsable de la disparition du lac ? L'Afrique est le continent le plus touché par le changement global du climat, cependant les modèles du GIEC montrent que la région du lac Tchad est l'une de celles où l'incertitude climatique est la plus forte : le réchauffement climatique se traduira-t-il par une augmentation ou une diminution de la pluviométrie ?

Le risque de disparition du lac Tchad est une préoccupation ancienne, qui a suscité depuis un siècle un projet de dérivation entre le bassin du Congo et ce lac. Un premier plan « pharaonique » date de 1930 et prévoyait de reconstituer la mer intérieure du Tchad. S'en sont suivis plusieurs programmes, moins ambitieux, mais encore très onéreux.

En conclusion, face à la catastrophe écologique et humanitaire que constituerait la disparition du lac Tchad, trois questions demeurent posées : l'évolution du lac va-t-elle se poursuivre jusqu'à sa disparition ou peut-on raisonnablement espérer une stabilisation, quel sera l'impact du changement climatique sur le lac, le Chari et l'Oubangui et enfin quel choix faire pour le projet de transfert du bassin de l'Oubangui au lac Tchad ?

(Abstract at the end of the paper)

1- HISTOIRE DU LAC

Le lac Tchad était l'un des plus grands lacs d'eau douce sur terre, mais les changements climatiques l'ont réduit à sa surface actuelle en quelques centaines d'années. Ce lac est aujourd'hui un grand plan d'eau peu profond dont la superficie oscille, ces dernières années, entre moins de 1500 à 25000 km². Son rôle est très important, car il doit fournir actuellement de l'eau à plus de 20 millions de personnes, vivant dans les quatre pays limitrophes : Tchad, Cameroun, Niger et Nigeria et dont l'économie dépend du lac.

1.1 Disparition d'une mer intérieure

Cette étendue d'eau n'est pourtant que le reste d'un ancien paléo-lac bien plus important appelé Méga-Tchad, et dont la superficie a culminé à 360.000 kilomètres carrés, il y a environ 6.000 ans.

Les images satellites complétées par l'analyse des sédiments et des fossiles découverts à l'intérieur de ses anciens rivages ont permis de déterminer les anciennes limites du lac Méga-Tchad et son âge. Leurs résultats confirment que ce lac s'est asséché en quelques centaines d'années. C'est un changement climatique brutal au niveau du Sud du Sahara qui a provoqué cet assèchement et laissé place au désert.

La disparition du Méga-Tchad offre ainsi un exemple spectaculaire des conséquences d'un changement de conditions climatiques en Afrique tropicale. Dans le contexte actuel de réchauffement global, l'analyse d'un tel outil hydrologique est donc particulièrement importante pour comprendre les mécanismes en jeu et découvrir les évolutions susceptibles d'intervenir.

1.2 - Menace d'assèchement du lac

Aujourd'hui, le lac Tchad est alimenté principalement par le fleuve Chari et son affluent Logone qui fournissent 90% des volumes d'eau. Le Komadugu-Yobé, l'autre source, issue du Nigeria, est désormais affaibli par la présence de deux barrages de soutien d'étiage permettant l'irrigation de périmètres importants. La diminution de la pluviométrie, aggravée par les deux sécheresses de 1972-73 et 1982-84, ainsi que l'augmentation des prélèvements des populations locales menacent peut-être son existence. Entre les années 1970 et les années 2000, sa superficie a ainsi été réduite d'un facteur 10. Si rien n'est fait pour enrayer la réduction des écoulements vers le lac, il est possible qu'il disparaisse complètement d'ici quelques dizaines ou centaines d'années. L'assèchement de la mer d'Aral est bien connu, certainement plus que celui du lac Tchad. Et pourtant, en une trentaine d'années, l'un des plus grands lacs d'Afrique a perdu près de 90 % de sa superficie ...

2 ENVIRONNEMENT DU LAC

2.1 - Description du lac Tchad :

Ce lac peu profond (actuellement de 3 à 7 m) se trouve au sud du Sahara, en zone sahélo-saharienne, à cheval sur 4 pays. Il est principalement alimenté par le fleuve Chari qui prend sa source en République Centrafricaine avant de pénétrer au Tchad. Le lac comporte une partie d'eaux libres, dominante en période humide, une zone de marécage, prépondérante en période de sécheresse et se traduisant par la prolifération d'herbes aquatiques.

Ce lac est organisé en deux cuvettes, séparées par une grande barrière (Fig. 1 organisation du lac en 2 cuvettes). La cuvette sud est alimentée directement par le Chari.

Lorsque la crue est forte, le niveau augmente et la cuvette nord est également alimentée. Au contraire, lorsque la crue est faible, la cuvette nord n'est pas alimentée, ce qui correspond à la situation de « petit Tchad sec ».

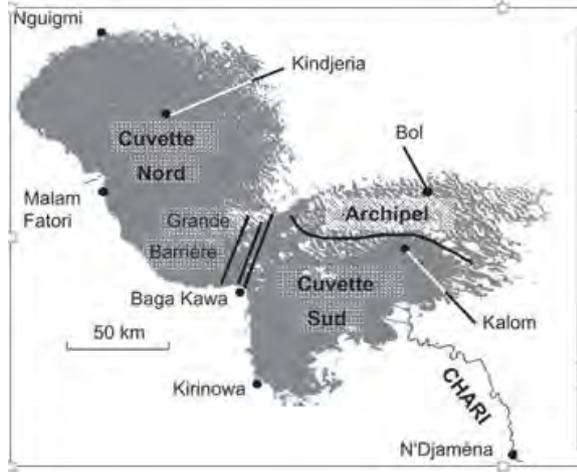


Figure 1 – Le lac Tchad est composé de deux cuvettes

Sa superficie a varié sur le XX^e siècle, de 1 500 à 25 000 km² et sa profondeur varie de 1 ou 3 mètres à 7 mètres (minima en juillet, maxima en décembre). A titre de comparaison le lac Léman s'étend sur près de 600 km² mais a une profondeur de 300 mètres. Ces variations sont fonction des crues du Chari et du Logone ; ces deux fleuves drainent les eaux des pluies tropicales des contrées méridionales et apportent au lac, à eux seuls, 90 p. 100 des apports fluviaux. Venant de l'ouest, l'apport de la Yobé est négligeable en dehors des périodes de crue. Au nord-est, le sillon du Soro (ou Bahr el-Ghazal) évacue, en fonction du niveau du lac, une partie des eaux vers le Djourab.

2.2- L'économie du lac

Le lac touche quatre pays et est la principale ressource en eau pour ces Etats riverains. Il fournit ainsi de l'eau potable, directement ou indirectement, à plus de 2 millions de riverains

Il est aussi la ressource en eau nécessaire à l'économie d'une zone de 20 millions d'habitants :

- secteur de la pêche : l'eau du lac est favorable au peuplement piscicole; dans ses eaux peu profondes, il abrite de nombreuses espèces de poissons ; l'activité halieutique représente ainsi une source importante de revenus pour la région : 300 000 emplois. 50 000t tonnes de poissons/an, aujourd'hui, et 300 000 tonnes par an en 1975.

- secteur de l'agriculture : irrigation des terres proches de ses rives, les nouvelles terres émergées, encore humides, ont permis d'entreprendre des cultures très productives surtout au sud du lac (maïs, cultures maraîchères), côté tchadien. De nombreux polders traditionnels (culture de décrue) ou plus récents ont été aménagés. Les terres irriguées représentent 135 000 hectares

- secteur de l'élevage : le lac Tchad constitue une importante réserve fourragère, grâce à la présence de zones périodiquement inondées, qui permettent l'alimentation d'un cheptel de 2 à 3 millions de têtes (bovins essentiellement, dont une majorité de zébus). Dans l'hypothèse d'une régression sensible du lac, il y aurait une exondation d'une partie des pâturages, et une baisse de l'économie de l'élevage.

La NASA a mené une étude de simulation climatique sur la région et prédit la disparition du lac à plus ou moins brève échéance. Les conséquences de l'assèchement total seraient dramatiques, il n'y aurait plus de possibilités de pêche dans le lac, plus d'agriculture vivrière irriguée, plus d'élevage et surtout plus de source d'eau potable. Les 20 millions de personnes qui dépendent du lac seraient donc condamnées à la famine ou à l'émigration. Il est encore temps d'agir et de faire en sorte que le lac redevienne

la ressource en eau majeure de l'Afrique centrale.

3 - GESTION DU LAC

3 1- Pays riverains du lac :

Quatre Etats sont riverains du lac Tchad (Fig. 2 pays riverains du Lac Tchad) :

Le Nigéria, pays le plus puissant de la région :

surface = près de 924 000 km²

population de près de 195 millions d'habitants en 2018 et une natalité galopante.

PNB de plus de 1085 milliards \$ en 2017 (membre de l'OPEP)

La région du Nord, riveraine du lac Tchad, fait partie de l'Etat du Bornou, où a été fondée en janvier 2002 la secte Boko Haram

Le Niger, l'un des pays les plus pauvres du monde

superficie = 1 267 000 km²

population de près de 23 millions d'habitants en 2018 avec l'un des taux de natalité les plus élevés au monde.

PNB de 20 milliards de \$ en 2016 (uranium, pétrole)

problème de sécurité au Nord (mouvement indépendantiste Touareg, groupes islamistes)

Cameroun, pays qui dispose de la plus petite rive sur le lac Tchad.

superficie = plus de 475 000 km².

population de plus de 25 millions d'habitants en 2018 et un taux de natalité élevé

PNB supérieur à 87 milliards de \$ en 2017. (agriculture dont cacao, mines, bois, hydrocarbure)

Tchad, comme le Niger, l'un des pays les plus pauvres au monde

superficie = 1 284 000 km²

population de plus de 15 millions d'habitants en 2018 et un taux de natalité élevé. La population est inégalement répartie : le nord est peu peuplé (populations nomades, les Toubous), à la différence du sud du pays, très peuplé

(populations sédentaires) et au climat bien arrosé.

PNB de plus de 28 milliards \$ en 2017 (hydrocarbure assurant 90 % des recettes d'exportation, depuis les années 2000, coton, arachide, bovins)



Figure 2 – Pays voisins du Tchad

3-2 Commission du Bassin du Lac Tchad

La Commission du bassin du lac Tchad ou CBLT. a été créée le 22 mai 1964, lorsque les chefs d'État des 4 pays riverains du lac, décidèrent par une convention, de mettre en place une structure permanente de concertation afin de coordonner les actions des différents Etats. L'objectif de cette Commission est de résoudre les difficultés pouvant affecter les eaux du bassin du Lac Tchad et régler pacifiquement les problèmes et différents affectant cette zone.

En 1999, un cinquième membre se joignit à la Commission, la **République centrafricaine**, en 2008, c'était le tour de la **Lybie**. Les ratifications du Soudan et de L'Algérie sont attendues.

3-3 Organisation de la Commission

La CBLT est dirigée par trois structures :

* Le Sommet des Chefs d'État est l'instance suprême de décision et d'orientation de la Commission. Il se réunit une fois par an en conférence ordinaire.

* Le Conseil des Ministres assure la supervision et le contrôle de la Commission, il se réunit chaque année en session ordinaire pour l'adoption du budget et du programme d'action annuel de la Commission. Le Conseil des Ministres comprend, par État membre, deux Commissaires (niveau ministériel).

* Le Secrétariat Exécutif est l'organe d'exécution des décisions des Sommets des Chefs d'Etat et résolutions du Conseil des Ministres. Cette autorité centrale a connu plusieurs réformes depuis la création de la Commission.

3.4 - Les états membres

A l'origine, la CBLT est constituée, en 1964, des 4 Etats riverains qui ont été rejoints par 2 autres Etats du bassin versant du lac (République centrafricaine et Libye) :

-  Cameroun (1964)
-  Niger (1964)
-  Nigeria (1964)
-  Tchad (1964)
-  Centrafrique (1997)
-  Libye (2008)

Les ratifications de l'Algérie et du Soudan sont attendues. Le Soudan, l'Égypte, la République du Congo et la R.D C sont membres observateurs. Le siège de l'Organisation est à N'Djamena, (République du Tchad). Elle est membre du réseau africain des organisations de bassin (RAOB) et du Réseau International des Organisations de Bassin (RIOB) comme le sont également l'Office de Mise en Valeur du Sénégal (OMVS)

et l'Autorité du Bassin du Niger (ABN). La Commission est financée par les contributions des Etats membres, mais une réflexion de financement autonome est en cours.

3.5 – Les missions de la CBLT

La CBLT a pour objectif, la gestion durable et équitable du Lac Tchad et des autres ressources en eau partagées, la préservation des écosystèmes du Bassin, la promotion de l'intégration et la préservation de la paix et de la sécurité transfrontalière, la sauvegarde des eaux du lac et le règlement des litiges pouvant survenir entre les Etats riverains.

Aujourd'hui, le principal défi à relever par cette commission est de trouver les mesures pour éviter la catastrophe écologique et sociale que constituerait l'assèchement du lac. Mais il faudra, dans tous les cas, faire face à un accroissement des besoins des populations en constante augmentation qu'il ne sera pas facile de réaliser tant les finances des Etats qui composent la Commission sont faibles.

4 - LE BASSIN VERSANT

Le bassin du lac Tchad, centré sur le lac lui-même est de type endoréique; c'est-à-dire qu'il ne possède, comme la Mer Caspienne, aucun contact avec un océan

4.1 - La superficie

Le bassin hydrographique du lac est théoriquement de 2 380 000 km² représentant près de 8% du continent africain, mais le bassin versant actif, c'est à dire celui qui donne lieu à écoulement, se limite à 967 000 km². Le principal apport en eau provient à 90 % du fleuve Chari et de son affluent le Logone, tous deux issus des montagnes de la République centrafricaine. Le Komadougou Yobé, issu du

Nigeria, est affaibli par la présence de deux barrages qui ont fait chuter son apport de 7 milliard m³ à 0,45 milliard m³ par an. Bien qu'il ne participe que pour 10% aux apports en eau du lac, la séparation en deux cuvettes, nord et sud, la situation de l'estuaire de ce fleuve et la réduction des apports du Komadougou-Yobé rendent précaire l'alimentation de la cuvette nord. Les limites du bassin versant ont été définies par des images de télédétection pour la situation actuelle et des analyses isotopiques (Carbone 14) ou études de diatomées pour le passé.

Le bassin versant du lac couvre une grande partie du Tchad, la moitié orientale du Niger, une part plus modeste de la centrafricaine du Cameroun, du Nigeria dans des proportions variables, ainsi qu'une faible partie de l'Algérie, de la Libye et du Soudan. Les parties les plus basses en altitude de ce bassin sont la dépression du Borkou, la dépression du Bodélé et le lac Tchad lui-même. Ces dépressions sont en grande partie désertiques et semi-désertiques bien que de nombreux cours d'eau les drainent, notamment depuis le sud et l'ouest.

Sur sa bordure sud-ouest, le bassin du Tchad présente une particularité hydrologique : en période de crue, une partie des eaux du Logone quittent leur lit pour former le marais Toupouri et s'écoulent vers l'ouest, changeant de bassin versant pour gagner celui du Niger via le Mayo-Kebbi, affluent de la Bénoué.

4.2 - Le climat-hydrologie

Le climat autour du lac est chaud et sec, avec des précipitations très variables – de 100 à 400 mm annuels dont 90 % tombent entre juin et septembre. La rive sud est plus humide que le nord. Bien que l'évaporation soit

importante, surtout durant la saison sèche, la salinité du lac n'augmente guère, les eaux les plus chargées en sel s'infiltrant dans le sous-sol.

Ces variations tendent, par leurs conséquences (alluvionnement, intensification de l'évaporation), à faire du lac Tchad, en période sèche, une dépression en voie de comblement, se transformant en partie en un immense marécage : il est, ainsi, encombré de nombreuses îles, de bancs de vase, d'îlots de papyrus. Sauf aux embouchures du Chari et de la Yobé, les eaux sont légèrement saumâtres. Les oscillations de niveau et d'étendue entraînent une « dénatronisation » du lac ; le natron (carbonate de sodium naturel) se dépose sur les rives au moment du retrait des eaux. La variation des débits moyens annuels du Chari à N'Djamena est la suivante :

Débit quinquennal sec = 950 m³/s

Débit moyen : 1260 m³/s

Débit décennal humide ; 1570 m³/s

Débit centennal humide : 1830 m³/s

5 - L'ÉVOLUTION DU LAC TCHAD

Dans les temps préhistoriques, il était l'un des plus grands lacs du monde, il s'est réduit considérablement pendant les quatre dernières décennies. Même s'il demeure l'un des grands lacs africains, le lac Tchad est dix fois plus petit qu'il y a cinquante ans : 25 000 km² en 1964 contre 2 500 km² en 2004. En 2000, il est même tombé à moins de 1 500 km². Le déficit de pluviométrie combiné à une plus grande utilisation des eaux du lac et des rivières pour l'irrigation – la population du bassin a doublé dans l'intervalle, et l'irrigation a quadruplé entre 1983 et 1994 – expliquent ce recul. Sa faible profondeur, qui est, dans ces derniers temps, au maximum de 7 mètres, le rend fragile et très dépendant des fluctuations saisonnières.

Le lac Tchad, actuellement alimenté à près de 90 % par les apports fluviaux du Chari et du Logone, présente des fluctuations qui reflètent surtout l'évolution climatique de la zone soudano-guinéenne où tombent l'essentiel des pluies qui l'alimentent

5.1 - Les temps géologiques

Dans les temps géologiques, il a connu des variations très importantes. Lors des épisodes arides, il a servi de zone refuge. En revanche, durant certaines périodes très humides, il s'est transformé en mer intérieure, appelée Méga Tchad. Il a même atteint la taille de la mer Caspienne, lorsque les pluies ont beaucoup augmenté à l'Holocène moyen.

On estime qu'au Paléolithique, le lac Tchad occupait toute la partie sud-est du Sahara, soit 360 000 kilomètres carrés. Depuis lors, il a dû connaître deux périodes d'assèchement et de remplissage, avant de prendre sa configuration actuelle correspondant à l'installation de l'aridité et à l'avancée du désert.

Les variations du lac Tchad témoignent ainsi de profonds changements :

- vers 50 000 av. J.-C., le lac aurait couvert 2 millions de kilomètres carrés ;
- vers 20 000 av. J.-C., il disparut complètement à cause de l'aridité des tropiques consécutive à l'apogée de la glaciation ;
- vers 9 500 av. J.-C., grossi par les pluies qui tombaient en abondance sur le massif du Tibesti, il a une profondeur de 15 m ;

5.2 - Les temps historiques

A partir de 10 000 av. J.-C., le niveau du lac poursuit sa régression.

Les fluctuations du Lac Tchad du 12^e au 20^e siècle sont représentées dans le schéma ci-dessous (Fig.4 évolution du niveau du lac)

extrait d'un article de Jean Maley et Robert Vernet.

Les significations des différents niveaux d'eau sont les suivantes :

- + cote < 279 = indépendance des cuvettes nord et sud, celle-ci n'est plus alimentée par la crue du Chari, état de Petit Tchad
- + cote > 281 = état du Moyen Tchad ;
- + cote > 284 = état de Grand Tchad ;
- + cote > 286 = niveau du lac permettant d'alimenter par surverse le Bahr el Ghazal ;

Au 12^e siècle la végétation sahélienne autour du lac Tchad était nettement plus développée qu'actuellement, du fait de pluies régionales plus importantes.

Vers le début du 15^e siècle, le climat s'est dégradé à nouveau. Les écoulements du Chari et du Logone ont fortement diminué, et ils ont été si faibles vers le milieu du 15^e siècle que la partie méridionale du lac Tchad s'est complètement asséchée. On estime que cet assèchement dura environ 25 années (entre 1440 et 1470 environ). Vers la fin du 15^e siècle, les conditions climatiques s'étant améliorées, le lac Tchad retrouva un niveau moyen et des fluctuations plus limitées jusque vers la fin du 16^e siècle.

Durant tout le 17^e siècle et jusque vers le début du 18^e siècle, le niveau du lac Tchad se situait alors vers 286 m.

À partir du 18^e siècle, le climat s'est rapproché de l'actuel, marqué par quelques brèves phases plus sèches : Point bas vers 1770, point haut vers 1810, nouveau point bas vers 1840, nouveau point haut vers 1880 ; en 1908, le lac n'était plus qu'un marécage avec deux petits bassins au nord et au sud. Pendant le 20^e siècle, 4 états du lac ont été identifiés : Petit Tchad Sec, Petit Tchad, Moyen Tchad et Grand Tchad. Le passage d'un état à l'autre peut se faire en quelques années. Depuis les années 1990 à 2000, le lac est dans sa

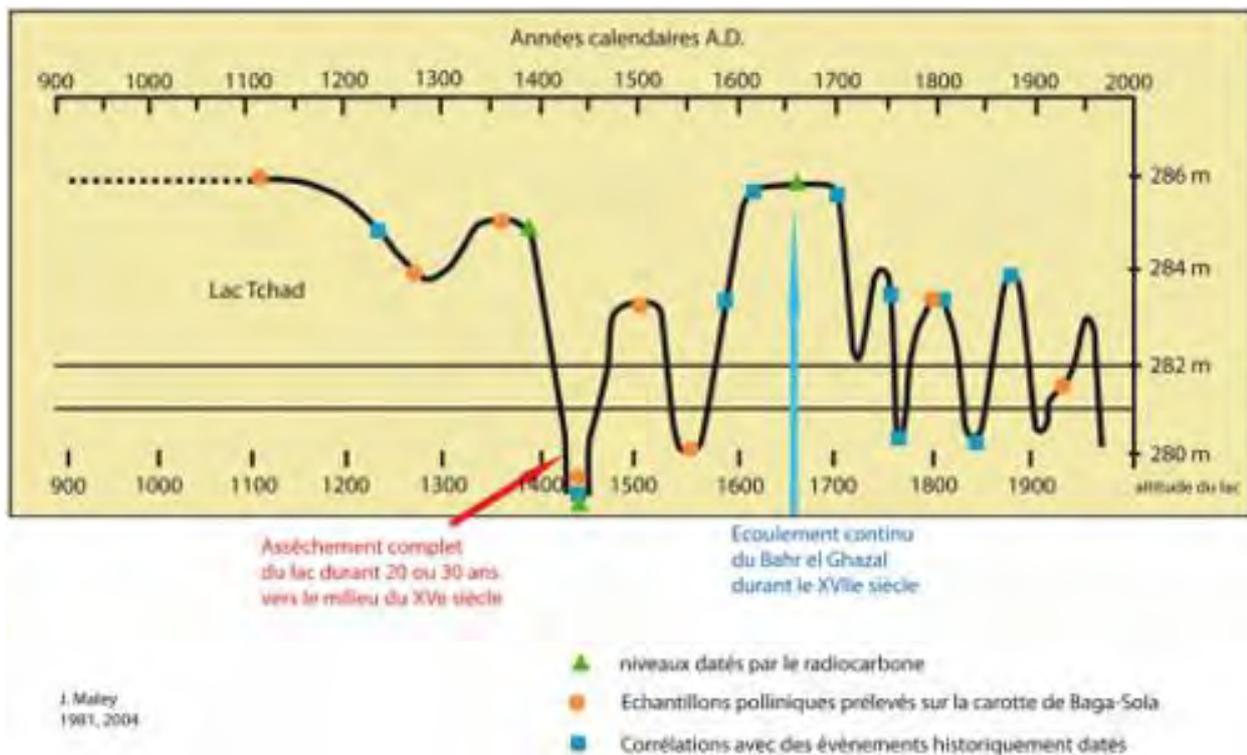


Figure 3 - Évolution du niveau du lac depuis le X^e siècle

configuration « petit Tchad », mais pas de « petit Tchad sec ».

5.3 - La période récente

Le suivi du niveau du lac est assuré depuis 1828. La récente diminution massive de la superficie du lac est principalement due à la réduction de la pluviométrie, aux sécheresses dramatiques (1973, 1984, 2008) et au déboisement. En 1963, le lac couvre, selon les sources, de 23 000 à 25 000 km² ; en 2001 sa superficie descend à 4 000 km² ; en 2008, ses dimensions sont de 30 km sur 40 km à l'embouchure du fleuve Chari – (Logone) pour une superficie de 2 500 km². Le lac Tchad couvre alors moins de 10 % de la surface qu'il occupait dans les années 1960.

L'évolution du lac Tchad de 1963 à 2006

Pour expliquer la réduction de la surface du lac depuis 25 000 km² dans les années 60 jusqu'à 2 500 km² aujourd'hui, certains invoquent le

manque de pluviométrie, une évaporation plus intense et un ensablement provoqué par l'avancée du désert. D'autres parlent d'une conséquence de l'explosion démographique (augmentation des cultures et de l'irrigation) que connaît la région du lac Tchad qui regroupe actuellement plus de 20 millions d'habitants

Pour l'avenir, les thèses des scientifiques sont variées :

- les chercheurs de la Commission du Bassin du Lac Tchad et ceux de la NASA s'inquiètent d'un assèchement total du lac, dans une vingtaine d'années.
- ceux de plusieurs instituts de recherche français (CIRAD, IRD, AFD) sont moins pessimistes et considèrent que le niveau du lac et son évolution doivent se maintenir à l'état de Petit Tchad.

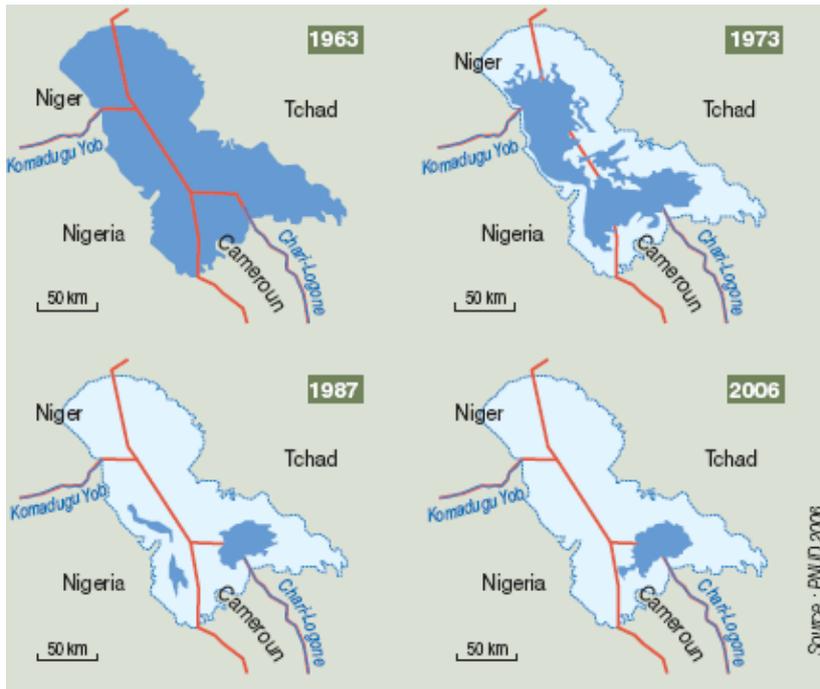


Figure 4 – Cartographie des états du lac sur les dernières années.

La régression du lac, déduite d'une série d'images de la NASA, montrant la tache bleue des eaux lacustres cernée d'un jaune censé figurer les sables du désert se rétrécir année après année, et annonçant sans le dire un destin funeste comparable à celui de la Mer d'Aral, doit être prise avec précaution. Cette image reprise à leur compte par plusieurs responsables politiques de la région et par plusieurs ONG a contribué à brouiller la compréhension des problèmes du lac Tchad. Une particularité essentielle du lac tient au fait qu'il est un milieu aquatique, très peu profond (de 1 à 3 mètres jusqu'à 7 mètres) et soumis à une intense évaporation ; une petite variation du débit de son principal tributaire, le Chari, se traduit par d'importantes variations de la superficie du lac. Celles-ci sont d'ailleurs difficiles à mesurer, car une grande partie du lac est en réalité un vaste marécage. Les eaux libres – celles des images de la NASA – ne représentent qu'une partie des surfaces en eau. L'autre partie est colonisée par des plantes aquatiques ; les riverains y taillent des chenaux pour circuler avec leurs pirogues.

Depuis 2000, la tendance s'est inversée. La surface en eau du lac ne cesse de fluctuer. Dans les années 1950-1960, elle avait - atteint jusqu'à 25 000 km² avant de régresser. En 2013, avec une superficie inondée de 14 800 km², le lac avait une configuration très comparable à celle de 1908.

6 - LES CAUSES DE LA REGRESSION DU LAC

Les causes de l'assèchement du lac sont naturelles, mais aussi anthropiques. Le lac et ses tributaires sont surexploités et la population ne prête pas suffisamment attention à ce

grand réservoir d'eau dont la situation est précaire.

6.1 - Les causes naturelles de l'assèchement

La baisse des précipitations

Le sahel a connu une baisse des précipitations de 25%, sur les 30 dernières années. La diminution des précipitations s'est accélérée depuis 1960 dans la zone sahélienne. La sécheresse et cette baisse de la pluviométrie sont donc les premières causes de la réduction de la surface du lac. Depuis 1968 et lors des sécheresses de 1972-1973 et 1984-1985, le lac et son bassin versant ont connu une baisse de précipitations, entraînant en conséquence la diminution du débit des principaux fleuves affluents du lac Tchad. Ci-dessous, on trouve la moyenne de la pluviométrie annuelle des principaux postes météo de la zone du lac, à 3 périodes différentes.

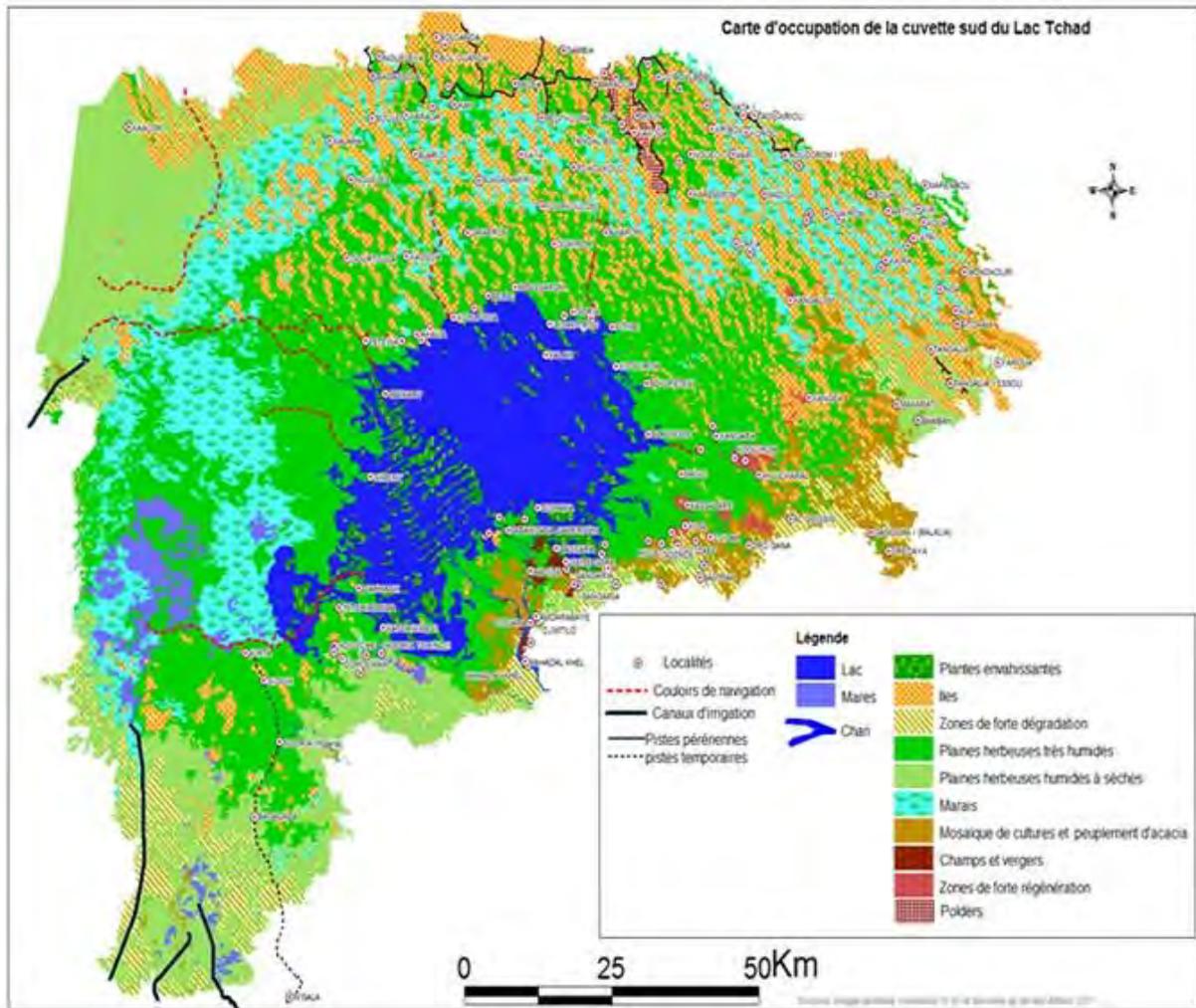


Figure 5 – L'occupation de la cuvette du lac entre eaux libres, marais, plantes aquatiques

Tableau 1 : Pluie annuelle moyenne (en mm)

	1960-1969	1981-1990	1984
N'guigmi	219	160	123
Bol	302	219	170
Lac	284	186	94
Ndjamena	560	478	231

L'augmentation de la température

L'augmentation de température et de l'évapotranspiration a entraîné la sécheresse des terres du bassin versant. Les rares sources d'approvisionnement en eau telles que l'eau résiduelle et les nappes perchées se sont complètement vidées, au cours de ces dernières années. Une autre cause de régression de la surface du lac est, aussi, l'apparition de nouvelles îles due aux vents provenant du

Sahara qui amènent de grandes quantités de sable.

6.2- Les causes anthropiques

Les principales causes anthropiques sont la déforestation (bois de chauffe), l'assèchement volontaire des terres proches du lac pour y pratiquer l'agriculture et l'irrigation par prélèvement dans les affluents du lac, notamment le Chari. L'assèchement du lac a rendu accessible de nouvelles terres pour l'agriculture. Ces terres sont très fertiles, car elles sont encore humides et riches en minéraux. Ces terres émergées sont par conséquent très recherchées par les agriculteurs de la région. Cependant, cette pratique fait en sorte de fragiliser encore plus le lac, puisque ces cultures sur les berges du lac nécessitent de l'eau, après la décrue. Enfin, aucune réglementation n'a été mise en place face à la problématique et les agriculteurs continuent de pomper l'eau du Chari sans se soucier des conséquences.

7 - IMPACT DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

7.1 - Le changement climatique et la croissance démographique

L'Afrique est le continent le plus vulnérable à la variabilité et au changement climatique. Cependant, l'étude de l'ensemble des modèles prédictifs du GIEC a montré que la région du lac Tchad était une de celles où l'incertitude climatique était l'une des plus fortes d'Afrique. Il n'empêche, l'idée d'une menace de disparition du lac, liée au réchauffement climatique, demeure dans les esprits. Elle alimente des discours récurrents et milite, en particulier, pour un transfert des eaux de l'Oubangui vers le Chari afin de recharger le lac. Mais dans tout cela on sous-estime le principal

facteur qui va peser sur l'avenir de la zone qui est d'ordre démographique. Les réflexions de la COP 21 ont donné la priorité au réchauffement de la planète et n'ont pas pris en compte le risque majeur, que représente l'explosion démographique de l'Afrique tropicale. Le lac Tchad, comme l'ensemble très vulnérable des régions sahélo-sahariennes, est directement concerné par ce défi qui s'ajoute à ceux de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique. .

7.2 - Le changement climatique et la fluctuation du niveau du lac

Le réchauffement climatique serait-il responsable des fluctuations du lac Tchad ? Pour les fortes variations interannuelles, le problème est posé ; pour les variations de faible ampleur, il faut se rappeler que le niveau du lac a toujours été marqué par une forte variabilité. Aujourd'hui, les scientifiques ne s'accordent pas entre eux et une incertitude règne autour de la question des effets précis du réchauffement climatique sur le climat dans telle ou telle zone précise d'Afrique. Actuellement, on n'est pas en mesure d'affirmer que le réchauffement climatique va entraîner plus d'eau ou moins d'eau à un endroit défini d'Afrique tropicale. Ainsi, pour le lac Tchad, s'il fait plus chaud et qu'il y a plus d'eau, personne n'est capable non plus d'établir le bilan entre l'évaporation accrue et l'eau supplémentaire reçue. Certains scientifiques considèrent même que le lac Tchad n'est pas menacé par le réchauffement climatique.

« Scientifiquement, aujourd'hui, on ne peut pas dire si le réchauffement climatique se traduira par davantage de pluviométrie sur le bassin amont du lac Tchad et donc davantage d'eau dans le lac Tchad ou par une baisse de l'eau dans le lac. Nous ne sommes pas capables de le dire. Il n'y a aucune certitude ».

8 - PROJET TRANSAQUA

8.1 - Les engagements

L'idée d'un risque de disparition du lac est très ancienne et à l'origine de plusieurs projets de transfert des eaux de l'Oubangui vers le Chari afin de recharger le lac. Un premier projet « pharaonique » très ancien (1930) prévoyait de dériver du Bassin du Congo un débit très important, avec l'objectif de garantir la pêche, l'irrigation dans le lac et même de permettre la navigation entre l'Oubangui et le Chari ainsi que le lac Tchad. Il s'en est suivi, dans les années 1980, un projet de moindre envergure, dénommé Transaqua, associant le Cameroun, le Nigeria, le Niger, le Tchad, la République centrafricaine et la Libye, avec pour ambition d'opérer le transfert d'une partie des eaux de l'Oubangui, qui prend sa source en République démocratique du Congo, et le lac Tchad, via le fleuve Chari dont le coût est évalué entre 6 et 7 milliards de dollars. L'opération est loin de faire l'unanimité : sont très favorables, le Nigeria, le Tchad et le Niger ; la Centrafrique et le Cameroun sont indifférents, la RDC et le Congo sont réservés. Au niveau international, la FAO, l'U.E et les ONG environnementales sont défavorables, alors que la Chine, prête à contribuer au financement des travaux et l'Italie, impliquée dans la définition technique du projet, sont très favorables. Bien que l'étude d'impact du projet et la modélisation hydraulique ne soient pas encore rendues publiques, certains craignent les impacts négatifs sur la navigation et la biodiversité (réduction de la mangrove) de l'Oubangui et plus généralement du bassin du Congo. Ainsi, le mauvais état de l'Oubangui et la baisse actuelle du débit d'étiage milite pour une grande prudence, dans un projet de dérivation vers le lac Tchad.

8.2 - Le projet

Selon des études menées par des cabinets d'ingénieurs internationaux (Italie et Canada), il est envisagé en 1980 de sauver le lac Tchad en transférant une partie des eaux du fleuve Oubangui (40 milliards m³) pour restaurer le lac au niveau Moyen Tchad. (Fig.6 projet Transaqua) Les travaux consisteraient en la construction d'un barrage permettant une dérivation de l'Oubangui à l'amont de Bangui (site de Palombo) et d'un canal de 1350 kilomètres vers le Chari qui alimenterait le lac. L'objectif est de maintenir les activités d'irrigation, de pêche, d'élevage et d'accès à l'eau potable, sur le lac. Le dossier est donc vital pour les cinq premiers membres de la Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT), le Cameroun, le Niger, le Nigeria et le Tchad qui sont des pays riverains du lac, ainsi que la République Centrafricaine. La République Démocratique du Congo (RDC) doit également donner son accord puisque l'Oubangui prend sa source sur son territoire alors que la RDC projette un troisième barrage hydro-électrique sur le site des chutes d'Inga, qui pourrait être impacté par la réduction du débit du fleuve Congo. En 2005, un dernier projet de transfert de 50 à 100 milliards de m³ est porté par Power China, société chinoise d'aménagement qui assurerait le financement des travaux.

« ... Ces projets représentent des coûts de l'ordre de six à sept milliards de dollars ; c'est tout à fait considérable. On peut comprendre que les chefs d'État soient intéressés par ces grands projets qui créeraient des activités économiques, le problème est qu'actuellement les études d'impacts ne sont pas suffisamment précises et le résultat final serait relativement modeste par rapport aux objectifs poursuivis ... »

9 - CONCLUSION

En conclusion, l'assèchement du lac Tchad serait une catastrophe naturelle pour le continent africain. Plus de 20 millions d'habitants dépendent de ce lac que ce soit pour y pêcher, pour l'irrigation ou puiser une eau particulièrement douce. Tout porte à croire que l'assèchement total du lac aurait des conséquences sans précédent pour les pays d'Afrique centrale : pertes massives d'emplois, risque de famine de près de la moitié de la population riveraine du lac et émigration, qui pourrait atteindre plus de 2 millions d'habitants de la zone du lac Tchad, représentant ainsi une crise humanitaire majeure.

Il est donc nécessaire de lancer sans tarder les études indispensables pour faire un point définitif sur l'évolution prévisible du Lac Tchad (étude d'impact d'un prélèvement sur l'Oubangui, amélioration des connaissances sur le réchauffement climatique dans la zone soudano-guinéenne ...). Ces connaissances supplémentaires sont nécessaires pour faire le partage entre les thèses des scientifiques : d'un côté les tenants d'une hypothèse optimiste de maintien de la surface actuelle du lac, de l'autre, ceux plus pessimistes craignant une reprise de la diminution de ce réservoir en eau. Si cette deuxième hypothèse s'imposait, elle impliquerait des aménagements lourds et complexes donc politiquement difficiles à mettre en place. Il n'y a donc pas de temps à perdre !!

Les résultats de ces études doivent donc permettre de répondre aux questions suivantes :

L'évolution du lac va-t-elle se poursuivre jusqu'à sa disparition ou peut-on raisonnablement penser à une stabilisation à une surface de 1 500 à 2 500 km² ?

Quel sera l'impact du changement climatique sur le lac, le Chari et l'Oubangui ?

Quel choix faire pour le projet de transfert du bassin de l'Oubangui au lac Tchad ?

Remerciements

Je remercie les deux membres de l'Académie qui ont accepté de relire mon rapport pour leurs conseils et la correction de ce manuscrit.

Je remercie de leurs conseils les consultants et chercheurs suivants :

Géraud Magrin (chercheur au CIRAD, professeur de géographie à l'université Paris 1)

Jean-François Donzier (IGPEF, délégué à Paris du RIOB)

Christophe Brachet (Office international de l'Eau)

François Gabelle (IGGREF, consultant en irrigation et gestion de l'eau)

Jean-Luc François (ingénieur Agence Française pour le Développement)

Bibliographie et contacts

Atlas du Bassin du Lac Tchad, Edition de l'IRD 2015

M. d'ouvrage : Commission du Bassin du Lac Tchad

Rédacteurs : Géraud Magrin (CIRAD, univ Paris 1)

Jacques Lemoalle (IRD), Roland Pourtier (Paris 1)

Charte de l'eau du Bassin du Lac Tchad

Edition CBLT avril 2012

M. ouvrage : CBLT

Rédaction : CBLT

Termes de référence pour l'étude de faisabilité et l'APD du transfert des eaux de l'Oubangui dans le Bassin du Lac Tchad

Appel d'offre lancé par CBLT en février 2012

Conférence-exposition « Lac Tchad : regards sur un système régional en crise » : organisation = AFD, janvier 2018, intervenant : Géraud Magrin

Patrick Brun

**Ingénieur général
des Ponts des Eaux et des Forêts,
Membre titulaire de l'Académie d'Orléans**

Communication du 19 avril 2018

Lake Chad: Inland sea or puddle?

Lake Chad, the inland sea, covered an area of 360,000 km², 6000 years ago; it has been gradually reduced since the mid-twentieth century; it is now a "large puddle" of 1500 at 2500 km² with a depth between 3 and 7 m. This evolution is explained by the change in climatic conditions (drastic drop in rainfall, drought), both on the lake itself and on its main tributary Chari.

Four states are bordering the lake: Cameroon, Niger, Nigeria and Chad. Together, they formed the "Lake Chad Basin Commission" whose mission is to ensure equitable and sustainable management of the lake and its watershed, as well as the preservation of peace and security. Its main objective now is to prevent the lake from drying up and disappearing. Its watershed covers an area of 2,380,000 km², but the active basin, ie the one giving rise to flow, is limited to 970,000 km². The Chari Basin, which supplies 90% of the water resource to the lake, is located mainly in the Sudanian zone (annual rainfall of 600 mm), while the lake and its region have a Sahelo-Saharan climate with low rainfall. (100 to 400 mm per year).

The variations of the level of the lake testify to the many changes, within the Sahara. During a prehistoric phase, its surfaces were about several hundreds of thousands of km² and its depths were ranging from 15 to 65 m. From immemorial time, the surface and the depth of the lake were regularly reducing, with a depth varying from almost 20 m to nothing. In recent times, the lake has been in continuous decline: from 25,000 km² to 1,500 km², with significant fluctuations.

What would be the consequences of the continued withdrawal of Lake Chad? This constitutes, for the 4 riparian states, a major economic stake (fishing, irrigated agriculture ...) and the water resource of a population of more than 2 million inhabitants. The drying up of the lake, if it occurred, would result in famine and emigration of part of this population, estimated at more than 2 million inhabitants. Will global warming be responsible for the disappearance of the lake? Africa is the continent most affected by global climate change, yet IPCC models show that the Lake Chad region is one of the regions with the greatest climatic uncertainty: global warming will mean either an increase or a decrease rainfall?

The risk of Lake Chad disappearing is a long-standing concern, which over the last century has prompted a diversion project between the Congo Basin and this lake. A first "pharaonic" plan dates from 1930 and provided for the reconstruction of the interior of Chad. Then several programs followed, less ambitious, but still very expensive.

In conclusion, in the face of the ecological and humanitarian catastrophe that would be the disappearance of Lake Chad, three questions remain: will the lake's evolution continue until it disappears, or can we reasonably hope for a stabilization? What will be the impact of climate change on the lake, on Chari and on Oubangui and finally what choice to make for the transfer project of the Ubangi basin to Lake Chad?

Peinture de la société anglaise à l'époque victorienne

Jean-Pierre Navailles

Résumé

L'art nous en dit beaucoup sur la société qui l'a produit. C'est particulièrement vrai pour la peinture narrative et l'Angleterre victorienne, comme nous le verrons. Mon propos s'articule autour de trois thèmes.

1 - Vues panoramiques : Le tout-Londres est à Epsom, le jour du Derby – Régate sur la Tamise entre les équipages d'Oxford et de Cambridge – Voyageurs en partance à la gare de Paddington, etc.

2 - Chronique de la vie mondaine : Rituel du thé - repas champêtres - canotage - luxe - mode - élégance - et concerts privés.

3 - Aperçu des classes laborieuses : Terrassiers, forgerons, mineurs, couturières, et ouvriers d'usine, dans l'art victorien. L'art et la publicité.

Suivez le guide pour la visite de cette mini galerie.

Abstract

Victorian England through its painting

Art tells us a lot about the society which produced it. This is particularly true for narrative painting in Victorian England, as we shall see. This paper falls into 3 parts .

1 - Panoramic views : On the Derby Day everybody leaves London for Epsom. - The Boat Race on the Thames between Oxford and Cambridge. - Travellers waiting for the train on the departure platform in Paddington Station, etc.

2 – Chronicle of social events : Tea ritual – picnics – boating – luxury – fashion – elegance – and private concerts.

3 – Outline of the working classes : Navvies – blacksmiths – coalminers – sempstresses – factory workers in Victorian Art. - Advertising and Art.

Please follow the guide for the visit of this mini gallery



Introduction

S'il est une époque de leur histoire où les Anglais ont fait preuve de narcissisme, c'est bien sous le règne de Victoria (1837-1901). Les Victoriens aimaient à se regarder, se voir vus, décrits, ou représentés. D'où le succès de romanciers comme Dickens, Thackeray, ou Trollope, particulièrement appréciés pour leur talent à créer des personnages avec qui les lecteurs peuvent s'identifier et se sentir en osmose. De la même manière les peintres victoriens, du moins certains d'entre eux, ont su tendre un miroir à leurs contemporains. Miroir qui renvoie l'image de la société à laquelle ils appartiennent. Je vous invite donc à une approche, non pas esthétisante mais documentaire, de la peinture victorienne, en tant que reflet de la société anglaise de l'époque.

Une telle approche laisse de côté le géant de la peinture anglaise qu'est William Turner, parce que son œuvre est largement antérieure à notre période de référence et qu'elle ne saurait se réduire à un simple documentaire du quotidien. Ce précurseur de l'impressionnisme s'attache avant tout aux effets de lumière, même quand il évoque l'avènement du chemin de fer, comme dans *Rain, Steam and Speed* (« Pluie, vapeur, vitesse », 1844). Impasse également sur les peintres préraphaélites, lorsqu'ils se tournent vers le passé pour fuir le prosaïsme, à leurs yeux médiocre, du monde contemporain.

À l'inverse bon nombre d'artistes victoriens choisissent de prendre pour décor et même pour sujet le monde qui les entoure : les gares, les trains, les bals, les hippodromes, les bateaux, les foires ou les marchés en pleine activité. Au premier rang desquels on peut citer William Powell Frith dont les scènes de la vie moderne rencontrent un tel succès, lors de leur exposition, qu'il faut les protéger par un dispositif inédit de barrières contre les assauts d'un public trop

enthousiaste. Faisons un arrêt sur image de quelques vues panoramiques de la société victorienne.

1 – Vues panoramiques

Dans une société aussi cloisonnée que l'Angleterre victorienne, le célèbre Derby d'Epsom offre une des rares occasions de brassage social. Ce jour-là, le mercredi d'avant Pentecôte, Londres n'est plus à Londres, mais à Epsom où l'on se rend en foule à pied, à cheval, ou en voiture (Henry Alken, *Going to the Derby*, « En route pour le derby », 1881). C'est congé pour tout le monde. Sur les pelouses de l'hippodrome se côtoient l'ouvrière et la grande dame, le docker et le dandy, le boutiquier et le pair du royaume, le dévot et le libertin. Les tribunaux font relâche et même le Parlement s'accorde dispense de siéger, afin de permettre à ses membres d'assister à cette grande manifestation hippique.

Le tableau de William Powell Frith intitulé *The Derby Day* (« Le jour du derby », 1858) offre une vue d'ensemble de la foule bigarrée des turfistes et des spectateurs (Voir figure n°1). À noter que la tribune de l'hippodrome et les chevaux de course sont relégués à l'arrière-plan et semblent constituer une toile de fond plutôt que les principaux centres d'intérêt. Quel contraste avec la toile de Théodore Géricault intitulée *Le Derby d'Epsom* (1821), qui est toute focalisée sur les jockeys et leurs montures en pleine action ! Ce qui paraît irréaliste dans la toile de Géricault, c'est le mouvement de ces pur-sang qui flottent dans les airs, comme Pégase. Mes connaissances en matière hippique sont très limitées, mais la chronophotographie a montré que des chevaux au galop n'ont jamais les quatre jambes tendues simultanément, et qui plus est de façon synchronisée.

Ce qui intéresse Frith c'est le public beaucoup plus que la course proprement dite. Son propos



Fig. 1 - W.P.Frith, *The Derby Day* (1856-8) Tate Gallery, Londres.

est de balayer le spectre social de la foule des spectateurs. On retrouve dans sa toile le même foisonnement de personnages que dans les romans de Dickens, la même imbrication d'une intrigue principale et d'événements secondaires, qui sont autant de digressions autour d'un thème central. Le statut social des personnages, leur activité, s'ils en ont une, leurs traits de caractère, sont facilement reconnaissables à leur attitude et à leur tenue vestimentaire. Se pressent sur la pelouse gens de la haute, ou du demi-monde, pickpockets, cartomanciennes, mendiants, et paysans en goguette.

Plusieurs incidents ou pôles d'intérêt structurent cette foule. À l'extrême gauche, des hommes se sont agglutinés devant la tente du *Reform Club* et autour d'un joueur de bonneteau. Un complice du bonimenteur tente d'inciter un jeune fermier à parier, ce que la femme de ce dernier s'efforce d'empêcher. À côté, un adolescent les mains dans les poches, a l'air penaud. Il vient de s'apercevoir qu'il n'a plus sa montre de gousset. Le voleur est juste derrière lui. Scène centrale : des *dandies* chapeautés de gibus soyeux devisent avec des femmes en robe de mousseline. Vraies *ladies* ou demi-mondaines, celles-ci rivalisent d'élégance et se pavanent dans leurs calèches. Ces personnages visiblement

fortunés sont entourés de diseuses de bonne aventure, de bookmakers, de saltimbanques, de bohémiens et de pauvresses. Au premier plan, un valet de pied s'active à disposer sur une nappe les provisions de bouche (homard, volaille, pâté en croûte) qu'il vient d'extraire d'un panier en osier. À la vue de ces victuailles, le jeune gymnaste en oublie son numéro d'acrobatie. Tout le monde se prépare à boire et ripailler.

Le *Derby Day* obtint un tel succès que le sujet ne manqua pas de susciter de nombreux émules. Les suiveurs de Frith en firent le pastiche, voire la caricature. La course d'Epsom inspira également les artistes du noir et blanc. C'est l'ambiance de fête foraine dont Gustave Doré s'est fait l'interprète (1872). En ce jour de liesse populaire, l'inévitable prédicateur a beau vitupérer contre l'intempérance et les distractions profanes, il a toutes les chances de prêcher, sinon dans le désert, du moins dans l'indifférence générale (*Le Monde illustré*, 15-6-1872). Les plus argentés des pique-niqueurs ne manqueront pas de distribuer autour d'eux les reliefs de leurs agapes. Le derby d'Epsom rapproche les extrêmes et nivelle les différences, mais c'est un niveleur d'occasion, un niveleur sans lendemain. Le jour qui suit le derby tout rentre dans l'ordre.

Chacun retrouve sa place, son rang, sa condition et son quant-à-soi.

Et quand Frith met en vis-à-vis les deux Londres, celui du West End et celui de l'East End, dans son tableau intitulé *Poverty and Wealth* (« Pauvreté et richesse », 1888), on sent qu'il y a quelque chose d'artificiel, de fabriqué, dans ce face-à-face. La scène se situe dans Bond Street, rue chic et commerçante de la capitale, avec d'un côté une famille patricienne qui prend place dans sa calèche, et, de l'autre, une cohorte de miséreux, de va-nu-pieds, qui achètent pour quelques pennies les invendus chez un poissonnier.

Un autre événement qui donne lieu à un grand concours de peuple, cette fois sur les bords de la Tamise, c'est la course d'avirons qui oppose l'université d'Oxford à celle de Cambridge. Il ne s'agit pas d'un *remake* de la guerre des Deux-Roses, mais du match des deux bleus : bleu foncé, couleur d'Oxford opposé au bleu clair, couleur de Cambridge. La course a lieu au printemps, entre Putney et Mortlake sur une distance de 4 milles anglais, soit environ 6 ½ kilomètres (James Baylis Alan, *The Finishing Line at Mortlake*, « La ligne d'arrivée à Mortlake », 1863). Les spectateurs grimpent sur tout ce qui se présente et peut offrir un meilleur point de vue :

sur les barques, les ponts, les murs, les arbres au bord du fleuve. Dans ses dessins illustrant la régates Gustave Doré met d'ailleurs l'accent sur l'enthousiasme, l'exubérance du public, davantage que sur la performance des rameurs dont on n'aperçoit que les avirons. Au hit-parade des vedettes de l'année, la première place se joue généralement entre la reine Victoria, le cheval qui a gagné le Derby, et l'équipage vainqueur de la régates sur la Tamise. Et dans cette course à la notoriété, à la popularité auprès des Victoriens, il pouvait bien arriver à la souveraine de se faire coiffer sur le poteau d'arrivée par le cheval ou le bateau victorieux.

Il est des lieux publics que la foule londonienne fréquente, non pas une fois par an comme l'hippodrome d'Epsom, mais tous les jours de la semaine. Parmi ces lieux d'affluence, Frith a opté pour la gare de chemin de fer qui sert de sujet et de cadre au tableau considéré comme son chef-d'œuvre. Il s'agit de *The Railway Station* (« La gare de chemin de fer », 1862, voir fig.2). À la différence de Claude Monet, qui, quelques années plus tard (1877), s'attachera à rendre les effets lumineux et colorés de la vapeur et de la fumée sous la verrière de la gare Saint-Lazare, Frith focalise son attention sur les voyageurs en



Fig. 2 - W.P.Frith, *The Railway Station* (1862) Royal Holloway University of London

instance de départ à la gare de Paddington. Occasion de représenter un microcosme de la société victorienne dont le centre est occupé par les élites patriciennes et bourgeoises, et les marges par les classes laborieuses ou dangereuses. D'un côté s'activent les employés du chemin de fer, et de l'autre côté deux détectives de Scotland Yard procèdent à l'arrestation d'un individu, criminel ou délinquant, juste avant que celui-ci ne monte dans le train.

À l'arrière-plan, à gauche, un marin et des voyageurs de condition modeste se dirigent vers les wagons de troisième classe. Devant eux les membres d'une famille bourgeoise partent probablement en villégiature et suivent le porteur qui pousse leurs bagages sur un chariot. À côté d'eux une autre famille bourgeoise fait ses adieux à deux garçonnetts qui regagnent leur internat. La mère embrasse le plus jeune qui tient sa batte de cricket à la main. Au centre du tableau, un homme à la barbe sombre et au gibus noir, est en train de régler le cocher qui les a conduits, lui et sa femme, jusqu'à la gare. Au second plan un militaire soulève son bambin et lui donne un baiser. Plus à droite, deux demoiselles d'honneur en crinolines et châles couleur crème escortent une jeune mariée en partance pour son voyage de noces. Le mari se voit remettre une petite valise par un domestique. Il est peu probable que ce soit la dot. Peut-être s'agit-il d'un acompte pour la lune de miel. À l'arrière-plan deux cheminots arriment les bagages les plus volumineux sur le toit des voitures, comme au temps des diligences.

On peut noter l'absence d'ouvriers parmi les voyageurs, mis à part les employés du chemin de fer qui figurent ici ès qualités. Il en irait tout

autrement si l'artiste avait situé la scène à une heure beaucoup plus matinale, comme sur une gravure de l'*Illustrated London News* (1865) montrant l'arrivée d'un train ouvrier en gare de Victoria (voir fig.3). Il est six heures du matin, précise le reportage, donc beaucoup trop tôt pour les confondre avec les personnages de Frith. Les banlieusards qui viennent de descendre des wagons sont manifestement des travailleurs manuels, terrassiers, maçons, charpentiers, comme l'attestent les outils dont ils ont les bras chargés. Ce qui frappe dans cette illustration,

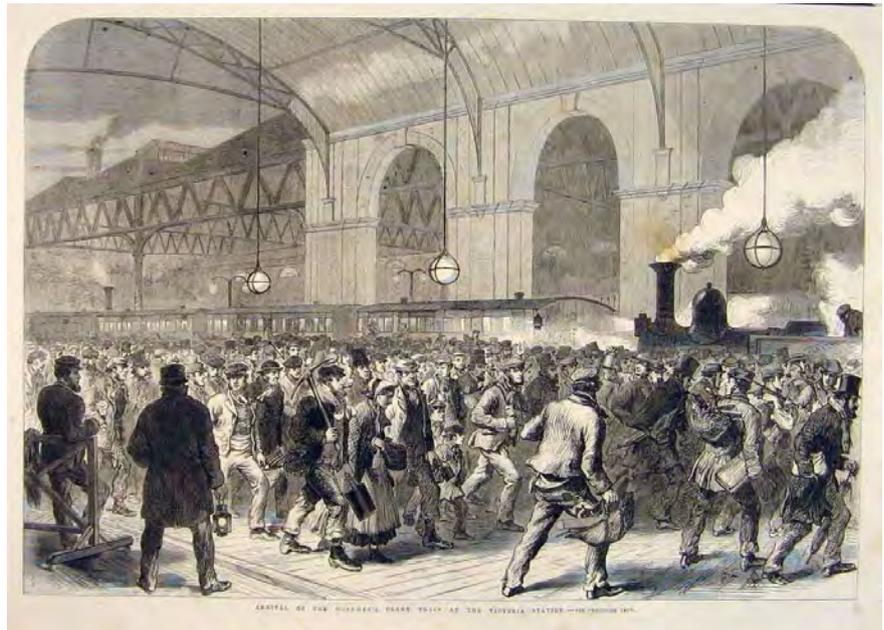


Fig. 3 - Arrival of the Workmen's Penny Train at the Victoria Station. *Illustrated London News* (22-04-1865)

c'est le mouvement inscrit dans les enjambées et les têtes toutes orientées vers la droite. La fumée de la locomotive à la manœuvre renforce la dynamique du flot humain canalisé par les agents de la voie, immobiles et à contre-jour. On devine la hâte, l'empressement du troupeau en marche, alors que sur la toile de Frith les voyageurs sont statiques et semblent tenir la pose.

Un des rares tableaux dans lesquels les ouvriers occupent une place centrale est celui que le peintre Ford Madox Brown a intitulé *Work* (« Travail », 1863, voir fig.4). Plantons le décor : la scène se situe dans Heath Street à Hampstead,



Fig. 4 - F.M.Brown, *Work* (1865) Manchester City Art Gallery

quartier cosu au nord-ouest de Londres. Et maintenant les personnages, avec en leur centre des agents de la voirie qui sont en train d'effectuer une excavation. Il s'agit de quatre terrassiers, du cinquième, on n'aperçoit que la main tenant une pelle. Autour d'eux gravitent les représentants des diverses catégories et strates de la société britannique : des parias aux aristocrates, en passant par les intellectuels. Les deux personnages accotés à la balustrade sur la droite de l'image sont l'historien Thomas Carlyle, et le théologien Frederick Denison Maurice.

La composition rend hommage au travail manuel par une chaude journée de juillet, comme le souligne la citation de la *Genèse* inscrite sur le cadre : « C'est à la sueur de ton visage que tu gagneras ton pain ». Des personnages centraux se dégage une impression de puissance sereine. Le plus jeune solidement campé sur ses jambes, la fleur aux lèvres, est l'image de la force virile. Un autre, le coude levé, boit le verre de bière qu'il vient d'acheter à un marchand ambulant. Comme en réaction, une femme élégante laisse tomber dans la tranchée un des tracts qu'elle tient à la main. Cette militante antialcoolique a été introduite par l'artiste sur les instances de son

commanditaire : Thomas Plint, riche agent de change de Leeds. Trois enfants, au premier plan, masquent aux regards la partie la plus charnue de celui des terrassiers qui avec l'âge a pris de l'embonpoint. Jeunes ou moins jeunes, tous respirent la force et la santé.

Selon toute apparence, la société britannique repose sur des bases solides. Mais l'architecture de la toile occulte la misère et les tensions qui risqueraient d'en rompre la belle harmonie.

L'éloge, l'apologie du travail fait écran aux souffrances de ceux qui, faute d'emploi, tombent du piédestal sur lequel l'artiste les a symboliquement installés. Seuls les enfants et la marchande de fleurs, en guenilles et pieds nus, évoquent l'indigence. C'est là un point sur lequel je reviendrai à propos des classes laborieuses. Pour l'instant intéressons-nous au mode de vie du couple de cavaliers qui occupent le sommet de la toile et de la pyramide sociale, c'est-à-dire au grand monde dont font également partie les deux élégantes qui marchent devant eux.

2 – Chronique de la vie mondaine

La chronique qui suit n'est pas à l'abri d'un reproche, j'en conviens, celui de faire la part belle à des peintres italiens ou français. Il n'est d'ailleurs pas incongru de faire acte de repentir quand on parle de peinture. Mais le choix de ces artistes étrangers se justifie par la fraîcheur et l'acuité du regard qu'ils portent sur la scène anglaise.

D'origine italienne, Giuseppe de Nittis est un fin observateur de la rue londonienne, comme en témoigne son tableau représentant la National Gallery et l'église Saint-Martin-in-the-Fields (voir

fig.5). Dans la partie médiane de Londres, les bourgeois en hauts-de-forme et les hommes-sandwichs se croisent sans se regarder, ni se voir. De Nittis suggère ici le cloisonnement de la vie sociale à Londres ; ailleurs le peintre illustre la langueur, la léthargie et l'ennui, qui s'emparent de



Fig. 5 - G. de Nittis, *The National Gallery and Saint-Martin-in-the-Fields* (1877), Musée du Petit-Palais, Paris.

la capitale britannique, le dimanche, autrement dit le jour du Seigneur (*La Domenica a Londra*, 1872). Le graveur Auguste Lançon fait le même constat que le peintre : ce jour-là les rues sont vides, la ville et ses habitants semblent comme pétrifiés, le temps comme suspendu.

Ce n'est pas faire preuve d'esprit chauvin, de dire que les reportages en noir et blanc, les plus percutants, sur Londres et l'Angleterre à l'époque victorienne, sont dus à des dessinateurs français. Je veux parler des reportages en images de Gavarni, Constantin Guys, Félix Régamey, Paul Renouard, Auguste Lançon, qui ont tous effectué de longs séjours outre-Manche. Parmi eux Gustave Doré, déjà cité, est celui qui a couvert le spectre le plus large de sujets, se montrant aussi à l'aise dans les fastes et l'opulence des beaux quartiers que dans la 'cour des Miracles' de l'East End. Rien n'a échappé à son crayon. Il a tout exploré, jusqu'aux taudis, aux bouges des docks, aux fumeries d'opium, et à la prison de Newgate. Mais la critique anglaise reprocha à Gustave Doré

d'avoir noirci le tableau, de trop insister sur le sordide et le laid, et de donner un climat cauchemardesque à ses dessins.

L'accueil fut beaucoup plus favorable pour les scènes de parc, les ponts et les trouées de lumière sur la Tamise de Claude Monet (*La Tamise à Westminster*, 1871). On savait gré à Monet d'avoir réussi à capter l'atmosphère de la capitale et à rendre les « somptueuses mystifications » du brouillard londonien. L'engouement fut encore plus grand pour la peinture de genre d'un autre artiste français, Jacques-Joseph Tissot à qui je vais emprunter les illustrations de cette chronique mondaine.

Né à Nantes en 1836, dans une famille de marchands de drap et de confection, Tissot décida de partir à Londres après la chute de la Commune. Son séjour outre-Manche dura onze ans, qui furent sans doute les années les plus fécondes de l'artiste. À la différence de nombre de proscrits ou d'expatriés volontaires, qui récriminaient contre leur terre d'exil, Tissot pour sa part aimait l'Angleterre et y connut la réussite. Le prénom James, qu'il s'était lui-même choisi par anglophilie, faisait qu'on le prenait souvent pour un peintre anglais. C'est si vrai que l'historien d'art Christopher Wood lui consacre une entrée aussi longue que par exemple à William Powell Frith, dans son *Dictionary of Victorian Painters* (« Dictionnaire des peintres victoriens », 1981). Tout comme Jean Béraud pour le Paris de la Belle Époque, Tissot est l'artiste de référence pour illustrer les albums sur le style, la mode, et le mobilier victoriens. Leurs peintures se focalisent sur la vie mondaine à Londres ou à Paris.

Une des mondanités que prise la haute bourgeoisie, en France comme en Angleterre, consiste à réunir chez soi un public à la fois choisi et nombreux pour des concerts, des spectacles, ou des bals. Aucun appartement cossu, aucun hôtel particulier du seizième arrondissement de

Paris, ou du West End à Londres, ne peuvent se concevoir sans un espace dédié aux réceptions ou convertible en salle de spectacle, après changement de décor comme au théâtre. Le salon bourgeois qui d'ordinaire se caractérise par une accumulation de meubles et de bibelots est pour l'occasion débarrassé de son mobilier, afin de faire place aux invités. Jean Béraud a représenté ce rite mondain à Paris, de même que James Tissot à Londres.



Fig. 6 - James Tissot, *Too Early* (1873) Guildhall Art Gallery, Londres.

Quant aux invités, il leur appartient d'observer une ponctualité de bon aloi. Le code des bonnes manières prévoit une marge de tolérance de dix à quinze minutes après l'heure indiquée sur le bristol d'invitation. Mais il va sans dire qu'on ne saurait en aucun cas devancer cet horaire. Ce serait un manque de savoir-vivre de se présenter trop tôt, une bévue bien pire que d'arriver un peu tard. Pareille maladresse fournit le thème de la toile de Tissot intitulée *Too Early* (« Trop tôt », 1873, voir fig.6). Un petit groupe d'invités, un homme d'âge mûr accompagné de trois femmes, se serrent au milieu d'une piste de danse déserte, comme des

naufragés sur une île. La maîtresse de maison en est encore à donner des consignes aux musiciens pour le programme de la soirée. Le ridicule que se donnent ces invités en arrivant trop tôt suscite l'amusement de deux servantes dont on aperçoit les visages dans la porte entrebâillée, à l'arrière-plan.

Et ce n'est pas la seule entorse à l'étiquette qu'il faut éviter de commettre. Dans un livre de souvenirs intitulé *Un voyage de désagrément à Londres* (1853), Jules Lecomte énumère à plaisir tout ce qui ne se fait pas à Londres, comme, par exemple, de « Parler à une personne à laquelle on n'a pas été présenté, quel qu'en soit le motif ; s'adresser à une *lady* sans ajouter son nom de baptême ; avoir une tache de boue à sa chaussure, même par le plus mauvais temps ; avoir des sous (*pennies*) dans sa poche ; porter des cheveux ras, un chapeau gris, des bretelles; car tout cela [dit-il] est contraire à l'étiquette ».

Dans un autre tableau sur le thème des concerts privés, Tissot a choisi l'instant où la concertiste attend patiemment que les invités finissent de prendre place et que les conversations se tarissent avant d'entamer son récital. D'où le titre que porte la toile : *Hush!* (« Chut ! », 1875). De face, au premier rang de ce public select, on remarque deux princes hindous dont la présence rappelle que la Grande-Bretagne est alors au faite de sa puissance coloniale.

Tissot ressent Londres avant tout comme un port qui à l'époque se classe au premier rang du commerce maritime mondial en termes de tonnage. Dans ses compositions situées sur les bords de la Tamise, il fait preuve d'une connaissance précise des gréments et de l'armement des navires, avec lesquels il s'était sans doute familiarisé dès sa jeunesse dans le port

de Nantes. Il peint des officiers de marine en compagnie de jeunes filles rêveuses et de jeunes femmes pensives, au milieu d'une forêt de mâts et de vergues (*The Captain and the Mate*, « Le capitaine et le second », 1871). L'attrait de ses tableaux tenait en partie aux histoires – rencontres, idylles ou séparations – que chacun pouvait broder autour des personnages, mais également au rendu méticuleux des toilettes, des tissus, des tartans, et des instruments de marine.

Tissot manifeste aussi un grand talent quand il met en scène deux 'institutions' typiquement anglaises, à savoir le cérémonial du thé et le rite du repas champêtre. Dans *Afternoon Tea* (« Thé, goûter », 1872), il montre une jeune fille toute enrubannée en train de verser de l'eau bouillante dans une théière. Dans *The Picnic* (1876), le peintre associe les deux rituels. Le parc qui sert de cadre à la scène, le service en argenterie, le cake, les casquettes à rayures des joueurs de cricket, confèrent un cachet très britannique à ce thé sur l'herbe. Mais à la différence du *Déjeuner sur l'herbe* (1863) de Manet qui avait provoqué un scandale par la présence d'une femme nue, la toile de Tissot s'attira les sarcasmes d'Oscar Wilde en

raison, selon lui, de l'aspect trop **habillé** des personnages.

Tissot offrit une autre version du pique-nique ou du goûter sur l'herbe, cette fois pour enfants, mais tout aussi collet monté que pour les adultes (*Goûter sur l'herbe*, 1881-2). La jeune femme qui figure au premier plan est Kathleen Newton, égérie du peintre. Celle-ci est non seulement la compagne du peintre mais son modèle favori. Facilement reconnaissable à sa silhouette frêle et à son expression mélancolique, on la retrouve dans les tableaux, entre autres, sur le thème du départ. Qu'elle attende le ferry (*Waiting for the Ferry*, « En attendant le ferry », 1878) ou le train (*The Departure Platform, Victoria Station*, « Le quai de départ à la gare de Victoria », 1880), Mrs Newton porte le même manteau avec pèlerine et voilette pour le voyage, et au premier plan, sur le diable du porteur, on reconnaît son châle préféré à carreaux rouges. Et, sage précaution en Angleterre, elle emporte ses parapluies.

La composition la plus ambitieuse et la plus aboutie reste probablement *The Ball on Shipboard* (« Le bal sur un bateau », 1874, voir fig.7), qui retrace un événement mondain sur le pont d'un navire. Comme toujours Tissot y dépeint avec

brio les toilettes féminines. On peut certes s'étonner que plusieurs jeunes femmes portent la même robe. Mais ceci est à rapprocher des journaux de mode qui présentent les robes de face, de dos, et de trois-quarts. La démultiplication des points de vue sur les guimpes, les vertugadins et les falbalas, fait ressortir par contraste l'aspect banal des personnages masculins et la fadeur de leurs costumes. Malgré les couleurs vives des pavillons et l'éclat des toilettes féminines, il se

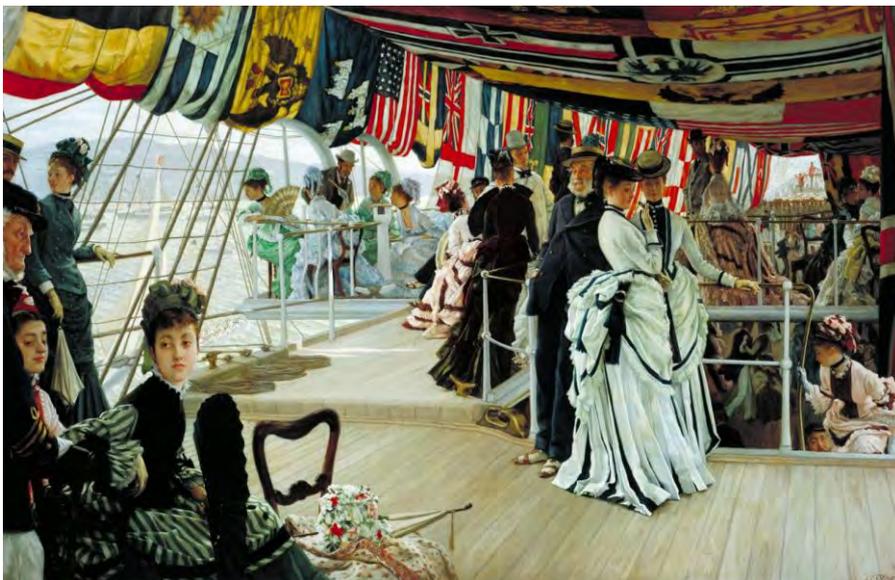


Fig. 7 - James Tissot, *The Ball on Shipboard* (1876) Tate Gallery, Londres

dégage une forme de désenchantement des visages et du décor. Le personnage féminin au premier plan tourne son regard vers nous, comme dans l'attente de nouveaux arrivants pour échapper à l'isolement et à l'ennui.

La vogue que connaît Tissot en Angleterre ne garantit pas un accueil favorable à toutes ses toiles. Ainsi le tableau *The Thames* (« La Tamise ») suscite de sévères critiques lors de son exposition à la Royal Academy, en 1876. La présence de **deux** femmes au côté de l'incontournable officier de marine suffit à en faire une œuvre « d'inspiration douteuse », selon le *Times*. Le *Spectator*, autre journal de référence, tient les deux femmes pour des Parisiennes, ce qui, faut-il croire, revient à les soupçonner de mœurs légères. Le *Graphic* est encore plus explicite et trouve le tableau « plein de sous-entendus à peine décents. Plus français, en somme, que britannique ».

Tissot récidive avec *Portsmouth Dockyard* (« Les docks de Portsmouth », c.1877). On peut noter quelques variantes par rapport au tableau précédent : un grenadier, à la place de l'officier de marine, et le *Victory*, navire de l'amiral Nelson, à l'arrière-plan, qui évoquent l'un Waterloo et l'autre Trafalgar. Leur introduction vise à créer les conditions d'un meilleur accueil pour cette œuvre que celui réservé à « La Tamise » par la critique et le public anglais. Mais l'intention de l'artiste reste la même, comme l'indique le titre de la gravure qu'il a tirée de cette toile. La gravure s'intitule « Entre les deux mon cœur balance ».

On retrouve le même trio dans *The Gallery of HMS Calcutta* (« Le pont promenade sur le HMS Calcutta », 1876). Il s'agit d'une scène de séduction : un officier du bord tente d'engager la conversation avec une jeune fille qui se cache le visage derrière son éventail. À cela rien de répréhensible, même aux yeux de la très pointilleuse morale victorienne, car un chaperon s'interpose entre les jeunes gens. Mais la chaise au premier plan ne masque pas les formes

rebondies de la jeune personne, bien au contraire. Les courbes des meubles et des superstructures du navire viennent en rappeler le galbe. Sans parler du jeu de mots auquel se prête en français le nom du navire « Calcutta », et qui relève pour le moins de la grivoiserie. Aux yeux des critiques d'art anglais, ce tableau apparaissait racoleur sous son vernis *glamour*, et son titre particulièrement de mauvais goût l'année, 1877, où la reine Victoria était officiellement proclamée impératrice des Indes.

Un trio, à nouveau, mais cette fois composé d'une femme et de deux hommes, que Tissot représente au retour d'une promenade en canot sur la Tamise (*On the Thames*, 1874). À noter ici encore l'extrême élégance de la jeune femme qui tranche avec la tenue, disons plus *sportswear* de ses chevaliers servants. On dirait une ondine habillée par le grand couturier Worth, flanquée de deux faire-valoir mal fagotés avec leurs gilets de flanelle et leurs toques de bagnards.

Sans atteindre la stature d'un Manet ou d'un Degas, dont il a été un proche ami, Tissot fait avec brio la chronique de la vie mondaine. Son œuvre offre une mine de renseignements sur la mode et les mœurs à l'époque victorienne, ce qui du reste n'inspire que dédain au critique d'art John Ruskin, pour qui les tableaux de cet artiste français sont « *mere colour photographs of vulgar society* », c'est-à-dire de « simples photographies en couleurs de la société vulgaire ». De fait Tissot a centré son intérêt sur les mondanités de la bourgeoisie aisée, de la *gentry*, pendant son exil outre-Manche. Les ouvriers et les paysans demeurent absents des scènes de genre de sa période anglaise. Ils ne sont pas davantage présents dans les tableaux bibliques auxquels il a consacré le reste de sa vie, après son retour en France.

Quid des peintres britanniques eux-mêmes ? Quelle place ont-ils accordée aux classes laborieuses et quel regard ont-ils porté sur elles, pendant la période qui nous intéresse ici ?

3 – Aperçu des classes laborieuses

Tout comme les terrassiers dans *Work*, un groupe de forgerons en train de marteler du métal en fusion forme le pivot de la peinture murale de William Bell Scott, intitulée *Iron and Coal* (« Fer et charbon », 1861). La scène se situe sur les bords de la Tyne. L'ouvrier le plus en vue n'est autre que Sir C.E. Trevelyan, commanditaire du tableau. Le dessin industriel au premier plan à droite représente la machine à vapeur de Stephenson. La petite fille sur la gauche tient à la main un livre d'école et le repas qu'elle a apporté à son père. Ce qui sous-entend qu'un bon travailleur est aussi un bon père, dont les enfants sont bien habillés, bien nourris et bien élevés. J'y reviendrai.

La peinture victorienne intègre rarement le travail manuel, hormis celui de terrassier ou de forgeron, et pour les femmes, celui de couturière. Il n'y a guère que la couturière qui soit représentée avec ses instruments et sur son lieu de travail, à savoir le plus souvent à domicile. On considère les travaux d'aiguille comme une activité compatible avec la féminité, car il va de soi, à l'époque, qu'une femme sait coudre et le plus souvent broder. Mais celle qui exerce la couture par nécessité et s'échine de longues heures pour un salaire de misère inspire des tableaux pleins de pathos comme *The Song of the Shirt* (« Le chant de la chemise », 1844) d'Anna Blunden, ou *The Sempstress* (« La couturière », 1846) de Richard Redgrave. En résumé la frêle couturière en chambre suscite l'apitoiement bien plus que l'ouvrière qui trime dans une filature de coton, que la trieuse de minerai toute barbouillée de charbon, ou même que l'adolescente qui tracte des wagonnets dans les puits de mine (*P.P.*, 1842).

Autres absents de la peinture victorienne, les domestiques qui sont très peu souvent représentés. Autres absentes, devrais-je dire, car sur le million d'employés de maison que compte l'Angleterre, dans les années 1850, les neuf-

dixièmes sont des femmes. Les domestiques font partie du décor et du train de vie d'une maison bourgeoise. Ils servent d'indices permettant de situer le statut social, le standing, des personnages principaux qui figurent sur la toile. Comme Hogarth au siècle précédent, W.P. Frith est un des rares artistes à avoir consacré un portrait à une servante (*Sherry, Sir ?* 1853), particulièrement accorte au demeurant.

Dans le choix et le traitement des sujets de leurs tableaux, le souci des artistes est de répondre aux attentes de leurs commanditaires. Le luxe de détails qu'ils introduisent dans leurs compositions vise à valoriser le travail de l'artiste aux yeux de la clientèle qui achète leurs toiles. Mais par un rendu méticuleux du plus petit accessoire ils détournent l'attention de l'essentiel. Par exemple dans son tableau *The Stone-breaker* (« Le casseur de pierres », 1857-1858), John Brett s'attache à reproduire avec une scrupuleuse exactitude la borne milliaire indiquant la distance de Londres, le tas de silex, les buissons environnants, le paysage de Box Hill, comme pour éviter de s'appesantir sur la vacuité de la besogne du casseur de cailloux. Tâche qui s'apparente à une punition puisqu'on l'impose aux bagnards, aux indigents, et aux sans-abris pour prix d'une nuitée dans un *workhouse* (asile des pauvres). Le souci quasi obsessionnel du détail évite de se poser certaines questions pertinentes mais épineuses. On dirait que Brett se réfugie dans les brins d'herbe, les feuilles, les branches, pour ne pas voir la forêt. Le teint rose et l'aspect juvénile du personnage, les jeux du chien qui folâtre au premier plan, les oiseaux et le clocher dans le lointain, tout cela contribue à adoucir, à diluer la scène dans le pittoresque. Atténuée par des teintes pastel, la scène n'a rien de commun, si ce n'est son sujet, avec *Les casseurs de pierres* (1849) de Gustave Courbet.

Chaque fois que les imagiers, peintres ou dessinateurs, évoquent les laideurs ou les laissés-pour-compte de la Révolution industrielle, il se trouve des critiques d'art pour leur rappeler qu'ils

doivent fournir de la réalité une image édulcorée. Passe encore que Luke Fildes publie dans *Graphic* une gravure représentant une file de miséreux qui attendent d'être admis dans un asile de nuit (*Houseless and Hungry*, « Sans-abri et le ventre creux », 1869). Mais quand Fildes expose à la Royal Academy le tableau (*Applicants for admission to a casual ward*, « La queue à l'asile de nuit », 1874) qu'il a tiré de sa gravure, l'artiste se voit reprocher l'impardonnable faute de goût d'avoir pris pour sujet la misère au lieu de la beauté. De fait on retrouve les mêmes personnages sur la toile : la



Fig. 8 - J.C.Hook, *From under the Sea* (1864) Manchester City Art Gallery

veuve et ses enfants, les vagabonds, l'ivrogne invétéré, le chômeur à la rue avec sa famille, l'invalidé de guerre, etc.

Chez les peintres du reste peu nombreux à avoir représenté le monde de l'industrie, l'usine apparaît comme un bâtiment sinistre qui est vu

du dehors et de loin, sous un éclairage blafard. C'est le cas dans le tableau intitulé « *Les filatures de coton Arkwright* » (1789c.), que l'on doit à Joseph Wright of Derby, un des premiers, sinon le premier peintre professionnel à s'être intéressé au monde industriel. De même, à l'époque victorienne, les hommes et les femmes qui s'activent dans les mines et les usines sont dépeints le plus souvent **en dehors** du lieu et des heures de travail, pendant leurs moments de pause ou de loisir. Ainsi Henry Perlee Parker montre les mineurs de Newcastle, non pas en train d'abattre le minerai, ni de pousser les wagonnets remplis de charbon, mais absorbés par une partie de jeu aux palets (*Pitmen Playing at Quoits*, 1840).

Dans *From under the Sea* (« Au sortir de sous la mer », 1864, voir fig.8), James Clarke Hook a également saisi le mineur après sa journée de travail. La scène a pour décor une mine d'étain dans les falaises de Cornouailles. Le mineur est accueilli par sa femme et ses deux enfants sur la rampe du puits oblique de Boscawen, percé à la fin des années 1850. Instant de retrouvailles familiales qui escamotent les risques et la dureté des métiers de la mine. Pourtant à cet endroit même, la rupture de la chaîne de halage a causé la mort de dix occupants d'une benne, en avril 1863, juste un an avant que ne soit exposée cette toile.

De même, on peut noter qu'Eyre Crowe a choisi la pause du déjeuner pour représenter des ouvrières d'usine, dans son tableau *The Dinner Hour, Wigan* (« L'heure du déjeuner », 1874, voir fig.9). La scène qu'il a située **à l'extérieur** de l'entreprise, rassemble une vingtaine d'ouvrières. L'une d'entre elles est plongée dans la lecture d'une lettre. L'heure est aux bavardages et au délassement. Les galoches et les vêtements qu'elles portent, les filets qui enserrant leurs cheveux, à cause des risques d'accident, et bien



Fig. 9 - Eyre Crowe, *The Dinner Hour Wigan* (1874) Manchester City Art Gallery

sûr, au second plan, les bâtiments aux hautes cheminées, rappellent qu'elles travaillent en usine. Mais rien ne laisse deviner la dureté de leur labeur, à raison de 70 heures par semaine dans les filatures de coton de Wigan. Aucun signe de fatigue ne vient altérer la fraîcheur des visages, ni déformer le corps gracile de ces ouvrières. Il est vrai que toutes paraissent jeunes et qu'elles ont pu se restaurer après cette demi-journée de travail. Une cantinière à gauche au premier plan leur a apporté de quoi se désaltérer dans des bidons.

Alentour, les murs et les rues sont exempts de la moindre souillure : aucun détritrus par terre, pas même un trognon de pomme. La marchande de fruits assise au pied du Il faut attendre les années 1880 pour que des artistes comme Hubert von Herkomer évoquent les errances des ouvriers agricoles en quête d'un emploi pendant la crise prolongée que traverse l'agriculture anglaise (*Hard Times*, « Les temps difficiles », 1885). Ou le sort pas plus enviable des grévistes qui s'engagent dans des conflits sociaux aussi durs que la grève des dockers de 1889. Dans *On Strike* (1891, voir

fig.10), Herkomer fait le portrait du gréviste qu'il dépeint comme un homme déchiré entre la solidarité envers ses camarades de lutte et le devoir d'assurer la subsistance de sa famille. À la différence de la fillette du forgeron dans *Iron and Coal*, les enfants du gréviste ont faim. Le bambin que la mère tient dans les bras serre sa cuillère dans la main comme pour réclamer de la bouillie. C'est le genre de détails qui risquent de mettre mal à l'aise les acheteurs potentiels d'un tel

tableau, et de jurer, de détonner dans un intérieur bourgeois.

Les riches amateurs d'œuvres d'art acceptent de s'attendrir sur le sort de la couturière, de la fleuriste ou de la lingère, mais repoussent l'image sans apprêt de la misère dont leur réussite personnelle les a mis à l'abri. On peut à la rigueur refermer un livre, ou sauter certains passages, mais à quoi bon acheter une toile qu'il serait déplaisant d'accrocher dans la chambre ou le salon. D'autant qu'on n'a jamais tant dépensé pour les tableaux que sous le règne de Victoria.

La peinture, singulièrement à l'époque victorienne, est une question de standing autant que de goût. Elle est cotée comme les actions en Bourse et ceux qui en font commerce sont souvent des investisseurs avisés. Ainsi le marchand d'art Louis Flatow achète *The Railway Station* de Frith pour un prix record de plus de 5000 £, mais il va gagner le quintuple en droits de reproduction et de gravure de cette scène de gare. Nombre de tableaux achetés par des firmes commerciales sont également recyclés en affiches

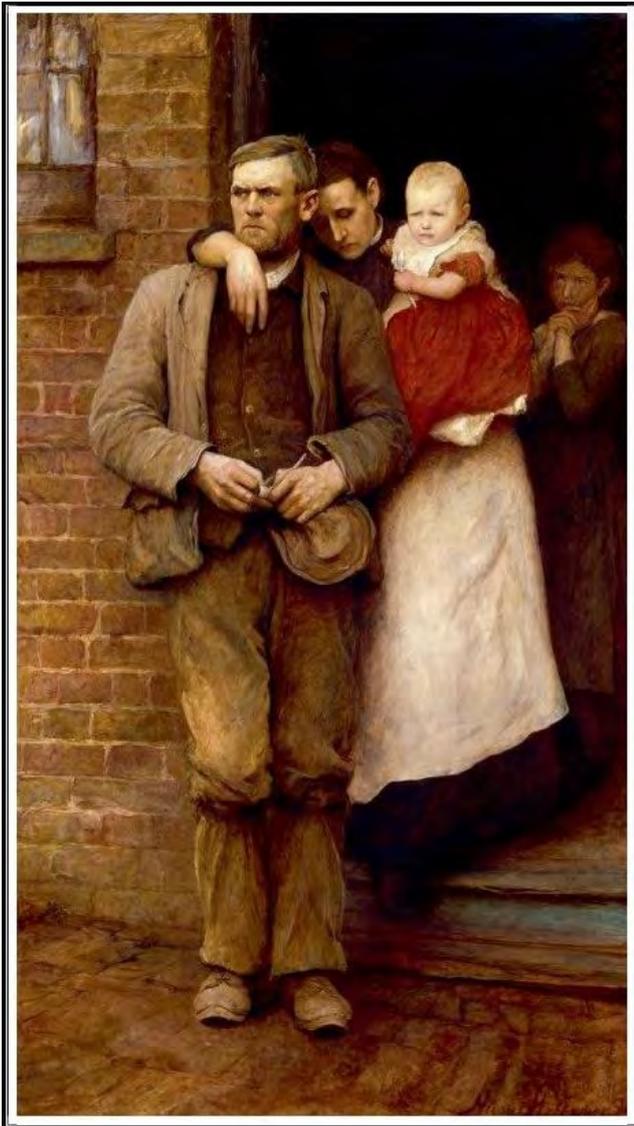


Fig. 10 - H. von Herkomer, *On Strike* (1885) Manchester City Art Gallery.

ou réclames pour faire la promotion de whiskies, de savonnettes, de biscuits ou de pastilles contre la toux. Surtout de savonnettes. Les fabricants de savon et de parfum ont du nez, du flair, pour détecter les œuvres picturales qui se prêtent à des actions publicitaires. C'est le cas du garçonnet en costume vert qui s'amuse à faire des bulles de savon dans le tableau de John Everett Millais baptisé *Bubbles* (« Bulles de savon », 1885-1886). Le thème n'est pas original : il a été traité auparavant, entre autres, par Chardin et Manet (*Les bulles de savon*, 1867). Mais il a suffi à la marque de savon Pears qui s'était portée acquéreur de la

toile de Millais, d'ajouter son nom en haut du tableau pour le transformer en réclame.

Les affiches qui sont placardées sur les murs de la capitale, on les retrouve dans les lieux publics comme les gares et dans les moyens de transport en commun. Au-dessus des passagers d'un omnibus londonien, George William Joy a représenté quelques réclames dont une justement pour le savon Pears (*The Bayswater Omnibus*, « L'omnibus de Bayswater », 1895). Notons que les passagers de l'omnibus ne se prêtent mutuellement aucune attention, sauf la jeune élégante, au centre du tableau, qui semble émue par l'apparente détresse de la femme et de sa fillette assises à côté d'elle. Le gentleman en revanche est trop absorbé par la lecture du *Times* pour s'intéresser aux gens qui l'entourent. Une nurse et une modiste complètent la brochette de personnages.

Comme on pouvait également s'y attendre le portrait de la servante intitulé *Sherry, Sir ?* fut repris par une marque de sherry pour sa publicité et ses étiquettes. Parfois la reconversion de l'œuvre, pour ne pas dire son détournement, s'opère contre l'avis du peintre. Ainsi, en 1889, éclate une polémique entre W.P.Frith et l'acquéreur de sa toile intitulée *New Frock* (« La nouvelle robe »). Il s'agit à nouveau d'un fabricant de savon, W.H.Lever, qui a décidé de se servir du tableau comme réclame après l'avoir rebaptisé *So Clean* (« Si propre »). Si la fillette est fière de montrer sa robe, de l'afficher, ce n'est plus parce que sa robe est neuve, mais parce qu'elle est propre après lavage !

La publicité pour le savon peut également emprunter à la caricature. C'est le cas par exemple avec un dessin de Harry Furniss (*Punch*, 26-4-1884) qui fait la satire des réclames pour cosmétiques. Réclames où l'on voit une femme séduisante, par exemple Lilly Langtry, faire la promotion pour le savon qui lui donne un teint éclatant. Le caricaturiste a substitué à la reine de beauté, un pochard visiblement peu enclin aux

ablutions, et lui fait dire : « J'ai utilisé votre savon voilà deux ans. Depuis je n'en ai pas utilisé d'autre ! » (Voir fig.11). Le dessin fut racheté par Pears et transformé en affiche. Ainsi la marque de savon retournait à son avantage la parodie de ses propres réclames. Preuve que la publicité sait faire feu de tout bois.



Fig. 11 - Caricature de Harry Furniss (*Punch*, 26-04-1884) transformée en réclame

À l'époque victorienne, les Beaux-Arts, en premier lieu la peinture, ont bénéficié des retombées d'une économie florissante. Amateurs et marchands d'art ont consacré des dépenses somptuaires à l'achat de tableaux. Tableaux parmi lesquels ceux qui foisonnent de détails et de personnages sont les plus prisés, car ils représentent un grand investissement en temps et en études préparatoires de la part des artistes. On dénombre pas moins de **88** personnages dans le *Derby Day*, ne serait-ce qu'au premier plan du

tableau. Les membres de la bourgeoisie d'affaires, les capitaines d'industrie, les armateurs qui forment la clientèle des peintres ont ainsi le sentiment d'en avoir pour leur argent.

Les peintres à succès de l'époque ont su conformer leur art aux attentes de leurs commanditaires, soit par calcul, soit parce qu'ils étaient naturellement en phase avec les goûts de leurs clients. D'où la valeur documentaire de leurs tableaux qui reflètent la mentalité, le style de vie, la mode et les distractions des élites de leur temps. La peinture victorienne est représentative d'une société imbuë d'elle-même et prête à renier tout portrait qu'elle juge peu flatteur. Ce qui explique sans doute le désintéret des artistes pour le monde usinier, dans un pays qui a pourtant vu naître la Révolution industrielle. *A contrario* l'accent qu'ils mettent sur la marine, le commerce et l'empire colonial de la Grande-Bretagne qui ont atteint leur apogée sous le règne de Victoria et nourri la fierté des Victoriens.

Remerciements

Je remercie vivement mes consœurs, Mesdames Claude Baconnet et Françoise L'Homer, pour leur relecture, minutieuse et très utile, du texte de cette communication.

Jean-Pierre Navailles

**Professeur honoraire
Membre titulaire de l'Académie**

Communication du jeudi 3 mai 2018

Le golf : des landes d'Écosse au golf moderne

La Ryder Cup en France en 2018, un événement mondial

Philippe Baguenault de Puchesse

Résumé

La *Ryder Cup* fût à l'origine le match de golf entre les 12 meilleurs joueurs de golf anglais et américains. Depuis 1979, les anglais ont accepté de sélectionner dans leur équipe les meilleurs joueurs européens.

Cette rencontre a lieu tous les 2 ans, alternativement en Europe et aux États unis. Cette épreuve est très populaire, elle est suivie à la télévision dans le monde entier.

Pour la première fois, la France accueillera cet événement au Golf National à Saint-Quentin-en-Yvelines. Ce « stade » de golf construit spécialement pour ce genre d'épreuve devrait permettre au nombreux public de suivre confortablement les rencontres. Plusieurs mois à l'avance, toutes les places sont déjà vendues à des passionnés venus du monde entier.

Abstract

The Ryder Cup was originally the golf match between the 12 best English and American golfers. Since 1979, the English have accepted to select in their team the best European players.

This meeting takes place every 2 years, alternately in Europe and the United States. This test is very popular, it is followed on television worldwide.

For the first time, France will host this event at the Golf National in Saint-Quentin-en-Yvelines. This "stadium" of golf built especially for this kind of event should allow many people to follow the meetings in fine conditions. Several months in advance, all places are already sold to enthusiasts from around the world.



Devant cette très docte assemblée, je vais vous faire une présentation d'une épreuve sportive, la *Ryder Cup*. C'est vraisemblablement la première fois qu'un tel sujet est abordé dans ce lieu.

Mais, c'est peut-être assez logique car le golf se pratique sur un superbe gazon et on nous surnomme « les fines herbes ». Mon ami et parrain Pierre Bonnaire est Président de la section « agriculture ». Il succède ainsi à l'un de mes ancêtres Baguenault de Viéville qui fut également Président de cette Académie. Or il faut avoir de très solides connaissances dans le domaine agricole pour entretenir parfaitement un terrain de golf.

Historique du golf

L'origine du golf est très ancienne : Certains pensent que sous l'empire romain, un jeu appelé « *panagica* » serait la 1^{ère} base. Ce jeu a été repris en Angleterre sous le nom de « *Cambuca* » consistant à frapper une balle en bois avec un bâton.

Au moyen âge, en France, se pratiquait jeu du mail qui reprenait les mêmes principes. Un jeu similaire est trouvé dans un ouvrage chinois du 11^e siècle.

En Hollande, au 13^e siècle, se pratiquait un jeu appelé « *colf* » consistant à envoyer une balle avec une canne vers un objectif. En 1360, les autorités de Bruxelles (déjà) dressent des amendes aux personnes pratiquant ce jeu dans la cité, car il n'y avait pas de parcours.

La première notion de parcours est mentionnée en 1483 à Haarlem (Pays-Bas) et on parle déjà de tonte de l'herbe.

Finalement, c'est sur la côte est de l'Ecosse qu'apparaît le golf moderne, probablement apporté par les marins hollandais. Le golf est alors pratiqué sur les landes du bord de mer et devient rapidement en vogue. **A tel point qu'un roi d'Ecosse a fait interdire ce jeu à ces archers, car ils passaient beaucoup**

de temps à ce jeu et négligeaient de s'entraîner au tir à l'arc. C'est également l'origine des « *bunkers* », ces cuvettes de sable que nous trouvons sur tous les parcours. Au départ, ils étaient creusés par les moutons qui cherchaient à se mettre à l'abri du vent. Ils étaient alors profonds et peu étendus, ce que nous trouvons toujours sur les parcours écossais.

On en trouve de nombreuses traces dans les documents, comme le Traité de Glasgow en 1501.

Le premier fabricant de clubs voit le jour à Saint Andrews en 1627. Les premiers parcours sont alors créés dans cette région.

En 1744 l'« Honourable Company of Edimburg golfers » rédige une dizaine de règles de golf et dix ans plus tard, le « Royal et Ancient Golf Club of Saint Andrews » édictent les premières règles officielles au nombre de 13.

Comme on l'appelle communément, le « Royal et Ancient » continue à édicter les règles de golf, avec une nouvelle mise à jour tous les 4 ans. Un certain nombre de commissions propose ces mises à jour qui sont validées par le Comité qui siège dans le Club House de Saint Andrews, Saint des Saints, ou ne peuvent pénétrer que les membres, tous masculins.

Il y a quelques années, Claude Cartier, Président de la FFG, ne pouvant se rendre personnellement à cette réunion, avait délégué Lally de Saint Sauveur, Vice-Présidente de la FFG et première française à avoir remportée le Championnat de Grande Bretagne Amateur. L'entrée du Club House lui fut refusée car elle était une femme. Suite à l'intervention de la FFG, elle fut admise à entrer dans ce haut lieu comme étant « le représentant de la FFG ».

Depuis peu, avec l'évolution de mœurs, quelques femmes ont été admises comme membre du R&A.

C'est à cette époque que le nombre de trous d'un parcours standard fut fixé à 18. En réalité, il y avait 9 trous qu'on faisait dans un sens

puis dans l'autre. Il est d'ailleurs resté l'expression d'aller pour les 9 premiers trous (Out en anglais) et de retour pour les 9 derniers (In). Nous y reviendrons plus tard.

Au milieu du 19^e siècle, le golf s'est internationalisé. Souvent le fait d'officier écossais en poste à l'étranger, de nouveaux parcours sont construits, en Virginie (USA) 1779, Calcutta en 1829, Bombay 1842, en Australie 1851. **Le premier golf d'Europe continental se trouve à Pau, construit en 1856.**

Les balles, qui étaient composées de plumes tassées et enfermées dans une coque de peau, s'abîmaient très rapidement. Vers 1850, elles ont été fabriquées en caoutchouc (Gutta-percha) Puis, vers 1870, sont apparues les alvéoles qui ont transformé l'aérodynamisme.

Les clubs, en bois (Hêtres, pommiers et épineux), sont améliorés avec la mise en place d'un « grip », pour une meilleure préhension, et la pose d'une plaque dure et résistante au point d'impact de la balle.

L'Angleterre construisit ses premiers links (golf de bord de mer) et inlands (golf à l'intérieur des terres) comme Wimbledon ou Liverpool.

La pratique du golf devient alors un marqueur social très important dans le monde anglo-saxon.

Les premières compétitions voient le jour, en particulier l'Open britannique qui se joue pour la première fois en 1860. Les anglais, toujours modeste, l'appelle « *The Open* » comme s'il était le seul à exister. Il se joue chaque année au début du mois de juillet sur un parcours différent, soit en Ecosse, soit en Angleterre. Il se jouera à Carnoustie, proche de Dundee bien connu des rotariens orléanais.

Dans la première moitié du 20^{ème} siècle, le golf s'est alors beaucoup développé partout, et en particulier aux Etats Unis où c'est devenu un sport majeur. **Il s'est alors beaucoup démocratisé.**

Dans les années 50, un ami de mon père, **Robert Milliat**, fabriquant des pâtes Milliat

Frères, s'était rendu aux Etats Unis pour voir l'évolution de son métier outre atlantique. Lors d'une visite d'usine, l'industriel américain lui demanda s'il jouait au golf. Dans la cour de son usine, il commença une démonstration de son swing de golf. Un cariste qui passait, arrêta son engin, regarda la scène et dit : « C'est un très bon patron, mais n'écoutez pas ses conseils de golf, car il n'y connaît rien ».

Beaucoup de pays ont investi dans des parcours pour développer le tourisme, comme, près de nous l'Espagne et le Maroc.

En 1970, il y avait 25.000 licenciés en France. Pierre Etienne Guyot, Président de la FFG, a eu comme premier objectif de passer à 50.000 licenciés. Cela nous avait paru énorme, mais l'objectif fut assez rapidement atteint.

Aujourd'hui, on compte plus de 62 millions de golfeurs dans le monde ce qui en fait le sport individuel le plus pratiqué dans le monde.

Il y a 7 millions de golfeurs en Europe ; 1.2 millions En Grande Bretagne, 650.000 en Allemagne, 500.000 en Suède, 420.000 en France

En Chine, c'est devenu un phénomène de mode. Depuis 2010, il s'est construit 600 parcours, dont 60 autour de Pékin

Au Japon, par manque de place, il y a relativement peu de parcours, mais des pratiques gigantesques sur plusieurs étages.

Ce sport est pratiqué sur tous les continents, il est devenu universel

Comment joue-t-on au golf ?

• Principe du jeu

Le jeu consiste à frapper dans une balle, avec un club (ou cane), et de l'envoyer depuis une aire de départ jusque dans un trou en le plus petit nombre de coup possible.

Au départ, la balle doit être posé à l'intérieur d'un rectangle dont le côté avant est marquée par 2 plots, et les côtés latéraux ont une longueur égale à la taille maximale de 2 clubs, soit

environ 2.50 mètres. Elle peut être posée sur un petit socle appelé tee.

Après le coup de départ, la balle se joue toujours là où elle se trouve, sans que le joueur ne puisse améliorer sa position ni les environnements proches.

Le trou se trouve placé dans une surface tonduée très ras, appelé green, mais qui a souvent une surface peu plane.

Le trou a un diamètre de 10.8cm (4.25 inch) et une profondeur de 10,16cm minimum.

Entre le départ et le green, il y a le parcours composé de : Une surface tonduée assez ras, appelé **fairway**, une tonduée moins ras, bordant le fairway, appelé pré-rough, et une partie peu ou pas entretenue appelé **rough**. Sur tous le parcours, on peut trouver des obstacles de sable ou d'eau. Les obstacles de sable sont appelés bunkers. Lorsque la balle se trouve dans un obstacle, le joueur n'a pas le droit de toucher l'obstacle avant de jouer son coup.

La longueur des trous varie de 80 mètres à 600m environ

Pour chaque trou, suivant sa longueur, il est indiqué le **score « idéal »** que devrait faire un bon joueur, appelé le « **par** ».

Un trou de longueur maximale de 235m est un par 3. On considère que le bon joueur doit mettre sa balle sur le green depuis le départ, puis on lui accorde 2 coups pour rentrer la balle dans le trou. Entre 236 mètres et 440 mètres, le trou sera un par 4 et, au-delà, un par 5.

Un parcours de 18 trous est souvent composé de 4 par 5, 10 par 4 et 4 par 3.

Soit un par total de 72, appelé également SSS, scratch score standard.

Sur un trou, si le joueur réalise le par, c'est bien.

S'il fait 1 coup de moins, c'est mieux : on dit qu'il a fait un **birdie** (petit oiseau)

S'il fait 2 coups de moins, c'est encore mieux : on dit qu'il a fait un **eagle** (aigle)

S'il fait 3 coups de moins, c'est extraordinaire : on dit qu'il a fait un **albatros**

S'il fait 1 coup de plus, c'est moins bien : on dit qu'il a fait un **bogey**

S'il fait 2 coups de plus, c'est encore moins bien : on dit qu'il a fait un double bogey

S'il fait 3 coups de plus, c'est encore moins bien : on dit qu'il a fait un triple bogey

Les joueurs amateurs ont le droit d'avoir un handicap. **Lorsque vous avez un handicap de 18, vous aurez le « droit » de jouer 18 coups de plus que le par, soit, par exemple 72+18 = 90.**

Mais, comme vous pouvez l'imaginer, la longueur du trou n'est pas le seul paramètre de la difficulté rencontrée : les arbres, les obstacles, la largeur du fairway, la pente des greens peuvent influencer grandement. Il a été créé le « slope » (la pente) qui modifie le handicap du joueur en plus ou en moins. Par exemple, avec un handicap de 18, on bénéficiera de 20 points si le parcours est difficile ou de 15 s'il est facile. Tous les parcours ont été homologués et un abaque permet de connaître, suivant son handicap, le nombre de coups auquel il a « droit »

Toutes les compétitions professionnelles se jouent en « scratch », c'est-à-dire sans handicap.

- Le matériel

Chaque joueur à droit à 14 clubs (canes) pour jouer son parcours. Il existe 4 sortes de clubs

1. Le **putter** dont la face est verticale permet de faire rouler la balle sur les greens.

Les **fers**, dont la tête est métallique, permet de faire des coups de longueur moyenne ou courte suivant l'inclinaison (loft) de la tête et la longueur du manche (Shaft). Les fers sont numérotés de 1 à 9, le 1 a une inclinaison d'une dizaine de degré et permet de donner à la balle une trajectoire basse et longue.

Le 9 à un manche court et une inclinaison importante (40°env.) pour une trajectoire en « cloche », haute, courte et la balle roulera très peu sur le sol.

Les *wedges* qui ont une ouverture de 50 à 62° permettent de sortir des obstacles et de sauter les bunkers ou les arbres

Un jeune joueur américain, Bryson de Chambeau, qui est très grand, s'est fait fabriquer de fers ayant tous la même longueur. Il a essayé de lancer

cette « mode ». Je n'en vois que peu d'intérêt.

La surface de contact entre le club et la balle est striée horizontalement ce qui permet de donner un effet à la balle, en particulier l'effet rétro (back spin).

Vous pouvez voir qu'avec des fers ouverts, la balle s'arrête au 1^{er} ou 2^{ème} rebond, elle peut même revenir en arrière

2. **Les bois**, dont la tête était en bois et qui est maintenant en matières

Synthétiques. Leurs manches sont longs et permettent d'effectuer des coups longs, en particulier depuis le départ. La surface de contact avec la balle permet un effet « trampoline ». Ils sont également numérotés : Le 1 appelé driver est utilisé au départ quand on veut aller le plus loin possible. Sa face est inclinée à 10° env. Puis le bois 2 (brassie) qui est un peu plus léger.

Le bois 3 (spoon) est beaucoup utilisé sur le parcours, donc sans tee, pour les coups très long

Le bois 5 permet de sortir plus facilement des pré-rough.

3. Les **hybrides** ont la forme de bois mais la tête est métallique. Ils tendent à remplacer les fers très fermés (1 à 3) car ils sont plus faciles à jouer.

Les manches de tous ces clubs étaient, jusque dans les années 80, fabriqués en métal. Aujourd'hui, ils sont principalement en graphite (fibre de verre) qui leur donnent plus de souplesse et un effet « fouet » qui permet d'aller plus loin.

Les professionnels, en majorité, gardent des *shafts* métalliques, plus durs (*stiff*) et rigides, leur permettant une plus grande précision.

4. Les **balles** étaient composées d'un noyau dur entouré de caoutchouc tressé, entouré d'une coque. Les derniers progrès permettent d'avoir une balle alliant souplesse, permettant de donner des effets, et réactivité pour une plus grande distance.

En 1920, le R&A donne les règles de la balle « anglaise » : Poids maxi 1.62oz (45.93g) diamètre mini 1.62inch. Dans les pays chauds, l'herbe principale des golfs est le kikouyou qui a de gros brins. La balle anglaise à tendance à s'enfoncer dans cette herbe et les américains ont utilisés une balle plus grosse : 1.68inch en gardant le même poids. Après un temps de cohabitation, cette balle « américaine » est devenue universelle en 1970.

5. Les **chaussures**, souples car on marche beaucoup, on des crampons pour que les pieds ne glissent pas sur le sol humide pendant l'exécution d'un coup. Ces crampons étaient des clous métalliques, aujourd'hui interdit car ils abimaient les *green* et étaient très glissant sur un sol dur. Ils ont été remplacés par des clous en plastique et maintenant par des semelles spéciales qui ne glissent pas sur l'herbe.

6. **Les gants** : Presque tous les joueurs portent un gant à la main gauche, pour les droitiers. Ce gant permet une meilleure préhension du club, surtout lorsqu'il pleut. Ces gants, qui étaient en cuir très fin, sont maintenant en matière de synthèse. Vous remarquerez que beaucoup de joueurs enlèvent leur gant pour putter. Ils ont l'impression d'avoir un meilleur « touché » de balle ! Je suis dubitatif.

7. **Les carnets de parcours** Indiquent les distances, les obstacles et la forme des green. Le « spécial green » va être interdit. Ces carnets

sont complétés par les joueurs et leur caddy lors des parties d'entraînement.

8. **La tenue vestimentaire doit être correcte.** Cela fait partie de ce qu'on appelle au golf « l'étiquette ». Rien n'est précisé dans les règles et chaque club a ses habitudes. Certains joueurs ont leur couleur fétiche. **Tiger Woods**, dont je vous reparlerai, joue toujours le dernier tour des compétitions avec un polo rouge bordeaux, couleur porte bonheur en Thaïlande, pays de sa mère. **Ricky Fowler**, jeune américain de talent, joue en jaune orangé, ce qui se voit de loin.



Fig. 1 - **Ricky Fowler**

Formes de jeu. Vous savez que le but du jeu est de rentrer la balle dans le trou en faisant le plus petit nombre de coup.

Il y a 2 types de partie de golf :

La partie par coup (Médal Play) : On totalise le nombre de coup effectué par chaque joueur pendant la partie. Le gagnant est celui qui a joué le plus petit nombre de coup. Ce type de parties peut être joué par autant de joueurs que l'on veut.

On joue en général une partie sur 18 trous.

On départage ceux qui ont le même score sur les 9 derniers trous, puis les 6, les 3 et le dernier trou.

Les professionnels jouent sur 4 fois 18 trous sauf les séniors (+ de 50ans) qui jouent sur 3 tours (3x18trous).

Chez les pro, après 2 tours, il y a un cut ; Ne continuent à jouer que les 60 premiers et ex aequo. Le 3ème tour s'appelle le « *moving day* », les pros n'ont plus alors plus la hantise du *cut*, et ils prennent tous les risques pour essayer de gagner. On peut voir des scores très bas.

Si après 72 trous, le meilleur score est partagé par plusieurs joueurs, on procède alors à un play off : c'est-à-dire qu'on refait jouer un ou plusieurs trous à tous les joueurs. En général, ce *play off* est joué en « *Sudden death* » (Mort subite).

La partie par trou (Match Play) : le match se joue un contre 1. A chaque trou, le joueur qui fait le plus bas score gagne le trou, quelle que soit la différence de score entre les 2 joueurs. Si le même score est fait par les 2 joueurs, on dit qu'il partage le trou. Le 1^{er} qui gagne un trou est 1 up (1 trou d'avance) et ainsi de suite. La partie s'arrête lorsqu'un joueur a plus de trou d'avance qu'il n'en reste à jouer. Par exemple, le joueur A a 3 trous d'avance après le 16. Il ne reste plus que 2 trous. Il ne peut plus être rattrapé. On dit qu'il a gagné 3 et 2 (3/2). Un joueur est « dormie up » quand il a autant de trous d'avance qu'il ne reste à jouer. Si les 2 joueurs sont à égalité après les 18 trous, il y a match nul. Si il faut un vainqueur, on repart au 1, et le 1^{er} qui gagne un trou a gagné la partie.

La partie par trou peut également se jouer en double avec 2 joueurs

Dans chaque camp. Il y a 2 formules officielles de double :

- Le **foursome** : Chaque camp joue une seule balle et chaque joueur joue à tour de rôle. L'un des joueurs tape son drive au 1, puis ils jouent alternativement. Au 2, c'est l'autre joueur qui commencera etc...

- Le **4 balles** (4 balles, meilleure balle) : Chaque joueur a sa propre balle et seul le meilleur score des 2 joueurs compte.

Les pros jouent très peu de compétitions en partie par trou, ce qui donne encore plus de relief à la Ryder Cup

Evolution du jeu

Le jeu a énormément évolué depuis un siècle. Entre les 2 guerres mondiales, il ya avait déjà de grands joueurs, mais ils étaient des « gentlemen » et les compétitions professionnelles ne faisaient que commencer.

Il faut parler de **Bobby Jones**, jeune américain qui, à 28 ans a remporté le « grand chelem ». Il était alors composé du British amateur, de The Open, des championnats américains amateur et professionnel. Après ce magnifique exploit, il a pris sa retraite de joueur et a construit une grande perle, le parcours d'Augusta, ou se joue depuis lors le Master, début avril, dont je vous reparlerai.

A partir des années 60, il y eu beaucoup de grands champions comme les américains **Arnold Palmer**, au swing particulier, et **Jack Nicklaus**, l'espagnol **Severiano Ballesteros**, premier immense joueur d'Europe continentale. Mention spéciale à l'homme en noir, le Sud Africain **Gary Player**, qui, après les compétitions refaisait les parcours à la course pour entretenir sa condition physique. Sans oublier l'anglais **Nick Faldo** qui fut longtemps numéro un mondial, devant le grand requin blanc, l'australien **Greg Norman**.

A cette époque la philosophie du jeu était d'essayer de faire le moins de faute possible, sans prendre de risque. On jouait pour faire le par : Le birdie venait comme une récompense quand on avait fait un excellent coup. On considérait que l'expérience était indispensable et qu'il fallait avoir au moins 35 ans pour être un champion.

Même si l'image du golfeur rougeot, buveur de bière et fumeur de cigare était un peu dépassé, on n'imaginait pas que ce puisse être un athlète de haut niveau.

Et puis Zorro est arrivé ! Et il était pressé. Il se nommait **Tiger Woods**, de père noir américain et de mère thaï.

Il a été programmé, dès son plus jeune âge, pour être un champion de golf. A 10 ans, il jouait

déjà scratch (handicap 0). Il s'entraînait énormément.



Fig. 2 - Bobby Jones



Fig. 3 - Nick Faldo



Fig. 4 - Gary Player



Fig. 5 – Severiano Ballesteros



Fig. 6 – Jack Nicklaus



Fig. 7 - Arnold Palmer



Fig. 8 - Greg Norman



Fig. 9-Tiger Woods

Il tapait des drives à 300 mètres et, à 20 ans, puttait mieux que les champions aguerris. Il était beau, athlétique et avait beaucoup de charisme.

A 20 ans, il est venu jouer les Championnats du monde amateur à Paris et le public ne voyait que lui.

Il jouait tous les trous pour essayer de faire un birdie, quels que soient les risques pris.

Il a presque tout gagné pendant de nombreuses années pendant de nombreuses années et les autres joueurs ont dû se battre pour pouvoir se mettre à sa hauteur.

Le golf professionnel est devenu ainsi un sport adulte et majeur

Ce sont maintenant des athlètes de haut niveau, qui s'entraînent beaucoup techniquement mais aussi athlétiquement

Dustin Johnson, actuel n°1 mondial a eu le choix entre le golf et le basket où il opérait à un très haut niveau.



Fig. 10 - Dustin Johnson

Le club d'Augusta offre un coffret de 2 verres gravés et une carafe à tous ceux réalisant un eagle pendant le Masters. Il y a quelques années, c'était exceptionnel.

Cette année, il en a été distribué en 16 exemplaires dont 4 à un joueur chinois qui n'a pourtant pas fini dans le « top ten »

Encore aujourd'hui, quand « le Tigre » joue une compétition, presque aussi bien qu'avant ses gros problèmes, le public suit massivement sa partie, et même souvent plus que la partie des leaders qui jouent toujours la dernière partie.

Il aura transformé le golf, attiré les sponsor et le grand public.

Phil Mickelson, le génial gaucher, qui fut souvent second de Woods, dit qu'il a gagné beaucoup plus d'argent, en étant ainsi second, qu'il n'en aurait gagné sans lui.



Fig. 11 - Phil Mickelson

Les golfs prestigieux

Saint Andrews : le Old Course



Fig. 12 – Old Course, Saint Andrews

Saint Andrews est la Mecque du Golf. C'est là qu'est né le golf moderne.

La ville se trouve au bord de la Mer du Nord. Ce fut la première Université d'Ecosse et c'est aujourd'hui la seconde en importance derrière Edimbourg. Elle a une partie ancienne et une partie moderne. Dans la partie moderne, se trouve une résidence pour les étudiants ou on peut se loger pendant leurs vacances. C'est économique et très confortable.

Les golfs, il y en a 5, se trouvent dans un triangle entouré, sur 2 cotés, par la mer et le 3ème par la ville. Ils appartiennent à la ville et sont donc publics. Ils sont fermés le dimanche et deviennent la promenade de tous, mais les écossais sont très respectueux des parcours et le green ne sont jamais abimés.

Le départ du 1 et le green du 18 de l'Old Course sont presque en centre-ville, comme si s'était la place du Martroi et que vous soyez modeste joueur ou champion, il y a toujours des spectateurs pour vous voir. C'est très impressionnant.

Autre particularité, les 9 premiers trous vont vers la mer et le retour est presque parallèle et revient vers la ville. Plusieurs greens sont doubles et servent pour un trou de l'aller et un du retour. Ils peuvent mesurer 100mètres de large et sont très accidentés avec des pentes très importantes. Ils sont très difficiles, bien que pas super rapides, car, avec le vent presque toujours présent, les balles ne tiendraient pas sur les greens.

Il y a de très nombreux bankers, pas toujours visibles, très profonds, qui sont très pénalisants.

Car souvent, on ne peut pas jouer vers l'avant, mais sur le coté ou l'arrière. On perd toujours au moins un coup.

Le 17 a été rallongé, mais reste un par 4. Sur la droite du trou a été construit un hôtel. Pour avoir une chance de se mettre en 2 sur le green, il faut driver au-dessus des dépendances, simple pour les pros, mais difficile pour nous. Le green

est très long, en forme de haricot, avec un *banker* à l'intérieur et une route et un muret à l'extérieur. C'est considéré comme le « juge de paix » du parcours.

Le fameux « Club House » du R&A se trouve derrière le départ du 1, avec un peu plus loin le musée du golf

Pour jouer sur le Old Course, il faut s'inscrire à un tirage au sort, soit seul, soit avec vos partenaires. Ce tirage est fait 48h à l'avance pour pouvoir se préparer si le sort vous est favorable. A cette époque de l'année, les premiers départs sont vers 6h30 et les derniers vers 19h car il fait jour très tard

AUGUSTA (Géorgie) ; Le parcours des fleurs qui reçoit chaque année au mois d'avril le Masters

C'est la seule épreuve du Grand Chelem qui se joue toujours sur le même parcours. Les 3 autres, The Open, l'US open et l'US PGA tournent sur plusieurs parcours.

Créé en 1933 par Bobby Jones, il est considéré comme son chef d'œuvre. Il y a peu de rough mais beaucoup d'arbres sous lesquels sont disposés des écorces de pin. Il y a beaucoup d'obstacles d'eau, très pénalisant et des greens extrêmement rapides et très pentus.

Pour assister au Masters, il faut s'y prendre 1 an à l'avance car les spectateurs sont prioritaires pour l'année suivante et il y a très peu de défection.



Fig. 14 - Jordan Spieth



Fig. 13 Les azalées

Dîner des champions

Le dîner des champions a lieu chaque année le mardi soir précédant le premier tour du jeudi. Le premier dîner a été organisé en 1952, invités par le champion en titre Ben Hogan, afin d'honorer les anciens champions du tournoi 50. À cette époque quinze éditions avaient déjà été jouées, et le nombre d'anciens champions était de onze (y compris Hogan). Officiellement connu sous le nom "Club des Maîtres", le dîner ne comprend que les anciens vainqueurs de l'épreuve, même si certains membres du Augusta National Golf Club ont été inclus en tant que membres honoraire, le plus souvent le président. Le champion en titre, en tant qu'hôte, sélectionne le menu pour le dîner. Au fil des ans, l'un des plats les plus mémorables a été le **haggis**, servi par l'Écossais **Sandy Lyle** en 1989

Le Mercredi, se joue une compétition de 9 trous de par 3 ; Compétition amicale ou les champions ont souvent comme caddie leurs enfants qu'ils font aussi jouer

Jamais le gagnant de cette compétition n'a gagné à la suite le Masters.

Le tournant du parcours s'appelle *l'Amen corner* ; il se compose des trous 11, 12 et 13.

Le 12 est un par 3 assez court pour ces joueurs, 140 mètres : il s'appelle le Forsythia. Le green est un peu en hauteur, en travers ce qui modifie la longueur en fonction de la position du

drapeau, avec une rivière devant en contres bas et derrière un banker, des arbres et des fleurs.

Le vent a une très grande importance

En 2016, Jordan Spieth, tenant du titre, menait, le dernier jour, avec 3 coups d'avance en arrivant sur ce trou. Il a mis 2 balles dans l'eau et a été battu par l'anglais Danny Willett, qui s'en n'est pas encore remis.

Cette année, l'espagnol **Sergio Garcia**, tenant du titre, a mis 5 balles dans l'eau au trou 15, il a fait 13 en rentrant un bon put, par 5 avec un grand obstacle d'eau, le premier jour, perdant ainsi toute chance de garder son titre.

Chaque membre de ce golf très privé se revoit remettre une veste verte lors de sa 1^{ère} inscription.

Chaque vainqueur du Masters reçoit, à la remise des prix, une veste verte des mains du précédent vainqueur. Il ne peut la porter qu'à l'intérieur du club.

Ce club, très fermé, était exclusivement masculin jusqu'à l'année dernière. Il a été admis 2 femmes, Condoleezza Rice, ancienne secrétaire d'état des Etats Unis, et une femme chef d'entreprise

Le Golf National français : Saint Quentin en Yvelines

De nombreux golfs existaient en France, mais aucun n'était vraiment conçu pour recevoir une grande compétition internationale.

Claude Roger Cartier, Président de la FFG, a voulu faire un « stade de golf » pour accueillir l'Open de France, en plein développement. Il a fait valider le projet par le Comité Directeur le 27 septembre 1985 et confier la réalisation à Robert Von Hagge, architecte de golf de grande renommée et à Hubert Chesneau, directeur de la FFG et architecte également.

Le projet a prévu 2 parcours de 18 trous l'Albatros, le parcours de compétition et l'Aigle, et un autre parcours de 9 trous pour les débutants, l'oiselet.



Fig. 15 - Tiger Woods au départ du 18^{ème} trou



Fig. 16 - Veste verte Patrick Reed et Sergio Garcia

Golf National : La construction

Construit sur des terrains agricoles complètement plats, après avoir mis de côté la terre végétale, il a été créé 12 ha de plans d'eau et remué 2.2 millions de m³ de terre pour modeler le terrain et faire des buttes tout le long des trous qui servent de tribunes naturelles.

La fin du parcours est particulièrement spectaculaire avec les greens du 15, 16 et 18 qui sont entourés d'eau, à l'intérieur d'un cirque constitué par de grandes buttes d'où la vue sur ces trous est magnifique

Il a été inauguré le 5 octobre 1990, par Roger Bambuck, ministre des sports

C'est là où se jouera la prochaine **Ryder Cup**

Depuis 1991, ce parcours accueille l'Open de France. Tous les grands joueurs qui sont venus ont trouvé que ce parcours était magnifique.



Fig 17 - Avant les travaux



Fig 18 - Pendant les travaux



Fig. 19 - État actuel

La Ryder Cup

C'est le troisième événement le plus regardé à la télévision dans le monde, après le JO et la coupe du monde de football, car le golf est pratiqué presque partout dans le monde

Histoire

Créé en 1927 par Samuel RYDER, la Ryder Cup était au départ un match USA – Grande Bretagne. Elle se joue tous les 2 ans. Après la seconde guerre mondiale, les américains dominaient largement les joueurs anglais. De



Fig. 20 – La coupe

1947 à 1971, il n'y eu qu'une seule victoire de la Grande Bretagne. A partir de 1973, les joueurs irlandais sont intégrés dans l'équipe, sans modification sur le résultat. A partir de 1979, grâce à Sévérino Ballesteros devenu un des grands joueurs mondiaux, les européens continentaux sont intégrés à l'équipe.

Les résultats sont maintenant équilibrés : 8 victoires des USA et 11 pour l'Europe

En 2016, la coupe s'est jouée dans le Minnesota, à Chaska, et les USA ont gagnés par 17 victoires à 11.

Les français dans la Ryder Cup ; en 1999, Jean Van de Velde, héros malheureux de The Open à Carnoustie, mais l'Europe a été battue. En 2004 Thomas Levet et en 2014 Victor Dubuisson ont fait parties d'une équipe européenne victorieuse.

Les Capitaines

Pour l'Europe le Capitaine Européen sera Thomas Bjorn (Figure 21), Danois de 47 ans, il est depuis 25 ans un des meilleurs joueurs européen. Il s'adjoindra des vice-capitaines pour l'aider à coacher l'équipe européenne

Pour les USA, le capitaine sera Jim Furyk (Figure 22). Américain de 48 ans, avec un swing assez spécial, il est le seul joueur à avoir rendu une carte de 58 et 2 de 59 sur le circuit américain.

Il n'a pas encore nommé ses adjoints, mais il prendra certainement Tiger Woods s'il n'est pas qualifié comme joueur.

Les joueurs certains sont :

1. Dustin Johnson ; aujourd'hui n°1 mondial
2. Justin Thomas Très régulier au plus haut niveau
3. Brooks Koepka qui a gagné la semaine dernière l'US open pour la 2^{ème} fois consécutive sur un parcours ultra difficile avec un score de +1
4. Jordan Spieth double vainqueur de majeur
5. Rickie Fowler, très souvent dans le top 5 des majeurs
6. Patrick Reed, vainqueur du Master 2018
7. Phil Mickelson qui a déjà participé à 11 Ryder Cup
8. Bubba Watson, autre gaucher, fantasque, ancien vainqueur du Masters 2016



Fig 21 - Thomas Bjorn



Fig. 22 - Jim Furyk

Les équipes

USA

La sélection se fait par le nombre de points gagnés dans les majeurs 2017 : 1 point par 1000\$ gagné ; Dans les majeurs 2018, 2 points par 1000\$; Dans les compétitions officielles, du 1^{er} janvier au 11 août 2018, 1 point par 1000\$

Les possibles pour les 4 dernières places : Webb Simpson, Bryson deChambeau, Xander Schauffele (d'origine strasbourgeoise), Zack Johnson, ancien vainqueur de The Open, Daniel Berger, etc....

EUROPE

Sont qualifiés d'office :

Les 4 premiers européens du classement mondial

1. Justin Rose, anglais vainqueur d'un majeur
2. Jon Rahm, espagnol, jeune très prometteur
3. Rory Mac Ilroy, Irlandais, qui a fait gagner une fortune à son père en gagnant The Open
4. Tommy Fleetwood, reconnaissable à ses longs cheveux, 2^{ème} de l'US open la semaine dernière, vainqueur 2017 de l'Open de France et de la Race to Dubai

Les 4 premiers du classement européen

1. Francesco Molinari, Italie, en grande forme
2. Rafa Cabrera Bello, Espagne, très régulier dans les grandes compétitions
3. Alexander Noren, Suède, régulier à un haut niveau
4. Tyrrell Hatton, Anglais, considéré comme un « mauvais garçon » très râleur, brillant

Quatre joueurs au choix du capitaine

Probable : Henrik Stenson, suédois, seul vainqueur, la même année de la Race to Dubai et de la Fedex Cup, Ian Poulter, anglais, grand joueur de match play qui a beaucoup participé à la victoire de l'Europe dans les précédents Ryder Cup, Sergio Garcia, vainqueur du Masters 2017.

Possible ; Alexander Levy, Français, vainqueur cette année d'une épreuve du circuit européen n°1 français, Les anglais Andy Sullivan, Matthew Fitzpatrick et Paul Casey, Olesen Thorbjorn, danois, récent vainqueur de l'open d'Italie, devant Francesco Molinari

Du côté français, actuellement seul Lévy a une petite chance de participer ; Victor Dubuisson, cousin de l'ex capitaine de l'équipe de France de basket, est blessé et ne joue presque plus : talent gâché ; Matthieu Pavon, fils d'un

ancien pro de football, vient de bien figurer à l'US Open, mais il n'a pas encore le niveau

Pronostic ; Très difficile à faire car les deux équipes sont voisines en qualité.

Les Européens sont probablement plus forts en match play et les américains en médal play.

L'esprit d'équipe sera très important.

Philippe Baguenault de Puchesse

Membre de l'Académie d'Orléans

Communication du jeudi 21 juin 2018

Camus et la musique¹

Claude-Henry Joubert

Résumé

La musique joue un rôle important dans la vie et l'œuvre d'Albert Camus. La musique, les musiques, toutes les musiques :

- d'une part Mozart, la "grande musique" comme il la nomme ;
- d'autre part la musique populaire, la chanson, Tino Rossi, le paso-doble, le tambour brésilien, le jazz...

Cette communication évoque

- quelques lectures esthétiques de Camus - Schopenhauer, Nietzsche, Sénancour...
- quelques compositeurs appréciés ou dédaignés, Monteverdi, Bach, Chopin, Tchaïkovsky, Bizet, Mahler, Debussy, Honegger, Villa-Lobos, Boulez...
- quelques œuvres éperdument aimées, *la Vie en rose*, *Don Giovanni*, *Saint James Infirmary*...

Et l'on s'interrogera sur cette étonnante déclaration de Camus, en 1937 : « J'en suis arrivé à faire de la composition musicale ».

Abstract

Camus and Music

Music plays an important role in the life and work of Albert Camus. Music, musics, every kind of musics:

- *on one hand Mozart, the "great music" as Camus calls it;*
- *on the other hand, popular music, songs, Tino Rossi, the paso-doble, Brazilian drums, jazz...*

This communication evokes

- *some aesthetic readings of Camus - Schopenhauer, Nietzsche, Sénancour ...*
- *some appreciated or scorned composers: Monteverdi, Bach, Chopin, Tchaikovsky, Bizet, Mahler, Debussy, Honegger, Villa-Lobos, Boulez ...,*
- *some madly loved works, la vie en rose, Don Giovanni, Saint James Infirmary ...*

And we will consider this astonishing statement by Camus, in 1937: "I eventually came to make musical composition".



¹ Note concernant les références des citations de Camus : les chiffres romains indiquent le tome de l'édition des *Œuvres Complètes* parues dans la *Bibliothèque de La Pléiade* de 2006 à 2008) ; les chiffres arabes indiquent la page

1 - La mélodie du monde

La musique joue un rôle important dans la vie et l'œuvre d'Albert Camus. La musique, les musiques, toutes les musiques,

- d'une part Mozart, la "grande musique" comme il la nomme (IV, 1013) ;

- d'autre part la musique populaire, la chanson, en particulier Tino Rossi, le pasodoble, le tambour brésilien...

Il sera question, tout à l'heure, de Mozart ; une seule œuvre sera maintenant évoquée : *Don Giovanni*,

"Au sommet de tous les arts. Quand on a fini de l'entendre, on a fait le tour du monde et des êtres".

Cette idée exprimée dans les *Carnets* (IV 1165) sera reprise dans l'article du 2 février 1956, *Remerciement à Mozart*. Camus fait écouter *Don Giovanni* à Catherine Sellers, à Mette Ivers, il fait cadeau d'un enregistrement à son ami René Char. Il rêve (III 846) :

"d'écrire un jour une pièce injouable, un *Don Faust*, ou un *Docteur Juan*". Cette idée lui tient à cœur, elle revient sans cesse dans les *Carnets* :

"Don Juan, c'est Faust sans le pacte" (IV 1185) ;

dans une liste de pièces envisagées pour un projet de théâtre, on trouve "Don Faust" (IV 657) et ailleurs (IV 1244) "Don Faust et le docteur Juan" ou encore (IV 1254) :

"Faust rajeuni en Don Juan. C'est l'esprit sage et vieux sur un corps jeune".

Faust et Don Juan avaient été rapidement associés dans un paragraphe du *Mythe de Sisyphe*, dans le chapitre intitulé *Le Don Juanisme*, mais leur réunion, leur communion est l'étape ultime d'une pensée qui s'apprêtait à donner naissance à "un mélange détonant" (IV 1254), un "monstre bicéphale", un *Masque* baudelairien, une "Statue allégorique dans le goût de la Renaissance", "Ô blasphème de l'art ! Ô surprise fatale !"

Camus a lu Kierkegaard, en particulier, dans sa jeunesse, *Le Journal d'un Séducteur* et *Le Concept de l'Angoisse*. Dans *Enten-Eller (Où bien - Où bien)*, livre de 1848, Kierkegaard a alors 30 ans, il est un chapitre sublime intitulé *Les Étapes érotiques spontanées* :

"Je suis amoureux de Mozart comme une jeune fille" ; "Immortel Mozart, toi à qui je suis redevable de tout".

La première "étape érotique spontanée", c'est Chérubin dans *les Noces* : "L'objet du désir se trouve toujours dans le désir". Un désir qui n'est qu'un "pressentiment de lui-même".

La deuxième étape, c'est Papageno dont le désir "va à la découverte. Le désir de Chérubin est "rêvant", celui de Papageno "cherchant", celui de Don Giovanni (troisième étape) est "désirant". Don Giovanni "se dépasse lui-même", il est "l'incarnation de la chair", "le désir désirant".

Nietzsche se souviendra de Tamino apollinien et de Don Giovanni dionysiaque.

Camus est parfois un terrible don Juan :

"La femme, hors de l'amour, est ennuyeuse. Elle ne sait pas. Il faut vivre avec l'une et se taire. Ou coucher avec toutes et faire. Le plus important est ailleurs".

C'est une remarque des *Carnets* (II 970). C'est Camus qui écrit, on ne sait si c'est Camus qui parle... Peut-être ! Camus, rêvant sans cesse de chasteté et de renoncement "à cette servitude qu'est l'attirance féminine" (II 922).

Il est parfois déconcertant : "L'accouplement avec les bêtes supprime la conscience de *l'autre*. Il est "liberté". Voilà pourquoi il a attiré tant d'esprits, et jusqu'à Balzac" (II 957).

C'est une allusion à la nouvelle de 1830 *Une Passion dans le Désert*.

Dans l'opéra, écrit Kierkegaard, Don Giovanni est un "soleil central". *Don Giovanni* est un soleil central dans la vie et l'œuvre d'Albert Camus.

Ce qui n'est pas central, mais entoure, cerne, enveloppe la vie "musicale" de Camus, c'est la musique populaire, et en particulier la chanson. Dans la présentation de l'exposition du peintre Armand-Jacques Assus, Camus parle du "pathétique si particulier de la romance populaire" (I 557).

Cette idée est, dans les écrits de Camus, un *leitmotiv*. Dans *La Chute* (III 713) : "Ma concierge (...) s'est collée (...) avec un faraud à belle voix. Il la cognait, on entendait des cris affreux, et tout de suite après, il ouvrait la fenêtre et poussait sa

romance préférée : “Femmes que vous êtes jolies !”.

C'est une chanson chantée par Ray Ventura dès 1932, reprise par Tino Rossi en 1948. La même scène figurait déjà dans *La Mort heureuse* avec un répertoire plus relevé... : Mersault “connaissait déjà très bien le patron de l'hôtel, ancien ténor qui chantait à son comptoir et, entre deux mugissements de *La Tosca*, promettait une peignée à sa femme” (I 1178).

La “petite phrase de Vinteuil” est “l'hymne national” de l'amour de Charles Swann et Odette de Crécy. *La Vie en rose* est “l'hymne national” des amours de Camus et Maria Casarès qu'il nomme “l'Unique”, comme Wagner nommait Cosima. On dit d'Albert et Maria chantaient *la Vie en rose* à l'unisson. C'est une chanson (une “niaiserie” aurait déclaré Marguerite Monnot) qu'Édith Piaf enregistra pour la première fois le 9 octobre 1946. Dans *La Chute* (III 743), le narrateur se confie :

“J'en conçus une telle horreur de l'amour que, pendant des années, je ne pus entendre sans grincer des dents *La Vie en rose* ou *la Mort d'amour D'Yseult*. J'essayai alors de renoncer aux femmes (...) et de vivre en état de chasteté.”

C'est Jean-Baptiste Clamence qui parle, mais on perçoit assez distinctement la voix de Camus... Pendant son voyage en Amérique du Sud, Camus entend *La Vie en rose* dans un aéroport (IV 1030), et quelques pages plus loin (IV 1035), “pour la deuxième fois, j'entends *la Vie en rose* sous les Tropiques”.

“Hymne national” disions-nous...

Les chansons qu'aime Camus sont celles de Piaf, de Tino Rossi que, dit-on, sa mère adorait, celles de Juliette Gréco et de Boris Vian qu'il fréquentait. Dans *L'Été*, avant le match de boxe (III 575), “un gigantesque pick-up broie du Tino Rossi. C'est la romance avant le meurtre”.

On entend “l'inlassable lamentation du chanteur corse”.

Casarès et Camus aiment Charles Trenet et quand, à Paris, ils entrent ensemble dans une boîte de nuit, l'orchestre, rapporte Olivier Todd dans sa biographie (page 482), joue pour Maria un paso-doble : *Pisa morena*.

Camus ne méprise pas la musique populaire, mais l'aime, comme Mozart, qui, en son temps, estimait et écrivait des romances et de la musique de bal. Dans *Les Voix du quartier pauvre* (I 81.) on entend

“une romance très connue (...), le *Chant du Rossignol*. C'était de sa sottise qu'elle tirait son pathétique”,

et, plus loin (I 82), la femme entrevue

“va rentrer dans son noir, après en être sortie par le miracle d'une musique sottée.”

Quel bel hommage à la musique populaire ; on songe à ce beau texte de Proust *Éloge de la mauvaise musique* (extrait du recueil *Les Plaisirs et les Jours*) : “Détestez la mauvaise musique, ne la méprisez pas. Comme on la joue, la chante bien plus, bien plus passionnément que la bonne, bien plus qu'elle, elle s'est peu à peu remplie du rêve et des larmes des hommes. Qu'elle vous soit par là vénérable. Sa place, nulle dans l'histoire de l'Art, est immense dans l'histoire sentimentale des sociétés (...).”

Cet admirable texte peut convenir, d'un bout à l'autre, à l'évocation d'une musique qu'aimait Albert Camus.

Très beau texte dans *Le Premier Homme*, peut-être le plus beau texte écrit par Camus sur la musique (IV 794 à 796) :

“La grand-mère (...) avait tenu à faire donner à Henri, le frère de Jacques, des leçons de violon”. Parfois, le dimanche, “elle convoquait ses petits-enfants pour un concert improvisé. Consternés, ils apportaient le porte-musique en métal et les partitions sur deux pages des refrains célèbres. Il fallait s'exécuter. Jacques suivant tant bien que mal le violon zigzaguant d'Henri, chantait *Ramona*, “J'ai fait un rêve merveilleux. *Ramona*, nous étions partis tous les deux”; ou bien “Danse, ô ma Djalmé, danse pour moi, ce soir je veux t'aimer”, ou encore, pour en rester à l'Orient, “Nuits de Chine, nuits câlines, nuit d'amour, nuit d'ivresse, de tendresse...”. (...) Mais les préférences de la grand-mère allaient à une chanson où elle aimait sans doute la mélancolie et la tendresse qu'on cherchait en vain dans sa propre nature. C'était la *Sérénade* de Toselli...”

Cette sérénade qui est aujourd'hui la seule œuvre connue d'Enrico Toselli (1883 - 1926) fut,

en particulier, un succès de... Tino Rossi ! On l'entend de nos jours jouée par l'orchestre d'André Rieu dont le répertoire est décidément très camusien.

Mais la fin de ce "concert improvisé" est bouleversante :

"Seule Catherine Cormery était restée sans rien dire dans un coin. (...) Le regard de sa mère, tremblant, doux, fiévreux, était posé sur lui avec une telle expression que l'enfant (Jacques) recula, hésita et s'enfuit. "Elle m'aime, elle m'aime donc", se disait-il dans l'escalier, et il comprenait en même temps que lui l'aimait éperdument, qu'il avait souhaité de toutes ses forces d'être aimé d'elle et qu'il en avait toujours douté jusque-là."

Merveilleuse musique qui fait découvrir à l'enfant l'amour de sa mère !

La musique de Camus c'est encore

- la musique de danse, il était, dit-on, un très bon et infatigable danseur ;

- la musique brésilienne, tambour, samba, rumba ; dans les *Carnets* Camus consacre vingt-trois pages (IV 1018 à 1036) à la description de macumbas, description reprise dans *La Pierre qui pousse* (dernière nouvelle de *L'Exil et le Royaume*) ;

- les danses javanaises (II 870), les danses grecques dont les "pas sont trop difficiles" (IV 1227) ;

- la musique arabe, très peu citée : quelques lignes dans *L'Été* (III 595 *Petit Guide pour des villes sans passé*), dans *Le Premier Homme* (IV 858), dans les *Carnets* (IV 1287), dans *L'Étranger*, naturellement, nous l'évoquerons plus loin ;

- la musique de jazz, assez peu présente, sauf dans les *Carnets* (II 1057, 1058) ; une notation saisissante, cependant, dans *La Peste* on entend *Saint James Infirmary* (II, 146) dont les paroles, que Camus ne cite pas, sont comme une prémonition du décès de la femme du docteur Rieux que l'on apprendra à la fin du roman (II 236) : "Mon amie est à St James Infirmary, allongée sur une longue table blanche, elle est si douce, si froide, si paisible..."

"Au milieu du disque, on entendit deux coups de feu claquer au loin".

Cet événement sera repris, comme un "double" musical, à la fin de la cinquième partie (II 244) :

"On entendait seulement des bribes de musique qui arrivaient du centre de la ville. À un moment, d'un des immeubles en face de la maison, deux coups de revolver claquèrent..."

Cette répétition ornée, proche de la variation musicale, est un élément fort et fondateur de l'écriture de Camus.

Saint James Infirmary, qui fut, dit-on, le seul disque que possédait Camus à une certaine période de sa vie et qu'il écoutait en boucle, trouve un écho dans le roman, c'est une deuxième prémonition, dans la tragique représentation, à l'Opéra municipal, d'*Orphée et Eurydice* de Gluck, pendant laquelle Orphée s'écroule, terrassé par la peste (II 170 sq).

Ainsi la musique, pour Camus, est immense, quotidienne, un bain - et l'on sait à quel point le bain compta dans son existence. Sur le bateau, entre l'Europe et l'Amérique, il note (IV 1248) :

"Seule la musique est à la dimension de la mer".

Et à Tipasa (I 107) :

"La basilique Sainte-Salsa est chrétienne, mais chaque fois qu'on regarde par une ouverture, c'est la mélodie du monde qui parvient jusqu'à nous..."

2 - Mozart

"Même aujourd'hui quand j'écoute Mozart, je ne puis m'empêcher de sentir que l'accomplissement idéal pour moi serait d'écrire à la manière dont Mozart compose".

Bel hommage ! confié à Nicola Chiaromonte en octobre 1948 (II 719).

En 1956, on fête le 200^e anniversaire de la naissance de Mozart. Camus écrit dans *L'Express* - c'est son dernier article dans ce journal, daté du 2 février 1956 - *Remerciement à Mozart*. C'est un article de circonstance et l'on est d'abord agacé par une certaine négligence journalistique : "sa mort solitaire (...), ce convoi sous la neige et cette fosse anonyme, (...) cette fosse commune" (III 1080 sq) sont des fables ressassées ! Il neigeait à Salzbourg le jour de la naissance de Mozart, mais pas lors de son enterrement. En effet, le temps était "doux avec brouillard fréquent, température entre + 2 °C et 3 °C avec

vent d'Est faible". Quant à l'enterrement de troisième classe auquel eut droit Mozart, comme la majorité des Viennois, il était réglementé par une loi à visées prophylactiques promulguée en 1784 par Joseph II. Cinq jours après l'enterrement, le 10 décembre, une grande messe funèbre fut célébrée à Vienne, et, le 14 décembre, à Prague, rapporte la *Wiener Zeitung* datée du 24 décembre 1791, une cérémonie funèbre réunit plus de quatre mille personnes...

Mais l'article de Camus est néanmoins bien digne d'intérêt, ne serait-ce que pour cette phrase :

"Les tyrannies contemporaines haïssent Mozart et ce qu'il représente, même lorsqu'elles font mine de l'honorer" (III 1080).

C'est une expression forte, terrible même, si l'on pense, comme l'auteur de ces lignes, qu'elle demeure vraie en 2013 et même en France ! Elle fait penser à une note des *Carnets* (IV 1064) :

"Où l'on veut avoir des esclaves, il faut le plus de musique possible. C'est du moins l'idée d'un prince allemand, telle que la rapporte Tolstoï."

Un peu plus loin, dans ce même *Cahier VI* des *Carnets*, quatre mots sibyllins et redoutables :

"Wagner, musique d'esclaves".

Sauf erreur, Camus ne cite pas le génial texte d'Étienne de la Boétie, *Discours de la Servitude volontaire* (1549). L'a-t-il lu ? Il le rejoint cependant, toujours en 1956, dans *Hommage à un journaliste exilé* :

"Il m'est arrivé de dire que la vraie passion du XXe siècle était la servitude" (III 983).

La servitude est un thème important de la pensée de Camus :

"La passion la plus forte du XXe siècle : la servitude" (*Carnets* IV 1097).

Dans *Un Style de Vie*, article publié le 26 janvier 1946 (II 672 sq) il est question

"des années de collège abrutissantes..." ;

et plus loin :

"Que voulez-vous qu'un pays fasse d'un homme sans passions ? Il en fait un solitaire, vaguement anarchisant, ou il lui donne des passions collectives qui lui tiennent lieu de personnalité. Dans les deux cas, notre système d'enseignement aura fabriqué des esclaves."

Et Mozart n'avait pas été abruti par des années de collège...

Une dernière phrase de ce *Remerciement à*

Mozart :

"Mozart, lui, n'a pas menti. Il a refait le parcours de l'homme, depuis ses origines instinctives jusqu'à son affrontement avec l'énigme."

Chapeau !

Camus aime les quintettes à deux altos de Mozart, en particulier celui en *sol* mineur, écrit en 1787, peu avant *Don Giovanni*. Il le fait écouter à Catherine Sellers, à Mette Ivers, à d'autres sans doute. Il fréquente peu les concerts, il aime les disques, l'écoute intime, comme déjà dans sa jeunesse, chez son ami Max-Pol Fouchet qui, dit Olivier Todd (*Albert Camus, une vie*, p. 80)

"réunit des amis pour écouter de la musique, rideaux tirés, selon les conseils de Gide".

Simone Hié, au grand dam de Max-Pol, sera sensible à ces écoutes partagées... L'écoute du quintette K 516 sera toujours une écoute amoureuse. Six mots dans les brouillons du *Premier Homme* en disent long ; ils sont écrits sur deux lignes (IV 986) :

"Peste

Les gens sont au concert."

La Peste est un roman en partie consacré à l'engagement, à la solidarité, à l'entraide (on songe à Kropotkine). Rieux rédige le récit

"...pour dire simplement ce qu'on apprend au milieu des fléaux, qu'il y a dans les hommes plus de choses à admirer que de choses à mépriser" (II 248).

Mais à Oran, "nos concitoyens essayaient de s'arranger" (II 85) ; "nous continuions à mettre au premier plan nos sentiments personnels" (II 88).

"Peste

Les gens sont au concert" : ils ne participent pas, ces auditeurs sont des spectateurs, des voyeurs, ils ne s'engagent pas !

Camus n'aime guère le concert et, dans *La Chute*, il dresse d'un mot un sinistre portrait du mélomane, c'est à propos de "nos moralistes" : "La grâce, voilà ce qu'ils veulent, le oui, l'abandon, le bonheur d'être et qui sait, car ils sont sentimentaux aussi, les fiançailles, la jeune fille fraîche, l'homme droit, la musique."

Pour Camus, la musique doit s'exprimer dans le domaine privé, avec une femme, au maximum un groupe d'amis ; elle a besoin de pudeur.

3 - Schopenhauer, Nietzsche et quelques sottises

Sur la Musique (I 522 sqq.) est un article publié dans *Sud*, “revue mensuelle de littérature et d’art” fondée par les lycéens de la classe de philosophie de Jean Grenier. L’article de Camus est un devoir, corrigé par son professeur, publié dans le numéro 7 de la revue en juin 1932, Camus a 19 ans. Il s’appuie

“sur deux théories, ou plutôt deux pensées : celle de Schopenhauer et celle de Nietzsche”.

Il a “consulté” (I 1363), en effet le très beau livre du jeune Nietzsche *La Naissance de la Tragédie* (*Die Geburt der Tragödie aus dem Geiste der musik*) et Nietzsche sera l’un de ses maîtres à penser :

“Je dois à Nietzsche une partie de ce que suis, comme à Tolstoï et à Melville”(III 937, préface de 1954 à un livre de Konrad Bieber).

De Schopenhauer, il a lu en partie (le IIIe livre dit-il, I 1363) *Le Monde comme Volonté et Représentation* (*Die Welt als Wille und Vorstellung*), livre de jeune homme également - Schopenhauer avait juste 30 ans en 1819. Mais malgré le soin apporté à son travail par Albert, lycéen bien doué, on sera mieux inspiré de lire, sans s’attarder sur ses commentaires, les deux extraordinaires ouvrages de Schopenhauer et Nietzsche cités ci-dessus. Surtout que la dernière phrase précédant la conclusion du devoir d’Albert Camus est sujette à critique :

“Tous les arts s’identifient comme tenant d’une même aspiration de l’esprit humain vers un monde meilleur d’oubli et de rêve”.

C’est charmant mais bien loin de Schopenhauer qui affirme dans son § 52 , consacré à la musique, que

- “la musique pourrait en quelque sorte continuer à exister, alors même que l’univers n’existerait pas” ;

- “l’influence de la musique est plus puissante et plus pénétrante que celle des autres arts ; ceux-ci n’expriment que l’ombre, tandis qu’elle parle de l’être” ;

- “la musique exprime ce qu’il y a de métaphysique dans le monde physique, la chose en soi de chaque phénomène.”

- “La musique exprime d’une seule manière, par les sons, avec vérité et précision, l’être,

l’essence du monde, en un mot, ce que nous concevons sous le concept de volonté, parce que la volonté (*Wille*) en est la plus visible manifestation”.

On est loin d’un “monde meilleur d’oubli et de rêve”...

Nietzsche qui sera passionné de l’œuvre de Schopenhauer puis s’en détachera, est encore, en 1871, sous l’influence de son maître :

“L’art n’est pas seulement une imitation de la réalité naturelle, mais bien un supplément métaphysique de cette réalité”.

Et encore, toujours dans le chapitre XXIV de *La Naissance de la Tragédie* :

“L’existence et le monde n’apparaissent justifiés qu’en tant que phénomène esthétique.”

Camus et Schopenhauer ont un point commun, ils ont connu, dans leur jeunesse, un événement qui les a marqués et qui a influencé grandement leur pensée. Pour Schopenhauer, c’est la visite, en avril 1804 des galères du bagne de Toulon, il a 16 ans. Son *Journal de voyage* (Mercure de France, 1989, p. 139 sq.) témoigne de son émotion et de son écœurement :

“Il est affreux de songer que la vie de ces misérables galériens est dépourvue de la moindre joie et n’a plus aucun but...”.

C’est sans doute un moment où le pessimisme prend naissance profondément dans l’esprit du jeune Arthur. Camus fit la même rencontre, il la narre dans son article paru dans *Alger républicain*, le 1er décembre 1938. Comme Schopenhauer, il s’approche d’un “baigne flottant”, de “sa honteuse et pitoyable cargaison” et en découvre l’inhumanité, l’article est titré *Ces hommes qu’on raie de l’humanité* et sa dernière phrase pourrait être attribuée à Schopenhauer :

“Ces hommes, nous n’avons pas à les juger, d’autres l’ont fait. Ni à les plaindre, ce serait puéril. mais il s’agissait seulement ici de décrire ce destin singulier et définitif par lequel des hommes sont rayés de l’humanité. Et peut-être est-ce le fait que ce destin soit sans appel qui crée toute son horreur”.

Le mot “humanité” vient d’être cité plus haut, si le lecteur voulait bien admettre ici une digression - cet article évoluant, comme le dit Montaigne, *à sauts & à gambades* - on se permettrait de citer un texte éblouissant de

Camus traitant de ce mot “humanité”. C’est dans le *Cahier V* (septembre 1945 - avril 1948) des *Carnets* (II 1109) :

“Dictionnaire. *Umanité* : s’écrit et s’exécute généralement avec une *h*. Mais ici on est contre... Sens dérivé : *prétexte*. Synonymes : Paillasse - Marchepied - Gargarisme - Terminus.

Palinodie: Exercice de haute littérature qui consiste à hisser le drapeau après avoir craché dessus, à revenir à la morale par les chemins de la partouze et à chausser de pantoufles les anciens pirates. On commence par jouer les casseurs et on finit par la Légion d’honneur. *Hist.* : 80% des auteurs du XXe siècle si seulement ils pouvaient ne pas signer écriraient et salueraient le nom de Dieu. *Sciences naturelles* : Procédé de transformation par lequel le raifractère à rayures devient le mètre d’autel d’espèce commune.”

Flamboyant, étincelant, cocasse et féroce ! Ce texte n’a pas été publié du vivant de son auteur. La pudeur et la retenue de Camus l’emportaient souvent sur ses élans ravageurs. À la lecture du petit texte ci-dessus, on le regrette ! Il affirme, toujours dans ses *Carnets* (IV 1085) :

“Toute mon œuvre est ironique”.

On aimerait le croire. mais il modère immédiatement cet aveu :

“Ma tentation la plus constante, celle contre laquelle je n’ai jamais cessé de mener un exténuant combat : le cynisme”.

Domage qu’il n’ait pas perdu ce combat plus souvent !

Revenant, après ces digressions, au texte qui nous intéressait plus haut (*Sur la Musique*), on notera ici deux séries de remarques, les unes reprenant de jolies corrections du professeur Grenier, les autres soulignant quelques sottises de l’élève Camus.

Le manuscrit de la dissertation sur la musique porte en marge des corrections et des commentaires de Jean Grenier. Deux retiennent notre attention :

- à propos de Nietzsche, “Eurythmie des danses grecques (qui se survivent à Barcelone par les sardanes).” Camus connaîtra la sardane catalane et y fera allusion dans la préparation de

certaine musique de scène ; d’autre part, l’auteur de ces lignes, de son métier compositeur de sardanes, se réjouit de la belle ascendance que leur propose Jean Grenier...

- autre remarque du même Grenier :

“Si la musique est le plus spirituel des arts, ce n’est pas parce qu’elle a la base la moins matérielle, c’est parce qu’elle a un substrat mathématique. Connaissez-vous l’admirable définition de Leibnitz : *Musica, exercitium arithmeticae* (ce mot manque dans l’édition de La Pléiade, était-ce une erreur de Grenier ?) *occultum nescientis se numerare animi.*”

L’élève Camus a sans doute répondu affirmativement puisque cette phrase figure dans la première page du célèbre § 52 de Schopenhauer qu’il avait pour mission de lire... Mais il n’en fera son profit que beaucoup plus tard (en 1942), dans un bref paragraphe du *Mythe de Sisyphé* (I 287). Bref, mais beau paragraphe : « L’expression commence où la pensée finit. »

«...la musique. Si un art est privé d’enseignement c’est bien celui-là. Il s’apparente trop aux mathématiques pour ne pas leur avoir emprunté leur gratuité. Ce jeu de l’esprit avec lui-même selon des lois convenues et mesurées se déroule dans l’espace sonore qui est le nôtre et au-delà duquel les vibrations se rencontrent cependant en un univers inhumain. Il n’est pas de sensation plus pure ».

La conclusion de l’article de Camus (de 1932) est parsemée de quelques sottises (de gamin ! sottises aisément pardonnées...).

- Il a lu deux courts textes tardifs de Nietzsche, le *Cas Wagner* et *Nietzsche contre Wagner*, textes qu’il n’apprécie guère :

“Pourquoi (...) aller chercher le froid Bizet dont certains airs de bravoure ont tant vieilli pour l’opposer à un Wagner débordant de lyrisme et de tendresse qui est resté et restera éternellement jeune?”

Le “froid Bizet” ! Dans *La Mort heureuse*, Bizet s’est réchauffé (I 1180) :

“Au moment de partir une étonnante musique éclata dans une rue toute proche. C’était sans doute la “Marche des Toréadors” de *Carmen*, mais avec un éclat et une exubérance qui empêchaient les instruments de garder leur rang”.

- Quelques lignes plus loin, autre déclaration

intempestive :

“Assez d’acrobaties musicales, de *Jeux d’eaux* ou de *Jardins sous la pluie* qui demandent de l’analyse pour démêler l’intention de l’auteur.”

Il semble assez clair que le jeune Camus avait entendu ou lu les titres de ces œuvres, mais certainement pas écouté la musique ! Et *Jeux d’eau* de Ravel s’écrit sans “x”. À moins que Camus n’ait confondu les *Jeux d’eau* de Ravel et *Les jeux d’eaux à la Villa d’Este* de Liszt... Quant à la troisième *Estampe* de Debussy, *Jardins sous la pluie*, cette “acrobatie musicale” utilise deux motifs : *Nous n’irons plus au bois* et *Dodo, l’enfant do*, deux airs qui ne semblent pas nécessiter, même traités par Debussy, “de l’analyse pour démêler les intentions de l’auteur”.

- L’avant dernière phrase de la conclusion est encore une naïveté :

“En général et pour finir, la Musique vraiment féconde, la seule qui nous touchera et que nous goûterons vraiment, sera une Musique de Rêve qui bannira toute raison et toute analyse”.

Cette musique existe, elle porte un titre : *Jardins sous la pluie...*

Une dernière sottise, dans la version manuscrite de la même dissertation (I 541) :

“À côté de succès indéniables comme *Madame Bovary* combien de Zola tombés dans l’ordure et l’obscénité la plus vulgaire. Je ne crois vraiment pas qu’on puisse parler d’émotion esthétique en présence des *Rougon-Macquart*”.

On est heureux d’apprendre que *Madame Bovary* fut tout de même un “succès indéniable”, mais n’en déplaît à Camus, la fabrication du boudin dans *Le Ventre de Paris*, c’est du Michel-Ange...

A-t-on eu raison de publier les *Carnets* ? Sans doute ! Mais la lecture de ces pages intimes doit être faite en ayant présent à l’esprit qu’elles n’étaient pas destinées telles quelles à la publication et que Camus les aurait très certainement amendées. C’est donc, encore une fois, avec beaucoup d’indulgence et de sympathie qu’on lira les deux maladroites suivantes.

Après la lecture de la biographie de

Tchaïkovski écrite par Nina Berberova (1948, rééditée en 1987 par *Actes Sud*), Camus note quelques citations et termine ainsi :

“Et pourtant sa musique, le plus souvent est médiocre.”

On peut détester la musique de Tchaïkovski, la trouver ampoulée, emphatique, boursouflée, mais la *Symphonie pathétique*, le concerto pour violon, les ballets ne peuvent être qualifiés de “médiocres” !

En bateau, au milieu de l’Atlantique (*Carnets*, IV 1013) :

“À 18 heures, au coucher du soleil, comme chaque soir, des disques de grande musique. Et soudain la *Toccata...*”

La locution “grande musique” est touchante. Quant à la *Toccata*, on devine qu’il s’agissait de celle en *ré* mineur BWV 565 de J. S. Bach qui en a écrit une quinzaine... L’écoute de cette œuvre donne lieu à la description d’un coucher de soleil assez conventionnel et grandiloquent (pompiers !) qui se termine ainsi :

“La *Toccata*, sur cette mer endormie, sous les fêtes de ce soleil royal... le moment est inoubliable. À ce point que le navire entier se tait, les passagers pressés sur les ponts, au bord occidental, ramenés au silence et à ce qu’ils ont de plus vrai, enlevés pour un instant à la misère des jours et à la douleur d’être.”

Ce coucher de soleil à faire pleurer Margot s’achève ainsi par une phrase qu’on pourrait, sans modification, attribuer à Schopenhauer. Camus n’a pas oublié ses lectures adolescentes.

Le lendemain, il note :

“La cérémonie de la ligne étant supprimée, par manque de passagers, nous remplaçons ces rites par quelques jeux d’eau dans la piscine”.

Oui, Camus fréquentait plus les piscines que Ravel.

4 - Compositeurs

Beaucoup de compositeurs sont cités par Camus. Il affiche un grand respect, peut-être un peu convenu, pour Bach (voir plus haut). On a un peu de mal à lire dans le petit texte suivant une pensée très personnelle (*L’Art dans la Communion*, manuscrit de 1933, I 963 sq.) :

“...si nous écoutons Bach : sa sérénité s’élève sans effort, d’un seul coup d’aile, au-dessus du commun. Dans cet art si pur, dans cette foi si assurée, on ne sent aucun tremblement, si ce n’est celui de la perfection, maintenue et conservée à chaque minute, par un miracle sans cesse renouvelé.”

En voyage en Italie (IV 1209) il rencontre un peintre

“ignorantissime et devant illustrer pour un programme de radio la Passion de St Matthieu et qui fait un saint entouré de jolies femmes et d’anges moqueurs”.

On comprend son irritation.

Dans sa biographie, Olivier Todd donne quelques renseignements sur les activités musicales de Francine Camus :

- “excellente pianiste adorant Bach” (p. 224) ;
- “Pianiste, elle a donné des récitals remarquables dans la salle des fêtes du lycée de jeunes filles d’Oran... (p. 305 sq.)

- en 1946 Camus voyage sur le cargo *Oregon*. Un passager amorce au piano “le concerto italien de Bach (p. 551) :

- ‘Tiens, vous jouez cette pièce. Ma femme aussi, souvent, dit Camus.

- Votre femme est musicienne ?

- Oui, elle m’a fait connaître Bach.”

- Autre conversation (p. 741) : “Comme c’est agréable une femme aussi bonne musicienne, remarque Poncet. Camus grommelle :

- Si tu avalais six heures de Bach par jour, tu ne parlerais pas comme ça.”

À propos de Charles Poncet, ami de Camus, qui prit part aux travaux du Théâtre de l’Équipe, on connaît une étonnante photographie réunissant des membres de l’Équipe : Émile Scotto-Lavina, Jeanne Sicard, Poncet, Camus et... Charles Kœchlin qui était l’oncle de Marie Viton, grande amie de Camus, décoratrice et costumière de théâtre. On ne sait si Camus s’est intéressé autant à l’œuvre de Kœchlin qu’à sa nièce.

On peut lire avec amusement et tendresse la critique publiée dans le numéro 145 du 10 décembre 1932 d’*Alger-Étudiant* par le jeune Camus d’un concert du Quintette instrumental de Paris (I 547 sq.). Ce quintette était composé à

l’époque de René Leroy, flûtiste, René Bas violoniste, Pierre Grout, altiste, Roger Boulmé, violoncelliste, Pierre Jamet, harpiste. Si l’on prend soin de citer leurs noms ici, c’est que Camus, journaliste débutant, n’a pas jugé bon de le faire. Il s’en excuse toutefois maladroitement à la fin de son texte :

“Il m’apparaît maintenant que j’ai peu parlé du Quintette lui-même. Mais le fait de nous avoir si passionnément intéressés à leurs interprétations ne suffit-il pas à affirmer le sens musical et l’aimante compréhension de ces artistes ?”

La réponse d’un musicien à cette question est immédiate et sans détour : Non, cela ne suffit pas !

Rameau est rapidement catalogué :

“Rameau eut plus de goût que de génie”, sa musique est une “mathématique sèche”.

La musique de Beethoven n’échappe pas au lieu commun, elle est

“la plus vibrante et la plus assoiffée d’idéal qui soit”.

Le jeune journaliste est déconcerté par le quatuor avec flûte de Mozart qui,

“exécuté sur commande”, (...) offre une facilité et un bonheur dans l’invention qui étonnent”.

Il s’agit certainement du quatuor en *ré* majeur, K. 285, daté du 25 décembre 1777, le plus brillant et le plus achevé (le plus joué) des trois quatuors livrés en 1778 au Hollandais Dejean. On est attendri par cette naïveté adolescente ; une œuvre de commande peut être inventive, réussie voire sublime. On peut, pour s’en convaincre, consulter les catalogues des œuvres de Bach, Mozart, Berlioz, Béla Bartók et bien d’autres...

Camus n’est pas enthousiasmé par la musique de Joseph Jongen et demeure “sans jugement” à l’écoute “d’une sonate pour flûte, alto et harpe de Debussy” ; on écrit plutôt “la” sonate pour flûte, alto et harpe de Debussy. Dans *À la Recherche du Temps perdu*, lors de la “soirée Saint-Euverte”, l’ignorante Madame de Gallardon invite Oriane de Guermantes à écouter chez elle “un quintette avec clarinette de Mozart”, Oriane, snobe mais cultivée, répond “Mais je connais ce quintette”. La culture musicale de Proust était minutieuse et sans faille.

On pourra lire également la critique d'un récital de Raoul Deschamps (*Alger-Étudiant*, 18 février 1933, I 548 sq.) dans laquelle il est question de Bach, Schumann et Chopin. Camus défend aimablement le pianiste, attaqué ailleurs, en affirmant qu'on peut à la fois "diriger un orchestre de brasserie" et être un "virtuose de concert" :

"Je n'ai pas l'honneur de connaître M. Deschamps, mais je serais heureux si ces lignes impatientes pouvaient lui montrer que tout le monde ne tient pas dans le même mépris les pianistes de brasserie."

Voilà qui est juste et sympathique et illustre, encore une fois, l'intérêt et le respect de Camus pour toutes les musiques.

Quelques admirations d'homme mûr :

- *Carnets*, IV 1130 :

"28 février 1952. La découverte du Brésil, de Villa-Lobos - avec lui la grandeur revient dans la musique. Chef-d'œuvre - je ne vois que Falla aussi grand."

Si la "grandeur revient", c'est qu'elle avait disparue ; on abordera plus loin le rapport de Camus avec la musique et la peinture du XXe siècle.

- *Carnets*, IV, 1191 :

"15. 8. 1954. 4e symphonie en sol majeur pour sopranos (*sic*) et orchestre de Malher. Malher parfois fait apprécier Wagner, dont il montre, par contraste, à quel point ce dernier restait maître de son brouillard. D'autre fois Malher très grand". Belle analyse, bien sentie. Le dernier mouvement de la quatrième symphonie de Malher comprend un *Lied* (extrait du *Knaben Wunderhorn*) chanté par une soprano. Mais, en matière de jeux d'eaux, de sopranos et de femmes, Camus ne résistait pas au pluriel.

- Mette Ivers a confié quelques souvenirs musicaux à Agnès Spiquel-Courdille dans un entretien paru dans *Les Cahiers de l'Herne* (Camus, Paris : Éditions de l'Herne, 2013, p. 69 sqq.).

"Albert a élargi mon univers musical, il m'a fait découvrir des merveilles, beaucoup de musique de chambre, les quatuors de Beethoven, les quintettes de Mozart, *La Flûte enchantée*, *Don*

Juan, bien sûr, et *Le Chant de la Terre* et les *Kindertotenlieder* de Malher et leur extraordinaire interprète Kathleen Ferrier. Ensemble nous avons découvert Alfred Deller dans les opéras de Purcell, nous avons écouté l'*Orfeo* de Monteverdi..."

- *Carnets*, IV 1049 : Le 13 août 1949 à Buenos Aires, Victoria Ocampo

"me fait entendre *Le Viol de Lucrece* de Britten".

Camus ne donne pas son avis sur l'œuvre ; il s'agissait sans doute de l'enregistrement de 1946 dirigé par Reginald Goodall, avec, dans le rôle de Lucrece, Kathleen Ferrier, "extraordinaire interprète".

- C'est peut-être son ami René Char qui fit découvrir à Camus la musique de Monteverdi. *Lettera amorosa* est l'un des poèmes de Char, publié pour la première fois en 1953, une sorte de "transposition - évocation" d'une pièce *a voce sola* de Monteverdi sur un texte de Claudio Achillini, placée dans son septième livre de madrigaux. Char inscrit en exergue de son poème le début de la deuxième strophe du texte :

Non è già part'in voi Che non forç' invincibile d'amore Tutt' a se non mi tragga. C'est une belle déclaration, l'amant est "attiré vers chaque partie de l'être aimé par la force d'un invincible amour". *Lettera amorosa* est une extraordinaire musique de Monteverdi, un beau texte de René Char, et ce titre pourrait convenir à toutes ces œuvres qu'Albert Camus faisait écouter à ses amis proches ou très intimes ; *Don Giovanni*, le quintette en *sol* mineur, *Das Lied der Erde* ; chacune de ces œuvres a dû être, à un certain instant de la vie de Camus, une *Lettera amorosa*.

- Dans un article publié dans *l'Express* le 20 décembre 1955, *La Vie d'Artiste* (III 1062 sqq.) Camus cite deux compositeurs de son époque : Henry Barraud (1900 - 1997) et Tibor Harsanyi (1898 - 1954) dont *L'Histoire du petit tailleur* (1937) suite pour récitant et petit ensemble instrumental d'après les frères Grimm, est toujours beaucoup jouée aujourd'hui. Cet article vigoureux s'insurge contre

"notre législation des étrangers et sur le scandale des naturalisations, accordées et

refusées au gré des caprices et des influences. Mais il est plus intéressant encore de connaître le motif porté sur le dossier d'Harsanyi par le haut fonctionnaire de service. Ce motif est en effet d'une concision bien française : "Exerce une profession socialement inutile".

En cinq mots, voilà définie la situation de l'artiste dans notre société. Considéré comme un oisif, soupçonné de prendre plaisir à ce qu'il fait. Il ne sera accepté, et du bout des lèvres, que s'il consent à amuser les convives au dessert et à donner la main au service".

La naturalisation d'Harsanyi ne lui fut accordée qu'au jour de sa mort. Près de soixante ans après sa parution, ce texte n'a pas pris une ride. Et Camus était un artiste :

"Je ne suis pas un philosophe et je n'ai jamais prétendu l'être." (III 402)

Affirmation déjà exprimée en 1945 (interview à *Servir*, II 659) :

"- Je ne suis pas un philosophe. Je ne crois pas assez à la raison pour croire à un système. Ce qui m'intéresse, c'est de savoir comment il faut se conduire. Et plus précisément comment on peut se conduire quand on ne croit ni en Dieu ni en la raison."

Le dernier paragraphe de *La Vie d'Artiste* est d'une magnifique et salubre violence :

"Et le jour, qui n'est pas inimaginable, où l'art mourra définitivement dans les chaînes que l'État lui aura rivées avec la complicité des philosophes, ce jour-là, les nations ne pourront plus arborer à la face du monde que le visage de leur histoire, furieusement semblable à celui de ces aimables repris de justice que nos journaux mettent à leur première page, en même temps que le sang".

En effet, si l'on en doutait encore : Camus n'était pas un philosophe.

Avant d'évoquer Chopin, une conclusion déjà, un mot de la fin, le nom d'un compositeur, toujours le même, qui disparaît puis réapparaît à tous les moments de la vie de Camus, interrogé en 1959 par Jean-Claude Brisville (IV 614) :

"- *Et la musique ?*

- Jeune, je m'en suis littéralement soûlé. Aujourd'hui, très peu de compositeurs me touchent. Mais, toujours, Mozart."

Point final !

5 - Chopino

Pourquoi n'avoir pas inclus Chopin dans le paragraphe précédent ? Pour des raisons intimes, ténues, fragiles, délicates, contestables, mais délicieuses. Des raisons ? Des questions plutôt ! Chopin apparaît d'abord dans les écrits de Camus dans son article intitulé *À propos du récital de Raoul Deschamps (Alger-Étudiant, n°153 du 18 février 1933)* :

"Quant au Chopin qui nous fut restitué, ce fut un Chopin gardant toute sa poésie et son émotion, mais débarrassé des fadeurs alanguies qu'on lui a souvent prêtées."

La même année, il note dans *L'Art dans la Communion (op. cit.)* :

"Chopin ? La perfection dans la sensibilité. Chaque note s'arrête au bord de la sentimentalité courante et sotté. C'est la grandeur de Chopin de toujours risquer de perdre son aristocratie idéale pour retomber dans la vie."

Sans pouvoir le prouver, on a l'impression que cette admiration est plus sincère que celle affichée pour Bach quelques lignes auparavant.

Dans le *Cahier III des Carnets (II 927)*, Camus cite une phrase de Liszt :

"Liszt de Chopin : "Il ne se servait plus de l'art que pour se donner à lui-même sa propre tragédie."

Le texte de Liszt, écrit en français, est exactement le suivant :

"Suffoquant presque, sous l'oppression de ses violences réprimées, ne se servant plus de l'art que pour se donner à lui-même sa propre tragédie, après avoir fatigué son sentiment, il se prit à le subtiliser. On retrouve dans les feuilles qu'il a publiées sous ces influences, quelque chose des émotions alambiquées de Jean-Paul (...)"

Ce texte est situé à la fin du premier chapitre du beau livre de Liszt intitulé sobrement *Chopin*, biographie parue en seize articles en 1851 dans *La France Musicale*, puis en volume en 1852 (disponible aujourd'hui : Paris : Éditions Archipoche, 2010, page 38). C'est, de la part de Camus, une note importante ; se donnait-il à lui-même, avant septembre 1941, "sa propre tragédie" ? La confiance qui précède la citation de la phrase de Liszt est déjà tragique :

"La volonté aussi est une solitude".

Et, peu avant, en mars 1941, cette terrible décision déjà citée - un vœu qui ne sera pas exaucé :

“Renoncer à cette servitude qu’est l’attraction féminine”.

Il est vrai qu’il y a chez le tragique et chaste Chopin quelque chose du tragique et sensuel Camus.

En 1953, Camus revient à Chopin (IV 1170) :

“Chopin (né en 1810). Excellent acteur. Se refuse à l’Opéra par certitude de ce qu’il est. Félicite Tallberg (*sic*) qui a joué un nocturne en le déformant comme d’habitude : “Mais de qui était-ce donc ?” Prodigue et généreux. Mais impitoyable dans ses rapports avec les éditeurs.

À la Valdemosa les mouettes perdues dans la brume qui viennent heurter à toutes les vitres du cloître.”

Nous n’avons pas trouvé l’origine de ces phrases. Elles ne se trouvent, sauf erreur, ni dans *Histoire de ma vie*, ou *Un Hiver à Majorque* de George Sand, ni dans *Chopin ou le poète* de Pourtalès (1926), ni dans les *Notes sur Chopin* de Gide (1931 puis 1948), ni dans *Aspects de Chopin* d’Alfred Cortot (1949), ni dans le *Chopin* de Liszt... Mais c’est bien exact : Chopin était un excellent acteur, et même un acteur comique, un boute-en-train ! Liszt en témoigne (*op. cit.* p. 126) :

“Il déployait dans la pantomime une verve drôlatique longtemps inépuisée, s’amusaient souvent à reproduire dans de bouffonnes improvisations les formules musicales et les tics particuliers de certains virtuoses, à répéter leurs gestes, leurs mouvements, à contrefaire leur visage avec un talent qui commentait en une minute toute leur personnalité. Ses traits devenaient alors méconnaissables ; il leur faisait subir les plus étranges métamorphoses ; mais tout en imitant le laid et le grotesque, il ne perdait jamais sa grâce native.”

Le témoignage de George Sand est identique (*Œuvres autobiographiques*, Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, 1971, volume II, page 442) :

“...tout à coup, comme pour enlever l’impression et le souvenir de sa douleur aux autres et à lui-même, il se tournait vers une glace, à la dérobée arrangeait ses cheveux et sa cravate, et se montrait subitement transformé en Anglais

flegmatique, en vieillard impertinent, en Anglaise sentimentale et ridicule, en juif sordide. C’était toujours des types tristes, quelque comiques qu’ils fussent, mais parfaitement compris et si délicatement traduits qu’on ne pouvait se lasser de les admirer”.

Celui qu’on nommait entre amis “Chopino”, “Chopinet”, “Monsieur Fritz”, “Sopin” (Louis Viardot se moquait ainsi du zézaiement de Chopin), “Zopin” (écrit Liszt), “Chip-Chip”, “Chopinski” était aussi, comme Camus intime, un amuseur. “Cher crétin” lui écrivait Liszt, et George Sand : “cher cadavre”... On songe aux petits noms dont Camus affublait ses amis Janine et Michel Gallimard (Todd, p. 604, 645, 648) : “Castor et Pollux”, “Tutti Quanti”, “Mes chers et poissons”, “Chers Cavaliera et Rusticana”, “Chers Zig et Puce”... Il y avait dans cette amitié quelque chose de l’ambiance (quand elle était sereine !) de Nohant.

Un lecteur, avant de lire et de s’attarder sur les confidences des *Carnets*, ne songe guère à comparer et réunir Camus et Chopin ! S’il fallait trouver un double à Albert Camus, on pourrait penser à ces personnages qu’il a tant aimé : Don Quichotte, Ismaël, le narrateur de *Moby Dick* ou *Don Giovanni*. Mais Chopin ! Pourtant, si Camus a lu la biographie écrite par Liszt en 1941 et s’il revient à Chopin en 1953, c’est bien la marque d’un véritable intérêt. Et le tragique, la solitude, l’humour, le goût du théâtre intime de Chopin ont évidemment concerné Camus - sans même parler de leurs quintes de toux, de leurs suffocations et de la menace mortelle qui accompagna tous les instants de leur vie.

Une dernière apparition de Chopin cache, ou plutôt révèle encore une fois, un musicien dont les chansons accompagnèrent toute l’existence de Camus. C’est une courte scène, cocasse, vécue à La Haye le 5 octobre 1954 (IV 1195) :

“...pendant qu’il pleuvait toujours et qu’un pianiste sur un tricycle {...} jouait Tristesse de Chopin accompagné par un {...} violoniste et un distingué mendiant qui ramassait des piécettes...”

Tristesse de Chopin est l’étude opus 10 n°3, et aussi, une célèbre chanson de... Tino Rossi.

Puisqu’il a été question plus haut de Franz Liszt, une courte digression semble ici permise.

Une œuvre très célèbre de Liszt est *La Vallée d'Obermann*, sixième pièce de la première série des *Années de Pèlerinage*. Elle est en partie inspirée du roman d'Étienne Pivert de Senancour publié en 1804 *Oberman*. Ce roman qui n'eut aucun succès lors de sa parution devint célèbre vers 1840 grâce, en particulier, à de nouvelles éditions (sous le titre d'*Obermann*) préfacées par Sainte-Beuve (1833) et Georges Sand (1840). Dans l'édition de 1840 (Paris : Charpentier libraire-éditeur) on lit, page 77 (lettre XIV) :

“... lorsque je marche dans les les bruyères, entre les genièvres encore humides, je me surprends quelquefois à imaginer les hommes heureux. Je vous assure, il me semble qu'ils pourraient l'être.”

Sisyphé n'est pas loin ! Autre phrase camusienne de Senancour (*op. cit.* p. 320, lettre LVI) :

“C'est surtout la mélodie des sons qui, réunissant l'étendue sans limites précises à un mouvement sensible mais vague, donne à l'âme ce sentiment de l'infini qu'elle croit posséder en durée et en étendue”.

On songe à la “mélodie du monde” entrevue à Tipasa. Camus a lu *Obermann*, il place en exergue de sa *Quatrième Lettre à un Ami allemand* deux phrases extraites de la lettre XC (*op. cit.*, p. 503) :

“- L'homme est périssable. - Il se peut ; mais périssons en résistant, et, si le néant nous est réservé, ne faisons pas que ce soit une justice.”

La présente digression doit être maintenant close, mais la lecture attentive d'*Obermann*, œuvre étrange et passionnante, à mi-chemin entre Lord Byron et Henry David Thoreau, révélera, à qui voudra, de saisissantes correspondances camusiennes.

Marcel Proust (*Essais et Articles*, La Pléiade, 1971, p 568) s'exclame :

“Senancour, c'est moi ! “

“Chopin..., Obermann..., c'est moi ! “ nous a soufflé Albert Camus.

6 - Nous ne sommes pas de cette course

Pierre-Eugène Clairin (1897 - 1980) fut un bon artiste qui, jeune, fréquenta Paul Sérusier,

Maurice Denis, Édouard Vuillard. et dont le talent de graveur et de lithographe est toujours très remarquable. Il fit la connaissance d'Albert Camus à Alger en 1929 par l'intermédiaire de Pascal Pia, rédacteur en chef d'*Alger républicain* et sans doute d'Edmond Charlot à la librairie *les vraies Richesses*. Ce fut le début d'une longue amitié, Clairin illustra *Noces*, *La Femme adultère*, *L'Été*. C'était un homme exquis ; l'auteur de ces lignes découvrit son œuvre comme élève du conservatoire de Paris que Clairin avait décoré de fresques (disparues aujourd'hui ?), puis l'homme, en 1968 près de Saint-Loup-de-Naud, dans l'Yonne, lors de conversations amicales et musicales. Camus consacra deux textes à Clairin :

- *Préface du Catalogue de l'Exposition Pierre-Eugène Clairin* (Galerie Charpentier, Paris, 1945, II 654) ;

- et *Présentation de Dix Estampes originales de Clairin* (Rombaldi, 1946).

On peut être surpris par l'attachement de Camus à l'œuvre de Clairin. À la même époque Francis Ponge écrit sur Braque, Picasso, Hélion, Fautrier ; René Char apprécie Braque, lui-aussi, Vieira da Silva, Max Ernst, Chirico, Nicolas de Staël... Clairin n'est pas d'avant-garde, plutôt “l'héritier d'une tradition” selon le mot de Sérusier. Mais on peut aimer profondément cette grande œuvre comme d'autres comparables, figuratives, de Louis Thibaudet et ses élèves Gérard Gautron, Michel Brigand ou des sculpteurs Marcel Gili, Jean Carton, Jean Osof...

Dans son texte de 1946, Camus se confie (II 670) :

“Et il est peut-être original de dire aujourd'hui que pour un artiste la révolte ne consiste pas à casser les vitres. Elle consiste seulement à bien dire. Les règles du langage artistique peuvent toujours être renouvelées. Mais je ne crois pas un seul instant qu'elles puissent être dédaignées. Les modernes, il est vrai, se sont lassés de cette servitude, pour des raisons qu'il serait facile de définir. Ils ont voulu briser la phrase, la mélodie, la forme. Ce faisant, et pour la plupart, ils ont pris leur place dans l'histoire et l'ont perdu dans l'art.”

C'est le ton d'un manifeste. Quels sont ces musiciens qui “ont voulu briser la mélodie et la forme” ? Camus ne le dit pas. S'agit-il de

Schönberg, de Webern, de Varèse, des futuristes comme Russolo, de ses contemporains John Cage (né en 1912) ou Olivier Messiaen (né en 1908) ? Avouons que certains d'entre eux n'ont pas complètement perdu leur place dans l'art.

Décidément, l'art moderne effraie souvent Camus :

“Les Anciens et les Classiques féminisaient la nature. On y entraît. Nos peintres la virilisent. Elle entre dans nos yeux jusqu'à les déchirer” (*Carnets*, IV 1127).

“Art moderne : art de tyranniser” (IV 1084).

“Musique atonale, musique pour les voix, pour la voix fiévreuse de l'homme moderne” (IV 1186).

“Musique atonale toujours dramatique bien qu'elle se veuille en réaction contre le romantisme musical. C'est que la non-signification est toujours pathétique et dramatique. *Id.* pour la peinture” (IV 1262).

“Art moderne : Ils retrouvent l'objet parce qu'ils ignorent la nature. Ils refont la nature, et il le faut bien puisqu'ils l'ont oubliée. *Quand ce travail sera refait*, les grandes années commenceront” (II 1112, *Carnets* de 1948).

On pourrait multiplier ces déclarations illustrant le désaccord profond de Camus et de la “modernité artistique”, déclarations plus que méfiantes : hostiles. Dans sa dernière interview, de décembre 1959, il persiste et signe (IV 663) :

“Je ne suis pas sûr d'être moderne.”

On s'en doutait. Il est encore plus sincère, en février 1947, dans sa préface au recueil *Temps lointain* de sa très ancienne chère amie Blanche Balain ; il s'exprime à propos du *Lac* de Lamartine (II 698) :

“Mais il est vrai aussi que je continue d'aimer ces vers, que je tiens Mallarmé pour un poète mineur comparé à Baudelaire ou à Hugo, que je préfère les vers d'amour à la poésie des barricades, que j'ai un faible pour les longs poèmes et pour l'alexandrin... Bref, un réactionnaire”.

On est heureux de trouver ce mot sous la plume de Camus. Il aurait été délicat de l'employer à son égard sans craindre les foudres des bien-pensants de la modernité. Et puis quelques réactionnaires, en musique, furent d'immenses découvreurs, comme Jean-Sébastien Bach qui, quand ses fils écrivaient déjà dans le

style galant, se complaisait dans le contrepoint le plus sévère, ou Brahms dont l'écriture orchestrale reste bien comparable à celle de Beethoven. “Réactionnaire”, oui ! mais aussi chercheur et découvreur ; bien des pages de Camus sont des révélations. La fin du texte consacré aux estampes de Clairin en dit long sur ses sentiments esthétiques “réactionnaires” ; le mot est employé ici chaleureusement, avec sympathie, fraternité et tendresse :

“Qu'on regarde longtemps ces estampes et ces gravures. Ce sont bien les mots de la fin, la couronne enfin harmonieuse de la révolte vraie. Les vitres sont cassées, peut-être, mais il n'y a pas eu de bruit. Ce qui passe maintenant au travers de ces pages, c'est le souffle égal d'une beauté reconquise sur le désordre du monde.”

C'est ce que disaient les quelques vers de Blanche Balain cités par Camus qui voit en eux “l'aveu d'une fierté” (II 699) :

*Nous ne sommes pas de cette course
Ni de cette ambition
Pour l'âme remontant vers sa source
Et vers son horizon
Il faut une paix plus hautaine
Et un amour distant.*

7 - Liberté, Joie, Mesure

Il y a dans l'œuvre de Camus, à côté et au-delà de l'absurdité, du désordre, du nihilisme, de “l'affreuse morale du monde” (IV 584), une joie. Celle de *Tipasa*, bien sûr, mais encore celle de l'artiste proche de la mort (*Le Pari de notre Génération*, octobre 1957, IV 584) :

“Le but de l'art, le but d'une vie ne peut être que d'accroître la somme de liberté et de responsabilité qui est dans chaque homme et dans le monde. (...) ...il n'est pas une seule œuvre d'art véritable qui n'ait finalement augmenté la liberté intérieure de chacun de ceux qui l'ont connue et aimée.”

On songe à Spinoza :

“La joie est le passage de l'homme d'une moindre à une plus grande perfection” (*Éthique*, IIIe partie, *Définitions des Sentiments* II).

“Personne plus que moi n'a désiré l'harmonie,

l'abandon, l'équilibre définitif, mais il m'a toujours fallu y tendre à travers les chemins les plus raides, le désordre, les luttes" (IV 1116).

Ce texte des *Carnets* est résolument épicurien ; c'est presque une définition du mot "ataraxie". Mais Camus, contrairement à Francis Ponge qui honore souvent Lucrèce et "l'immortel Épicure", ne s'avoue pas les liens qui l'unissent très profondément à la pensée du philosophe du *jardin*. "L'affreuse tristesse d'Épicure" (*L'Homme révolté*, III 85) est une locution imméritée et d'une "affreuse tristesse". Pourtant dans *Noces à Tipasa* (I 108) le ton est complètement épicurien :

"Mais aujourd'hui l'imbécile est roi, et j'appelle imbécile celui qui a peur de jouir."

Épicurienne encore, cette citation de Chamfort (I 929) :

"Jouis et fais jouir sans faire de mal à toi et à personne, voilà, je crois toute la morale".

C'est exactement ce qu'écrivait Saint-Évremond (1614 - 1703) dans *Reflexions sur la Doctrine d'Épicure*, à la fin de son sixième et dernier chapitre :

"La conclusion que je tire de tous ces discours, c'est qu'il nous faut réjouir avec modération. A le bien prendre, tout ce qui se fait au monde se fait seulement pour le plaisir, & prenant diverses routes nous visons tous à un même but.

Celui qui cherche de l'estime au travers des mousquetades, & qu'on voit couvert de feux & de plomb pour acquérir de l'honneur, ne s'exposeroit pas au moindre danger s'il n'espéroit la satisfaction qu'on trouve en soi-même, ou celle qui vient de la renommée.

Celui qui vieillit dans un cabinet, parmi la crasse & la poussière des Livres, n'emploieroit pas la moindre veille à l'acquisition des Sciences, s'il n'en retiroit quelque volupté.

Toutes nos actions n'ont de véritable objet que le plaisir. Sans lui les plus laborieux demeureroient languissants & oisifs. C'est lui seul qui nous fait agir : c'est lui qui remue tous les corps : c'est lui qui donne le mouvement à tout l'univers.

Que chacun prenne donc la voie la plus conforme à ses innocentes inclinations, & jouisse de toutes les délices qui se présentent, lorsqu'elles ne sont point opposées au sentiment de l'honneur, ni à celui de la conscience."

C'est déjà une apologie de la mesure et la mesure (*L'homme révolté*, III 319) "est une pure tension".

"Aujourd'hui, maman est morte"

est une phrase célèbre ; de Camus bien entendu, mais aussi de Mozart ! qui écrivait à l'abbé Franz Joseph Bullinger à Salzbourg :

"Paris ce 3 juillet 1778 {sic en français}. Pleurez avec moi, mon ami ! (...) ma mère, ma chère maman n'est plus ! (...) Les 3 derniers jours, elle délirait constamment, et aujourd'hui, à 5 heures 21 minutes, elle entra en agonie (...) elle ne me voyait pas, ne m'entendait pas et ne sentait rien. - Elle resta ainsi pendant 5 heures jusqu'au moment où elle expira, à 10 heures 21 minutes..."

Cette lettre déchirante est énigmatique. Mozart s'est souvent plaint de recevoir comme paiement, plutôt que de l'argent, des tabatières ou des montres. Mais ces montres n'indiquaient guère précisément les minutes comme nos modernes outils. Dans cette lettre, l'accumulation de chiffres et de nombres est sans doute voulue et signifiante. 3, 5 et 21 font partie de la suite de Fibonacci (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21...), suite liée aux proportions dorées, suite que Mozart employa fréquemment dans ses compositions. Ainsi son *Lied* "Lorsque Louise brûla les lettres de son amant infidèle" (*Als Luise...* K. 520) est entièrement construit en respectant l'énoncé de Fibonacci.

Alors 3, 5, 21 ont-ils un sens, comme "X et VII, V, XIII; XIII et quinze" chez Guillaume de Machaut, comme "2 + 1 + 3 + 8" chez B + A + C + H... , ou comme les lettres "A, G, E," chez Mahler ou encore "A, S, C, H" chez Schumann ?

Nous ne saurions déchiffrer ce message écrit au chevet de sa mère morte, mais il montre à quel point ce jeune homme en deuil et désespéré demeurait fidèle à la mesure, à la rigueur d'une arithmétique signifiante qui avait guidé son inspiration musicale. Il y a la joie de *Tipasa* chez Mozart mais sa musique était sans doute aussi et déjà - Camus le savait - une "musique de Midi".

8 - Musiques de scène

Camus fut un génial homme de théâtre. Les pièces qu'il a écrites, adaptées ou mises de scène

ont donné lieu à l'utilisation ou à l'écriture de musiques. On trouvera ici une courte liste, incomplète sans doute, de musiciens qui ont travaillé pour son théâtre.

Franck Turner

“Musique de scène du genre sautillant bien sûr (mais j’espère que Turner est toujours là et toujours aussi complaisant pour nos bizarreries)” (III 510).

Cette lettre du 12 novembre 1940 adressée à la Compagnie de l'Équipe concerne *Les Esprits*, comédie de Pierre de Larivey, “adaptation en trois actes par Albert Camus”. Lorsqu'en mars 1937 le Théâtre du Travail monte *Don Juan* de Pouchkine, Turner donne (le 24 mars) un récital de piano dont le programme était consacré à des compositeurs contemporains de Pouchkine (I 1436). À cette occasion, Camus joua le rôle de *Don Juan* dans la pièce de Pouchkine. Louis Bénisti nota “Alors, Albert Camus, drapé sous le manteau d'un Don Juan, nous apparut comme le play-boy à qui beaucoup de femmes allaient encore accorder leurs faveurs” (I 1437).

Dans *Le Temps du Mépris* (d'après le roman d'André Malraux), les indications musicales sont nombreuses (I 1085 sqq.) :

“Tambour ; un chant ; tambour encore ; “Le chant s’élève très puissant” ; “Choral de Bach” ; “Pendant toute sa tirade Choral de Bach sur la flûte” et enfin pour finir : “Choral”.

Turner a-t-il participé à la mise au point de cette musique de scène ?

Franck Turner (Alger 1898 - Aix-en-Provence 1984), né à Alger de parents anglais suivit des études musicales à Paris et à Londres. Pianiste concertiste et compositeur, il aima jouer Bach, Liszt et Chopin puis introduisit peu à peu dans ses programmes Scriabine, Bartok Satie, etc. Sa carrière de musicien et d'enseignant fut internationale, Alger, Prague, Londres, Paris, Toulouse, Salonique... Le catalogue de ses œuvres est varié : pièces pour piano, transcriptions de musiques anciennes, sonates, duos, quatuor à cordes, mélodies. Beaucoup de ces partitions sont restées manuscrites. Il avait épousé la petite-fille du grand Élisée Reclus. Pour plus d'informations, on peut consulter sur l'internet

<www.memoireafriquedunord.net/biog/biog0

2_turner.htm> où l'on trouvera des renseignements fournis par le fils du musicien, Monsieur Jean-Pierre Turner.

Arthur Honegger

Grand nom d'un grand musicien mais discrète musique pour *L'État de siège* (1948). On peut écouter aujourd'hui l'enregistrement de ce “Spectacle en trois parties”, et la grande musique qu'on y entend est celle, éblouissante, de la voix de Maria Casarès.

Deux petites notes :

- le passage de la comète, dans le prologue, est évidemment une allusion aux *Pensées diverses écrites à un docteur de Sorbonne à l'occasion de la Comète qui parut au mois de décembre 1680* de Pierre Bayle (1682), Pierre Bayle dont le *Dictionnaire historique et critique* (1697) sera un “personnage” important des *Silences de Paris*.

- Pierre Boulez travailla une dizaine d'années pour la Compagnie Renault-Barrault à partir de 1946 ; il en devint le directeur musical, dirigeait l'ensemble instrumental ou l'orchestre et jouait les ondes Martenot. C'est lui qui joua et dirigea la musique de *L'État de siège*. Il y eut donc une rencontre Camus-Boulez. Ont-ils parlé de “vitres cassées” et de “mélodies brisées” ? Dans un entretien avec François Meïmoun, consultable sur le site <musicologie.org> Pierre Boulez se souvient :

“ A l'issue d'une représentation de *L'État de siège* d'Albert Camus, donnée par la compagnie Barrault, nous avons dîné tous les trois. Je trouvais le texte de cette pièce raté, mais j'ai gardé pour moi ma désapprobation de la langue de Camus, d'autant que Char la louait vivement et qu'ils étaient très amis”.

Les rapports de Boulez et de Char ne furent, semble-t-il, guère enthousiasmants :

“Je ne connaissais pas encore René Char au moment de cette première création du *Visage nuptial*. Nous nous sommes rencontrés peu après. Nous n'avons jamais eu de véritables échanges sur la musique. Je crois qu'il n'entendait pas la musique, chose que je ne lui reproche aucunement d'ailleurs puisqu'il m'a laissé libre de mettre en musique ses poèmes. Nous avons tout de même échangé sur les manières possibles de transposer un poème en musique. Mais ce fut l'essentiel. Il n'est jamais venu à un concert du

Domaine musical, au contraire d'Henri Michaux d'ailleurs.”

L'expression de Pierre Boulez, est là, comme souvent, sincère et directe voire abrupte. Mais on peut penser qu'il se trompe en négligeant l'oreille musicale de René Char ; *Lettera amorosa* ne semble pas être l'œuvre d'un sourd.

Pierre Capdevielle.

Les Silences de Paris (1949) est une “émission constituée, dans sa plus grande partie, par des documents sonores retrouvés dans les archives radiophoniques” (III 1154).

Camus voulait faire entendre

“la petite voix de ceux qui aiment et souffrent. On la reconnaîtra dans cette émission (...) Elle résiste et, résistant, elle justifie l'espoir”.

Pierre Capdevielle (1906 - 1969), auteur de deux opéras de trois symphonies, de pièces de musique de chambre et de musique vocale en composa la musique.

Le bouquiniste, narrateur de cette aventure, a une bonne et subtile oreille :

“Tout bien réfléchi, je ne sais pas si c'était un bon ou mauvais temps. Mais je sais que c'était un temps pour l'oreille. Il a fallu s'adapter et changer nos idées sur le bien et sur le mal. Il a fallu se faire, si j'ose dire, une morale acoustique. Ce qui était bien; c'est ce qui se taisait. Ce qui était mal, on l'entendait de loin et à longueur de journées et de nuits” (III 1158).

Comme la notion de “morale acoustique” est séduisante ! Et tellement valable, dans les mêmes termes, aujourd'hui ! Ce bouquiniste a bien de l'esprit. Et bien du goût puisqu'il avait une amitié pour son “dictionnaire de Bayle (...) l'édition de Rotterdam en trois in-octavo” (III 1156). C'était l'édition de 1702 ou celle de 1715.

L'émission se termine ainsi :

“Qu'est-ce que c'est ? Le dictionnaire de Bayle ? Non, monsieur, il n'est pas à vendre...” (III 1168).

Camus appréciait le grand Pierre Bayle. En 1947, il note dans les *Carnets* :

“Bayle. Pensées diverses sur la comète.

“Il ne faut pas juger de la vie d'un homme ni par ce qu'il croit ni par ce qu'il publie dans ses livres” (II 1095)”

En 1948, il revient à cette citation qu'il transforme (II 1120) :

“Il ne faut juger un homme ni à ce qu'il dit, ni à ce qu'il écrit, selon Bayle (*sic*). J'ajoute : ni à ce qu'il a fait.”

Cette idée était donc bien importante. Mais Camus confond Pierre Bayle et Henry Beyle... Bayle qu'on doit prononcer Ba-île car il était du Comté de Foix, s'en serait sans doute agacé car en 1674 et 1675, lors d'un de ses séjours en France (il a longtemps résidé par prudence hors de France) il signait ses écrits, avec humour et sans doute un peu d'impatience, *Bêle* !

Un contemporain de Camus (un peu plus âgé) appréciait également le dictionnaire de Bayle dont il annotait sans vergogne une édition du début du XVIIIe siècle au stylo rouge. Il s'agissait de Jean Giono. Beaucoup de choses séparèrent Giono et Camus, mais certaines les réunissent aujourd'hui dans nos lectures, comme ce dictionnaire de Bayle, leur amour pour Mozart et surtout leur commune admiration (adoration) pour Herman Melville.

10 - Camus compositeur

Lorsque le Théâtre du Travail monta le *Prométhée enchaîné* d'Eschyle pour deux représentations, les 6 et 7 mars 1937, les costumes furent réalisés par Marguerite Elisabeth Saïda KOECHLIN dite Marie VITON (citée plus haut) et la musique de scène fut l'objet d'une correspondance entre Camus et MJ (ou JM !) ses amies Marguerite Dobrenn et Jeanne Sicard (I 1435). Camus était très imaginaire :

“Musique de scène : 1) “petite fugue” de Bach, sur la flûte 2) sardanes espagnoles sur deux guitares et trompettes pour la catastrophe finale...”

Les idées sont étonnantes, la “petite fugue de Bach sur la flûte devait être un peu courte et deux guitares remplaçant une *cobla* catalane auraient eu fort à faire. La lecture de cette correspondance est savoureuse :

“...je crois qu'il faut tout sacrifier à une unité d'expression dans le texte comme dans la musique et d'ailleurs j'ai travaillé beaucoup tout ça : j'en suis arrivé à faire de la composition musicale (vous savez que je ne sais pas distinguer un *do* d'un *si*). Oui j'ai monté une réplique musicale de la tragédie elle-même”.

On pourra lire avec plaisir cette “réplique musicale” qui n’est pas entièrement citée ici (I 1436).

“J’en suis arrivé à faire de la composition musicale”

est donc une demi-plaisanterie, car Camus invente, entend intérieurement et propose ; il ne lui manquait que la faculté d’écrire tous ces sons imaginés.

Camus compositeur est une évidence dans *L’Hôte* (*L’Exil et le Royaume* ; IV 46 à 58).

On lit, au début, c’est le deuxième paragraphe : « Il traversa la salle de classe, vide et glacée. Sur le tableau noir les quatre fleuves de France, dessinées avec quatre craies de couleurs différentes, coulaient vers leur estuaire depuis trois jours . »

Et à la fin, dernier paragraphe : « Derrière lui, sur le tableau noir, entre les méandres des fleuves français s’étalait, tracée à la craie par une main malhabile, l’inscription qu’il venait de lire : « Tu as livré notre frère. Tu paieras . »

Comme *Saint James Infirmary* dans *La Peste*, cette variation – musicale – est signifiante. *L’Hôte* est une nouvelle très comparable à une fugue ! Une fugue, c’est d’abord un thème (un « sujet ») exposé successivement par toutes les voix. Dès la deuxième entrée apparaît un « contresujet », une mélodie qui accompagnera sans cesse le sujet. Et la fugue se développe ainsi : exposition, divertissement, réexposition, divertissement, modulations dans les tons voisins, enfin strette finale.

Le sujet, dans *L’Hôte*, est présenté sous trois formes remarquablement musicales :

RECTUS : c’est l’instituteur qui refuse de livrer à la police l’Arabe qu’on lui a confié ;

INVERSUS (par « mouvement contraire ») : c’est Balducci, le vieux gendarme, qui insiste pour que l’Arabe soit conduit à la prison par l’instituteur (« C’est un ordre ! ») ;

PER AUGMENTATIONEM (sujet en valeurs longues) : c’est l’Arabe, presque muet, presque immobile.

Le contresujet, c’est le CHEMIN, terrestre ou fluvial.

Lisons :

Deux hommes (le gendarme et l’Arabe) montent vers l’instituteur ; « Ils n’avaient pas

encore entamé le raidillon »

Dans la salle de classe, les quatre fleuves coulent vers leur estuaire.

Les deux hommes attaquent le raidillon puis arrivent.

Balducci, le vieux gendarme, confie l’Arabe à l’instituteur.

Puis il s’en va : « Il avançait vers le raidillon sans se retourner, disparut le premier et le cheval le suivit. On entendit une grosse pierre rouler mollement . »

Le raidillon a disparu ; avec la « grosse pierre » une issue se ferme.

Le soir, Daru, l’instituteur, amène un lit et l’étend, pour l’Arabe, « perpendiculairement à son propre lit ». Pourquoi cette précision . C’est sans doute un signe...

Le lendemain, Daru conduit l’Arabe sur une éminence et lui désigne deux chemins : à l’Est, vers la police et un autre au Sud, par où le prisonnier peut s’échapper. L’Est, vers la prison, le Sud, vers la liberté. On comprend quel signal offraient les lits perpendiculaires.

Puis, à la fin, les quatre fleuves, au tableau, raturés par la menace, « Tu paieras. »

Les quatre fleuves sont balafrés, éradiqués ; il n’y a plus de chemins.

C’est ce que dit la dernière phrase : « Dans ce vaste pays qu’il avait tant aimé, il était seul ».

Daru, « dans ce vaste pays qu’il avait tant aimé », n’était plus qu’un point, final !

Une autre « composition » : on entend une musique dans *L’Étranger*, une musique du compositeur Albert Camus. C’est lors de la mort de l’Arabe :

“L’autre soufflait dans un petit roseau et répétait sans cesse, en nous regardant du coin de l’œil, les trois notes qu’il obtenait de son instrument. Pendant tout ce temps, il n’y a plus eu que le soleil et ce silence, avec le petit bruit de la source et les trois notes.

(...)

On a encore entendu le petit bruit d’eau et de flûte au cœur du silence et de la chaleur.

(...)

Nous nous regardions sans baisser les yeux et tout s’arrêtait ici entre la mer, le sable et le soleil, le double silence de la flûte et de l’eau.

(...)

Je ne sentais plus que les cymbales du soleil sur mon front...

(...)

...et c'est là, dans le bruit à la fois sec et assourdissant que tout a commencé."

Cette musique, admirable, est une variation. Le thème a précédé, évidemment, dans *Noces, Le Vent à Djémila* :

"Ce qu'il faut dire d'abord, c'est qu'il y régnait un grand silence lourd et sans fêlure - quelque chose comme l'équilibre d'une balance. Des cris d'oiseaux, le son feutré de la flûte à trois trous, un piétinement de chèvres, des rumeurs venues du ciel, autant de bruits qui faisaient le silence et la désolation de ces lieux. De loin en loin, un claquement sec..."

Cette technique de la variation, qu'on a évoquée plus haut à propos de la chanson *Saint James Infirmary* entendue dans *La Peste*, est un point fort de l'écriture de Camus, une technique portée à son apogée par Francis Ponge dans *Pour un Malherbe* et *Comment une figue de paroles et pourquoi*.

Philosophe Camus ?

Non ! dit-il. Croyons-le !

Comédien, Camus ?

Oui, sur scène, dans la vie, et dans l'écriture même de son œuvre dans laquelle il est parfois difficile de comprendre qui est l'auteur, qui est l'acteur, qui parle vrai, qui joue un rôle, qui tient le masque, qui se découvre.

Poète, Camus ?

Oui, ses poèmes en prose, souvent cachés, se révèlent à l'oreille et à l'œil du lecteur suffisamment attentif et distrait.

Musicien, Camus ?

Oui, un musicien "existentiel" ! c'est-à-dire un homme pour qui l'existence de la musique a été une réalité vécue personnellement et concrètement. Et puis celui qu'on a nommé "philosophe de l'absurde" savait que le mot *absurdus* signifiait "dissonant, détonant, discordant". Toute sa vie et toute son œuvre n'ont eu de cesse de trouver un chemin, une mesure, une harmonie, susceptibles de "sauver

la dissonance" comme on disait au XVIIIe siècle ; c'était un terme de composition musicale. Rousseau, dans une lettre du 13 février 1761 écrivait :

" Vous avez raison de croire que l'harmonie de l'âme a aussi ses dissonances, qui ne gâtent point l'effet du tout : chacun ne sait que trop comment elles se préparent , mais elles sont difficiles à sauver. C'est dans les ravissants concerts des sphères célestes qu'on apprend ces savantes successions d'accords. Heureux dans ce siècle de cacophonie et de discordance, qui peut se conserver une oreille assez pure pour entendre ces divins concerts."

Camus, dans son "siècle de cacophonie et de discordance "fut sans doute guidé par "une oreille assez pure" et, évidemment, conduit, comme Dante par Virgile, par des maîtres qui demeurent les nôtres, Mozart, Chopin, Tino Rossi...

Remerciements

Mesdames M. et N. ont lu et corrigé cette communication, en ce qui concerne le fond et la forme, je leur en suis très reconnaissant.

Claude-Henry Joubert

Membre titulaire de l'Académie

Communication du jeudi 18 octobre 2018

Victor Jacquemont, naturaliste-voyageur

Patrick Masure

Résumé

Victor Jacquemont (1801-1832) voyageur, naturaliste stendhalien dans l'Himalaya. Le grand naturaliste-voyageur que fut Victor Jacquemont a laissé une abondante correspondance relatant les circonstances de l'exploration . qu'il entreprit dans le nord de l'Inde et sur les contreforts de l'Himalaya. Ses multiples talents lui promettaient une carrière des plus brillantes. Son existence fut hélas trop vite interrompue.

Ma communication évoquera les origines familiales, la jeunesse de Victor Jacquemont, ses débuts mondains, l'amitié qui le lia à Stendhal et Mérimée, la passion amoureuse qu'il eut pour la cantatrice Adélaïde Schiassetti puis son voyage aux Etats-Unis d'Amérique. Nous verrons ensuite l'itinéraire qui du Havre l'a amené à Calcutta en 1829, la faveur dont ce jeune homme de 26 ans jouit de la part des autorités britanniques durant les étapes de son périple au nord de l'Inde, le courage, l'audace de l'explorateur, les résultats du travail du naturaliste, l'œuvre remarquable de l'épistolier, enfin les circonstances de sa mort prématurée en 1832. En conclusion nous aborderons cette question : pourquoi la mémoire de ce héros romantique est-elle aujourd'hui presque effacée ?

Abstract

Victor Jacquemont (1801-1832) traveler, Stendhalian naturalist in the Himalayas. Victor Jacquemont, the great naturalist-traveler, left an abundant correspondence describing the circumstances of the exploration. that he undertook in the north of India and in the foothills of the Himalayas. His many talents promised him a brilliant career. Its existence was unfortunately too quickly interrupted.

My talk will evoke the family origins, the youth of Victor Jacquemont, his social beginnings, the friendship that binds him to Stendhal and Mérimée, the love affair he had for singer Adélaïde Schiassetti and his trip to the United States of America . We will then see the route that Le Havre brought to Calcutta in 1829, the favor of which this young man of 26 years enjoys from the British authorities during the stages of his journey to the north of India, courage, the audacity of the explorer, the results of the work of the naturalist, the remarkable work of the letter-writer, and finally the circumstances of his untimely death in 1832. In conclusion we will approach this question: why the memory of this romantic hero is- she today almost erased?



Monsieur le Président, chers collègues, si Victor Jacquemont n'avait été qu'un naturaliste-voyageur aussi audacieux que savant, sa renommée serait enfermée, pourrait-on dire, dans les immenses armoires métalliques de l'herbier du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris où sont conservées les 5 800 planches par lui collectées en Inde. De temps en temps, son nom, latinisé, serait prononcé par quelque dendrologue à propos du *Betula jacquemontii*, le bouleau de l'Himalaya, et de quelques autres végétaux auxquels on a donné son nom. Mais c'est d'une destinée hors du commun dont j'aimerais vous entretenir, celle d'un personnage dont les qualités d'âme et les multiples talents promettaient une carrière des plus brillantes. Il se serait vu homme politique ; l'utilité, le bien public le fascinaient ; son existence si brève nous laisse devant une éclosion si prometteuse, hélas trop vite interrompue.

J'évoquerai la famille, la jeunesse de Victor Jacquemont, ses débuts mondains, quand il se lie d'amitié avec Stendhal et Mérimée, sa liaison amoureuse avec la cantatrice Adélaïde Schiassetti puis son voyage aux Etats-Unis d'Amérique, destiné justement à le guérir de cette passion. Nous verrons l'itinéraire qui du Havre l'a amené à Calcutta en 1829, et la faveur inouïe dont ce jeune homme de 26 ans jouit de la part des autorités britanniques durant toutes les étapes de son périple au nord de l'Inde, le courage, l'audace de l'explorateur, les résultats du travail du naturaliste, l'œuvre abondante et remarquable de l'épistolier, enfin les circonstances de sa mort prématurée en 1832. En conclusion je tenterai de répondre à cette question : pourquoi la mémoire de ce héros romantique est-elle aujourd'hui presque effacée ?

Et pourtant, une statue de Jacquemont figure en bonne place sur la façade de l'hôtel de ville de Paris. Une rue lui est consacrée dans le 17^{ème} arrondissement, sa célébrité s'est maintenue durant les trente premières années du vingtième

siècle comme en atteste ce petit fascicule édité en 1930, destiné à la jeunesse ou encore ce chromo publicitaire qui lui est à peu près contemporain.

Qui est donc Victor Jacquemont ?

Il est né à Paris le 8 août 1801, son père, Venceslas Jacquemont, originaire de la petite ville d'Hesdin où il est toujours honoré **P**, avait fait une modeste carrière dans les administrations du Consulat et de l'Empire. Homme de progrès, il fut impliqué à tort dans la conspiration du général Mallet ce qui lui valut de passer plusieurs mois en prison sans le moindre jugement.

Madame Jacquemont meurt en 1818 laissant trois enfants, les deux frères aînés, Porphyre et Frédéric et Victor le cadet, qui, après de solides études classiques au Lycée Impérial, aujourd'hui Louis-le-Grand, est bachelier en 1822.

Venceslas, de visage austère, est un disciple des sensualistes et des idéologues, un philosophe en chambre qui écrivit toute sa vie pour lui-même sans jamais rien publier. Républicain sous Napoléon, il est lié par une solide amitié à La Fayette, à Chaptal et à Destutt de Tracy.

Venceslas n'a pas de fortune ni de maison de campagne mais il a des amis, et des bons qui accueillent volontiers le jeune Victor durant ses vacances d'été, admis familièrement chez La Fayette en son château de la Grange-Bléneau à Courpalay ainsi que chez Antoine Destutt de Tracy qui fut pour lui une sorte de second père. C'est justement dans le salon parisien des Tracy qu'il fait, en 1820, la connaissance de Stendhal, alors âgé de 37 ans. Jacquemont, 19 ans, figure au premier rang de la petite troupe d'happy few qui fait escorte à Stendhal et que celui-ci appellera « les gens de 1860 ». Il se lie d'amitié avec Mérimée à la suite d'une bousculade involontaire qui faillit tourner au duel mais les deux adversaires se découvrent de telles affinités qu'ils deviennent amis, pour la vie.

En 1822, habité par le sens de l'utilité publique, il se destine tout d'abord à la médecine

mais un regrettable accident survenu dans un laboratoire l'immobilise plusieurs mois et altère durablement sa vue. Il doit alors renoncer aux études médicales et s'orienter vers d'autres disciplines : la botanique, la zoologie et la géologie.

Il suit les cours de Desfontaines, de Cuvier, rencontre de Candolle à Genève et déjà, avec quelques amis, entreprend des petites expéditions botaniques dans le Massif Central, les Alpes et les Pyrénées au cours desquelles il se lie avec Achille Chaper avec lequel il correspondra durant toute sa brève existence et sera le confident intime de ses états d'âme durant sa relation amoureuse avec la Schiassetti.

Etudiant travailleur et appliqué, le jeune Victor poursuit avec le plus grand sérieux ses études de sciences naturelles et grâce à une énergie vitale peu commune mène de pair une vie mondaine intense, se partageant entre la faculté, l'opéra et les salons. Amateurs d'opéra, Jacquemont et Stendhal vouent une grande admiration pour l'œuvre de Rossini. A la suite des représentations de *Semiramide* et de *La Donna del Lago* il rencontre la célèbre Giuditta Pasta qui tenait les premiers rôles ainsi que la charmante Adélaïde Schiassetti, mezzo-soprano récemment arrivée à Paris.

Stendhal, durant sa période milanaise entre 1815 et 1821 avait bien connu la famille Schiassetti ; arrivé à Paris en 1821, il n'eut de cesse de faire obtenir un engagement à la jolie Adélaïde.

Car elle est jolie, petite, fière comme quarante aristocrates aux dires de Stendhal, sa voix de contralto avait fait merveille à Munich. Ces voix graves étaient appréciées du public, Giuditta Pasta avait obtenu un franc succès dans le rôle travesti de Roméo du '*Giuletta e Romeo*' de Zingarelli, ce qui fit dire à Théophile Gauthier « Une voix si féminine et en même temps si mâle ! Romeo et Juliette dans le même gosier. »

Le jeune Victor ébloui par ce monde du spectacle tombe éperdument amoureux de la chanteuse avec laquelle il entretient une relation idéalisée qui va durer 2 ans. Adélaïde est attentivement surveillée par sa mère et si l'inclinaison entre les deux jeunes-gens ne fait plus de doute, il n'est nullement question de batifoler.

Cette relation des plus chastes donne lieu à des échanges de lettres fort nourris entre Victor et son ami Chaper, dans lesquelles apparaît l'image d'un jeune homme idéaliste, intimidé par la gente féminine, tout le contraire d'un séducteur cynique. Dans une lettre de 1824, Jacquemont relate comment il a passé la plus exaltante des soirées avec la jeune femme en lui expliquant les lois de Kepler ! Qu'en a-t-elle pensé ?

Lorsqu'il n'est pas aux pieds de sa cantatrice adorée ni à l'université, on peut rencontrer Victor Jacquemont dans les salons de Virginie Ancelot, de La Fayette, du baron Gérard, du baron Mareste, grand ami de Stendhal, de Cuvier ou de Delécluze. Il gagne l'estime de gens comme Humboldt ou Jussieu.

Mais le temps passant, cet amour, qui semble bien n'avoir jamais été consommé ni même vraiment partagé, va s'enliser dans les sables de la déception. Car en réalité, le jeune Victor a *crystallisé* une passion, pour reprendre l'expression consacrée par son ami Beyle, sur un personnage idéalisé et petit à petit il prend conscience que les préoccupations d'Adélaïde sont à cent lieues des siennes. Il n'y aura pas de rupture à proprement parler mais extinction des feux. Et Victor dont la passion amoureuse emplissait toute la vie se retrouve devant un vide, profondément déprimé.

Intervient alors son frère Porphyre, ce frère tant chéri comme on le verra par la suite, lequel consacre à la guérison de son cadet une bonne part de ses économies sous la forme d'un billet pour la traversée vers New York car il lui semble

que les distractions d'un voyage seront en mesure de chasser les lugubres pensées de cet amoureux auto-éconduit.

Et le remède s'avère efficace. A peine débarqué sur le sol américain en 1826, Victor s'intéresse à cette démocratie si proche de l'idéal paternel. Il en analyse les effets sur la société dans d'intéressantes dissertations préfigurant celles de Tocqueville. Une lettre de plus quarante pages écrite à Destutt de Tracy contient ses observations sur le fonctionnement de cette société. « Il découvre la corruption mutuelle de l'élu et de l'électeur et cette conséquence : le mépris des politiciens..... » La démocratie n'est pas l'utopie dont parlait La Fayette. Déjà l'esclavage le révolte et « il aperçoit la possibilité d'une guerre entre les Etats du nord et ceux du midi : il annonce que la question nègre conduira à des effusions de sang... » Jacquemont entreprend quelques courses à l'intérieur du continent, herborisant dans les états du nord-est puis redescend à New York où une affaire d'honneur le conduit à provoquer en duel le général Lallemand. Toutefois, le duel étant interdit dans la jeune république américaine il n'a d'autre solution que de proposer à son adversaire de se rendre à Haïti où il est plus ou moins toléré et où son frère aîné Frédéric s'y trouve alors en tant que Consul de France.

Victor Jacquemont attend donc son adversaire de pied ferme à Port-au-Prince, prêt à mourir car il ne connaît rien aux manèges des armes mais dieu merci, le général se dérobe et le combat n'aura pas lieu. Pendant plusieurs semaines il s'installe dans une cabane en montagne et seul herborise sur les mornes.

Une lettre de son père lui apprend bientôt que le Muséum est disposé à lui confier une mission d'exploration en Inde avec un traitement annuel de 6000 francs soit un peu moins de 16 000 Euros.

De retour à Paris, Jacquemont se prépare à l'accomplissement de cette mission. Il suit les

cours de Brongniart, de Geoffroy Saint-Hilaire et de Cuvier au Muséum afin de parfaire sa connaissance des sciences naturelles, apprend l'art de conserver les plantes, de constituer un herbier, de naturaliser les animaux collectés. Et comme ce voyage le conduira dans des territoires sous tutelle britannique, il se rend à Londres afin de solliciter des lettres de recommandation aux autorités locales. Son charme fait miracle, il séduit l'élite anglaise et en quelques semaines trouve le moyen d'être élu membre de la Société Asiatique de Londres. Il quitte l'Angleterre avec une abondante moisson de lettres qui lui seront infiniment utiles durant sa mission. Puis il prépare son bagage, fait ses adieux à son père et à Porphyre avec la pudeur et le stoïcisme dont il fera preuve à l'heure de sa mort. Départ discret, sans effusion ni larmes. Il embarque à Brest le 26 août 1828.

Avant de prendre le large, tentons de tracer un portrait plus précis de ce grand jeune homme. La mère de Prosper Mérimée a exécuté ce fort joli dessin de Victor Jacquemont, et son ami Mérimée complète ce croquis, écoutons-le : « Physiquement grand, 1m78, et maigre, la tête petite, la vue basse, il porte des lunettes, longs cheveux châtain bouclés. Le timbre de la voix, remarquablement agréable contribue à la séduction. L'air ouvert et prévenant. Ce grand diable - le plus long de mes amis dit Stendhal - est un parfait dandy et un coureur de brousse infatigable, Dur, inflexible, mais gai et bon, et tendre dans le fond. Je n'ai connu personne aussi peu habile que lui à cacher les sentiments qu'il éprouvait. Autant il était aimable et causeur charmant avec les gens qui lui plaisaient, autant il se montrait taciturne et distrait avec ceux qui lui inspiraient quelque répugnance..... La bêtise, la sottise surtout l'irritait d'une manière étrange Beyle, qui bien que très intolérant lui-même en cette matière, gardait toutefois plus de ménagements, lui reprochait d'en vouloir sérieusement à des gens

qui avaient le malheur d'être bêtes. « Croyez-vous donc ajouta-t-il, qu'ils le fassent exprès ? Je n'en sais rien dit Jacquemont d'un ton farouche. (...) Il était stoïcien dans toute la force du terme. » Emile Henriot dans un article qu'il lui a consacré, intitulé : « Un romantique stoïcien » conclut : « Victor, avec cette vigueur glacée qui lui est propre (ressemble) si souvent à un héros de Stendhal ou de Mérimée. »

Venons-en donc maintenant aux relations étonnantes qui s'établirent entre ce jeune homme de vingt ans et son illustre aîné. Durant les quatre années de leur fréquentation, Stendhal n'a pas encore signé ses grands romans mais il a déjà publié les vies de Mozart, Métastase et Rossini qui lui valurent un succès d'estime auprès d'un public cultivé. Il aime passionnément l'opéra, fervent admirateur de Rossini et d'autres compositeurs italiens. Sa conversation brillante, son esprit aussi drôle que caustique, son entrain en font un compagnon apprécié. Bien vite la camaraderie entre le jeune Victor et le pseudo baron de Stendhal se transforme en une réelle amitié. La finesse d'esprit de Jacquemont et sa franchise l'amènent à s'exprimer librement sur les œuvres de son aîné et, chose surprenante, Beyle apprécie les critiques de ce grand freluquet qu'il surnomme *Candidus Judex*. D'emblée il perçut en Victor l'homme de grand talent et de forte individualité. Dans la biographie qu'il a consacrée à Stendhal, Michel Crouzet écrit : « Ce jeune homme l'emportait sur toutes ses connaissances. Il pensait, il vivait « stendhalemment ». Il était tout incarné le dilemme d'Octave ou de Lucien Sous sa plume viennent naturellement les formules de Stendhal. Toutes les antinomies de Stendhal, il les présente et les vit : démocrate par raison, aristocrate par haine du commun et fierté d'être Moi, partisan de l'utile, héros de l'inutile... Victor n'était pas stendhalien par mimétisme et docilité Il éclaire pour nous Stendhal non pas tant comme disciple que comme semblable. »

Il reste de cette relation dix-sept lettres connues de Victor Jacquemont à Stendhal, elles confirment l'étrange ascendant de l'étudiant sur l'écrivain déjà mur. Stendhal voit en lui, citons-le : « la plus haute distinction, comme un bon cheval dans un poulain de quatre mois qui a les jambes (encore) engagées », il tolère les critiques et conseils du jeune Victor qui trouve, et lui fait savoir, que le sémillant baron parle trop de lui-même, il l'appelle d'ailleurs Monsieur 'Je-Moi'. Lorsque Beyle lui adresse un texte sur lequel il lui demande son avis, Jacquemont lui répond sans ménagement : « détestable, style de portier », dans une autre occasion : « pas neuf, confus, pas assez d'idées neuves, du faux, trop de Je-Moi », à propos du pseudonyme *baron de Stendhal* pris par Beyle : « Ce nom-là me paraît fâcheux, il est même assez ridicule »

Mais l'amitié est là et l'admiration aussi, réciproque, dont Stendhal disait qu'entre deux esprits celle-ci est un brevet de ressemblance. Elle se manifeste dans leurs écrits : de Jacquemont à la suite d'une soirée passée chez le baron Gérard « Beyle était en verve et méritait réellement que nous lui donnassions chacun dix francs pour sa peine tant il était amusant. » De Stendhal : « Victor Jacquemont m'a rendu un vrai service en m'empêchant de parler de moi en public. »

Quittons Paris, ses salons et ses salles de spectacle. Le 26 août 1828, Victor Jacquemont, 27 ans, embarque à Brest à bord de la *Zélée*. C'est un bon navire de guerre, lourd, solide, mais lent. La *Zélée* fait escale aux Canaries, à Rio où notre voyageur excursionne dans les environs et découvre, scandalisé, le spectacle de l'esclavage et la cruauté humaine qu'il révèle.

Nouvelle escale au Cap où il rencontre Dumont d'Urville.

A l'île Bourbon (aujourd'hui la Réunion) nouvel arrêt forcé à la suite d'un ouragan qui endommage sérieusement le navire.

La Zélée mouille enfin à Calcutta le 5 mai 1829. Jacquemont se donne alors six mois pour apprendre les langues hindoustanis du Cachemire qui lui seront nécessaires, étudier la flore de l'Inde dont le jardin botanique de Calcutta, possède de vastes collections, préparer son expédition, et obtenir de nouvelles lettres de recommandations pour les autorités qu'il rencontrera sur sa route. Il est reçu chez l'avocat général chez qui il passera des mois entiers.

Et de nouveau son charme fait merveille ; en un rien de temps le voici présenté à Lord William Bentinck, gouverneur général des Indes, dont il devient un familier et Lady Bentinck, une nouvelle amie, confiante et intime. Il écrit à ce propos : « pendant 10 jours elle n'eut d'autre compagnon de promenade que moi. » Elle lui cause de Dieu, lui de Mozart, de Rossini, de peinture, de Mme de Staël, jamais de choses insignifiantes. Partout sa gaité spirituelle, sa noble franchise lui ouvrent le cœur de ses hôtes, officiers de la couronne, magistrats, qui l'hébergent, le voient, l'emmènent à la chasse. Il s'étonne parfois de sa fortune auprès de ces anglais d'habitude si impassibles, constate que son naturel, sa gaité et sa franchise les détend et qu'ils deviennent bientôt caressants malgré eux. Cependant, Victor ne se fait pas trop d'illusions sur la cote dont il jouit ; « Il n'y a pas grande vanité à tirer de ce succès, écrit-il à Mérimée. Ils s'ennuient tellement seuls avec eux-mêmes, [...] que toute figure nouvelle est pour eux une bonne fortune. »

Il fit aussi durant ce séjour à Calcutta la découverte désagréable qu'avec les six mille francs du Muséum, il était effroyablement pauvre et démuné pour voyager convenablement dans ce pays. Un capitaine anglais a trente mille francs de traitement, cinq fois plus que lui. Un collecteur anglais en tournée a un éléphant, huit chariots pour les bagages, deux cabriolets, six chevaux de selle.... Soixante porteurs, indépendamment d'une soixantaine de

domestiques pour sa maison. Jacquemont sollicite du gouvernement français des crédits supplémentaires et attend la réponse à Calcutta, mais les suppléments demandés n'arrivant pas, humilié d'attendre si longtemps, il résolut enfin de partir, portant sa pauvreté avec une bonne humeur fière. « A Calcutta j'étais deux fois plus pauvre ce qui en anglais peut se traduire très exactement par deux fois plus méprisable ». Malgré sa pauvreté, et durant tout son voyage, il reste l'enfant chéri de toute cette société britannique.

Il quitte Calcutta le 20 novembre 1829, voyage à cheval et souvent à pied, suivi de son service, de ses bagages et de ses chariots traînés par des bœufs. Il parcourt six à sept lieues par jour et se trouve bien vite confronté à certaines difficultés inhérentes au pays. Chaque domestique se cantonne strictement à son métier et refuse tout service qui n'est pas dans son emploi. Il s'en débrouille à sa façon. Un jour, il demande à l'un d'eux de lui apporter de l'eau, je le cite : « Non pas dit l'Indien, ce n'est pas mon affaire. Alors je n'hésitai pas à lui allonger sur le champ un grand coup de pied dans le derrière. »

D'agréables compensations lui sont offertes chaque fois que, sur son trajet, il est reçu par un officier britannique et qu'il expérimente l'hospitalité anglaise qu'il qualifie de prodigieuse. Il écrit à ce propos : « je ne puis que me retracer la suite non interrompue de procédés bienveillants et d'égards flatteurs dont je n'ai cessé d'être l'objet depuis mon arrivée dans ce pays Les officiers me sont frères. »

Arrivé à Delhi le 10 mars 1830, Jacquemont est présenté à Muhammad Akbar Shah, avant dernier empereur moghol et roi de Delhi sans pouvoir. Lors de la cérémonie de présentation, il doit revêtir la tenue protocolaire et se décrit lui-même dans ce curieux accoutrement de façon tellement précise que l'illustrateur de la petite plaquette dont je vous ai parlé en introduction n'a eu aucun mal à le représenter sur ce dessin.

Il quitte bientôt les plaines du nord, remonte la vallée du Sutlej et pénètre dans l'Himalaya où, dit-il : « On n'y a jamais vu de voyageur avec un aussi simple appareil. Trente-cinq porteurs me suffisent. » **P**

Résistant, vigoureux, endurant, persévérant, obstiné, frugal, voilà ce que l'on retient de l'homme à la lecture de ses lettres de l'Himalaya. Jacquemont ne boit que de l'eau, même avec les officiers britanniques dont il déplore la propension à s'enivrer en société. Le soir, dîner de riz bouilli et quartier de chevreau insipide. Sa tente est bien légère et le vent glacé souffle au travers et le gèle malgré ses couvertures, le froid le torture. Il n'est pas tendre avec ses serviteurs et porteurs mais peut-il en être autrement ? Lors d'une ascension, ses porteurs refusent de marcher, il rosse copieusement le meneur des mutins et écrit à ce propos : « La moindre faiblesse de ma part, une demie mesure eut été la plus dangereuse des mesures Leur instinct bestial de progression expire devant ses pentes neigeées. »

Il pénètre au Tibet, territoire impérial chinois interdit aux étrangers. Ses opinions sur les mœurs, les langues et les cultures des régions qu'il traverse relèvent du complexe de supériorité de bien des Européens de son temps allié à un certain manque de curiosité ethnologique. « Dieu nous garde du tibétain » écrit-il, indigné par ce « fatras théologique, cosmogonique et soi-disant historique ». A propos d'une Encyclopédie tibétaine en cent-vingt volumes qu'il découvre à Kânun **P**, il constate que les dix-neuf premiers volumes ne traitent que des attributs de la Divinité dont le premier est l'incompréhensibilité ; ce qui, à son avis, « peut dispenser de la rechercher des autres. »

Il poursuit dans la vallée du Spiti jusqu'à Dhankar **P**, où il réalise ce dessin, et Lallung où il rebrousse chemin. **P**

Fin novembre 1830, de retour vers Delhi, il apprend « The New French Révolution », et les anglais qui se réjouissent comme lui de la chute de Charles X lui donnent un banquet suivi de nombreux toasts. A cette occasion Victor Jacquemont prononce un discours en anglais qui remporte un vif succès.

Grâce à sa correspondance abondante, cent quatorze lettres, publiée une première fois en 1833, le lecteur peut suivre, souvent au jour, le jour les péripéties de ce voyage. Cette correspondance est constituée des lettres adressées à sa famille, son père, son frère Porphyre, sa cousine Zoé, à ses amis, Victor de Tracy, Mérimée, Stendhal, Adolphe de Mareste, Adrien de Jussieu, Elie de Beaumont. Certaines lettres s'étendent sur plusieurs pages et constituent des morceaux de journal. Leur style soigné, leur composition pourrait laisser penser que Victor Jacquemont en les écrivant n'excluait pas l'idée de les publier à son retour ou de les utiliser à des fins littéraires. Ne confie-t-il pas à Porphyre : « Quoique j'y pense bien souvent, je n'ai pas encore déterminé la forme que je donnerai à mes publications diverses. Néanmoins, je compte bien tirer de la masse très considérable des manuscrits que je rapporterai, un ouvrage assez instructif, et assez généralement intéressant ».

Indépendamment de leur intérêt documentaire, les lettres d'Inde témoignent de la profonde affection qui le lie à son père et à Porphyre à qui il écrit : « J'ai si souvent pensé à toi, tu m'as fait si souvent compagnie dans ma solitude. » Elles manifestent la fidélité de ses amitiés car souvent, perché à plus de trois mille mètres d'altitude, transi de froid, il pense à ses amis et prend la plume afin de maintenir ce contact épistolaire qui le soutient. Il se fonde dans le style léger de Stendhal, et affiche un scepticisme très parisien, surtout quand il lui écrit, empruntant alors son ton désinvolte et certaines de ses manies comme celle consistant à

passer du français à l'anglais ou à l'italien. Par exemple : « L'Inde en effet pour un chasseur du gibier que vous aimez à poursuivre, est un pays bien stérile. *Manners, none ; customs, beastly.* » ou encore : « Les roses du Cachemire ont peu de parfum, les fruits peu de saveur ; les danseuses sont laides et changent rarement de chemise. L'immense majorité n'en change jamais. » Ce ton léger, cet humour, Victor le conserve malgré l'inconfort du moment, écrivant des lettres de vingt pages à la lumière d'une bougie, enveloppé dans ses couvertures sous sa tente légère, épuisé après une dure journée de marche en altitude. Ce n'est pas tout car Victor Jacquemont rédige aussi un journal de voyage extraordinairement documenté destiné au Muséum.

Après la reconnaissance des hautes vallées de cette région de l'Himalaya, il quitte les territoires sous contrôle de la Compagnie des Indes et se dirige vers Lahore, la principale ville du royaume du Cachemire, où, par mesure exceptionnelle, et sur la recommandation de Lord Bentinck, le roi Rundjet-Singh tolère la présence de cet étranger.

A Lahore où il arrive en mars 1831, il est accueilli par trois soldats occidentaux qui constituent l'état-major des troupes du Radjah. Ce sont le général Allard, français né à St Tropez, démobilisé à la chute de Napoléon, soldat de fortune ayant tenté sa chance d'abord en Perse puis au Cachemire, il porte une grande barbe blanche qui lui vaut la considération de ses troupes. Victor précise que « Rundjet-Singh a grand soin de lui faire dépenser chaque année la totalité de ses appointements afin de lui ôter tout désir de le quitter. » Puis le général Ventura, italien au même cursus et enfin le général Court. Leur occupation consiste souvent à marcher vers une province, accompagnés de quelques milliers de soldats, afin de percevoir le tribut.

Tous les trois sont au service de Rundjet-Singh depuis plusieurs années et connaissent bien sa langue, ses habitudes, ses manies et ses aversions. Jacquemont est accueilli comme un

vieil ami. On lui a destiné pour le loger un élégant pavillon décoré à la mode persane, situé au centre d'un jardin délicieux planté d'iris, de rosiers, d'orangers et de grenadiers, orné de bassins où jouent une multitude de jets d'eau. Il dispose d'une troupe considérable de serviteurs vêtus avec luxe. Le soir, il se décrit : « assis seul devant un dîner superbe, servi comme par enchantement. »

Arrive le jour de la présentation au roi, il semble que celui-ci ait pris d'abord Jacquemont pour un espion anglais. Rundjet-Singh l'accueille lors d'un *darbar* tenu en plein air, assemblée de ses ministres et conseillers, assis par terre, où il est entouré de sa cour et de sa garde. Très généreux il fait remettre à Jacquemont un sac contenant 500 roupies et d'autres menus cadeaux. Allard et Ventura qui ont pris Jacquemont en grande sympathie lui ont créé une réputation auprès du radjah et Victor a vite compris qu'il doit se prêter à leur jeu. Il n'hésite pas à affirmer au radjah : « Le roi de France me faisait venir souvent près de lui, pour s'instruire par mes entretiens ». Le dialogue s'établit, parfois en hindoustani que le roi et son invité pratiquent l'un et l'autre mais peu spontanément, parfois avec le truchement d'interprètes qui sont alors Allard ou Ventura. Le jeune français commence par des compliments d'usage mais n'hésite pas à en rajouter lorsqu'il affirme par exemple : « La renommée m'avait souvent parlé de lui, de son courage, de sa sagesse. J'avais vu souvent Bonaparte, et je désirais depuis longtemps voir le Bonaparte de l'Orient. » La première audience dure deux heures, ponctuée d'échanges amusants, je n'en citerai que deux : « Quelle science savez-vous ? lui demande Rendjit. Je m'apprêtais à en faire une longue énumération quand M Allard me dit : « Toutes ». Et je répétais de l'air le plus simple que je pus prendre : Toutes. » Un peu après Rendjit lui demande : « Y a-t-il un Dieu ? Comme je lui avais dit d'abord que je savais tout, je ne savais

trop que répondre ... Ventura lui conseille de répondre « Sans doute ». ... Rendjit ajoute : « Mais Dieu lui-même qui l'a fait ? Victor répond : « Ma science n'embrasse pas ces objets-là ... »

En d'autre circonstance, Jacquemont lui donne une consultation médicale, lui tâte le pouls, lui fait tirer la langue.

Sa franchise, sa science, son tact et son humour font merveille auprès du roi qui le proclame le plus sage des seigneurs feringuis, pourvoit à tous ses besoins, chameaux, porteurs et lui envoie parfois de monstrueux sacs d'argent. En deux mots, dit-il, « Rendjit a le bon esprit d'être amoureux de moi (en tout bien tout honneur). »

Ses lettres contiennent d'intéressantes précisions sur la société et l'organisation politique de ce royaume indépendant du Cachemire, d'une pauvreté inimaginable. A sa tête, Rendjit-Singh, 51 ans à l'époque, général passé roi par la grâce de dix mille bandits à ses ordres. Il est d'assez jolie figure quoique borgne, simplement vêtu mais porte de somptueux bijoux. Son extrême avarice connaît parfois quelques exceptions par exemple lorsqu'il ouvre sa bourse à notre explorateur qui recevra de lui, en diverses occasions, l'équivalent de trente mille euros. Sceptique et superstitieux, il marmonne des prières auxquelles personne ne comprend rien. « Le radjah, dit Jacquemont, manifeste la plus grande indifférence pour tout ce qui arrivera après lui, et il ne prend aucune mesure pour que l'ordre public lui survive. » C'est un libertin effréné, assagi avec l'âge mais dont les frasques ont frappé les esprits et l'on raconte encore, confie-t-il à son ami Mérimée, qu'à vingt ans, dans les rues de Lahore, sur le dos de son éléphant, avec une courtisane qu'il aimait éperdument et qui fumait le houka alors qu'il mangeait son opium, lorsqu'ils avaient fini tous les deux, « au nez et à la barbe de toute sa cour,

... il recommençait avec elle ses expériences de physique expérimentale. »

Le système des recettes fiscales pratiqué par Rendjit est d'une grande efficacité : les perceptions sont mises aux enchères et attribuées au plus offrant. Les troupes sont payées au moyen de bons royaux émis sur les amendes et les taxes dont il frappe les délinquants ce qui épargne au gouvernement la peine de les recouvrer. Son armée est très irrégulièrement et très mal payée. En fait dit Jacquemont « son règne est celui du caprice. Il n'a établi aucune règle ». La puissance du souverain décroît en raison du cube de la distance du lieu où il se trouve et Jacquemont en fera bientôt l'expérience quand malgré les « firmans » rédigés en sa faveur, certains sujets de Rendjit prétendront le rançonner à leur profit. Et de conclure : « Le pays accueillerait assez favorablement, je pense, une invasion anglaise. » Elle se produira en 1846.

Après plusieurs semaines de séjour à Lahore, Jacquemont reprend la route vers le nord, son intention étant de s'établir quelques mois à Cachemir, nom que l'on donnait alors à la ville de Srinagar et d'effectuer quelques reconnaissances dans les vallées proches. Il voyage dans les états de Rendjit-Singh aux frais et sous la protection de celui-ci. Les gouverneurs des provinces sont priés de lui réserver le meilleur accueil et le premier qu'il rencontre, radjah Goulâb-Sing, le plus grand seigneur du Bengale après Rendjit-Singh l'attend au milieu de toutes les pompes de sa petite cour. « Nous nous embrassâmes environ un quart d'heure à nous étouffer, littéralement, jusqu'à nous enlever de terre l'un après l'autre » écrit Jacquemont avec ce détachement qui le caractérise. Il voit les situations qu'il a vécues en spectateur amusé et ne se prend jamais au sérieux. Dans une autre circonstance, alors qu'il est arrêté en pleine montagne du Cachemire par une bande de brigands aux ordres d'un petit seigneur régna-

sur le secteur, un envoyé du chef se présente à lui : « ... un lieu commun de brigand de mélodrame ... (il) me présenta la lettre de son roi, écrite en persan, et remplie de roses, de narcisses et de basilic qui fleurissaient perpétuellement dans le jardin de l'amitié envers moi, qui occupe tout le cœur de cette majesté. » A quoi Jacquemont répond « qu'il l'aurait aimé de tout son cœur sans les deux cents coquins qu'il avait amenés. » La demande de rançon est exorbitante et Jacquemont se révèle aussi fin diplomate que psychologue. Le marchandage se soldera par un versement de cinq cents roupies que Neal-Singh, le voleur en chef, comme il l'appelle, ne reçoit qu'autant que Jacquemont déclare que c'était son bon plaisir de les lui donner. Dans une lettre à Madame de Tracy, il conclue avec humour et détachement : « J'ai éprouvé les émotions d'un petit mélodrame dont j'étais le héros, et la vertu a triomphé du crime, ce qui est une chose morale, mais qui n'arrive pas toujours. »

La progression est parfois difficile, il faut traverser des torrents d'eaux glacées plus haut que la ceinture et le voyageur tombe malade, se soignant comme il peut en s'appliquant une soixantaine de sangsues sur la poitrine.

Le 15 mai 1831, il parvient à Srinagar, venant de parcourir un peu plus de 500 kilomètres en 50 jours. Un joli pavillon entouré d'un jardin planté de lilas et de rosiers lui est réservé en bordure d'un lac. Une entrevue avec le gouverneur de Cachemir a lieu à Schâhlibâgh, le Trianon des anciens empereurs mogols, à deux lieues de son pavillon, de l'autre côté du lac. Une fête est donnée en son honneur puis le gouverneur lui remet cinq cents roupies, la même somme dont il avait été dépossédé par Neal-Singh.

Il réalise ici l'immense bienfait de la domination anglaise dans l'Inde. Une fraction considérable de la population du Cachemire ne subsiste que par son fusil, elle est peut-être la

plus misérable de toute constate-t-il, « mais elle n'aurait droit qu'à être pendue ».

Il passe tout l'été de 1831 à Srinagar où il vécut en Seigneur, logé dans un pavillon royal sur l'île des platanes au milieu du lac, en face du jardin de Shalimar. Il y reprend des forces, nage le soir dans les eaux chaudes du lac. L'horizon, vers le nord est barré par la haute chaîne des montagnes du Zanskar qui culminent à plus de 8000 mètres. Ce grand garçon, blond, luneté si curieusement vêtu n'est pas sans exciter la curiosité des populations locales et Jacquemont « fait chasser, pour défendre l'intégrité de son caractère européen, des bandes innombrables de jeunes filles impudiques qui assiègent son palais. » Il semble qu'il n'ait pas eu de mérite de ne pas succomber à la tentation car, écrit-il à Porphyre : « je n'ai vu nulle part d'aussi affreuses sorcières qu'en Cachemir. La race des femmes est ici d'une laideur remarquable, je parle des femmes du commun.... Celles d'une condition plus élevée on ne les voit jamais. » Très soucieux de maintenir son autorité et son prestige, Victor Jacquemont invente, à son usage, un protocole, qu'il entend faire respecter n'accordant qu'à deux individus l'honneur de s'asseoir devant lui sur une chaise, les plus favorisés n'ont droit qu'à un tabouret, et la plupart s'assoient par terre quand il admet qu'ils s'assoient !

Son travail de naturaliste est rendu difficile par les coutumes indiennes et en particulier par le respect dû aux animaux vivants. Lorsqu'il charge un de ses domestiques de le seconder dans ses chasses, le pauvre homme affronte la réprobation de ses compagnons, le peuple s'arme contre lui, on le bat, on casse son fusil et il finit par se retirer.

Durant son voyage, Jacquemont qui possède plus que des rudiments de médecine et détient quelques médicaments ne refuse jamais de soigner les malades qui se présentent. Il déplore d'avoir à faire le plus souvent à des incurables,

des malheureux rongés par les plus affreuses maladies. Il fait l'aumône à ceux qu'il ne peut soulager. Le choléra-morbus sévit dans les régions qu'il traverse et pour rassurer son père qui pourrait s'en inquiéter, il a cette formule terrible : « Il me semble qu'il faut être un peu sot pour se laisser mourir à trente ans, et j'ai la vanité de croire que je ne ferai jamais une telle sottise. » Cette sottise l'emportera quinze mois plus tard.

Il fête son trentième anniversaire sur son île et envisage son retour en France « bien fané, sans agréments personnels, sans jeunesse, sans fortune » et s'interroge sur la possibilité de ne pas finir sa vie « en garçon ». Alors, toujours dans son rêve, s'adressant à son père, il imagine revenir en emportant du Cachemire une beauté persane et de conclure : « ... vous trouveriez (en) votre bru, ... une sorte d'animal si singulier que vous vous hâteriez d'en faire présent au Jardin des Plantes où je conviens qu'elle serait beaucoup plus à sa place qu'auprès de vous. » On comprend que de tels propos ne contribuent pas à faire de Jacquemont un modèle de l'explorateur ou de l'ethnologue du 21^{ème} siècle.

Il accomplit depuis Srinagar plusieurs reconnaissances dans les hautes vallées aux confins du Ladakh où il découvre un animal nouveau, une espèce de marmotte, explore la région du lac Wular, la ville de Bandipora. Dans ces régions peu sûres, grâce à l'aide de Allard et de ses obligés, la caravane de Jacquemont composée de cinquante porteurs et de quelques animaux se renforce d'une escorte de soixante soldats.

Une lettre du général Allard l'informe que Rendjit-Singh désire causer de nouveau avec lui des airs, des eaux, des terres, du Cachemire et du reste encore, de sorte qu'il ne lui est pas permis de refuser une seconde visite. Victor se promet de lui remettre une carte qu'il a faite durant ses courses avec les noms de lieux et les profils des montagnes.

Cheminaut sur la route de retour vers Amritsir, son ami le radjah Goulâb-Singh, gouverneur de la province, vient à sa rencontre et les deux hommes passent une partie de la nuit à causer de l'immortalité de l'âme, des machines à vapeur, de l'univers etc. « J'aime décidément cet homme-là et ma raison est qu'il semble m'aimer. »

Il passe huit jours à Amritsir près de l'excellent M Allard. « Le roi avait eu l'attention de me faire montrer le fameux bassin d'Amritsir, au centre duquel est le temple d'or où est gardé le Grant ou livre sacré des Sikes » dont il déplore le fanatisme. Jacquemont visite le temple sous la conduite du gouverneur de la ville qui le prend par la main afin de faire comprendre aux épouvantables Akhalis, terribles religieux guerriers, qu'il ne faut pas massacrer cet étranger-là.

Puis lors de l'audience de Rendjit-Singh. « Devinez-vous ce qu'il m'offrit ? La vice-royauté du Cachemir. » Il quitte Rendjit-Singh à Ouchiarpour, aux confins orientaux de ses territoires. Les adieux sont longs et très amicaux, Rendjit lui fait mille caresses, et Jacquemont lui rend, dit-il, « les bordées les mieux servies de sa flatterie où, sans le chercher, il met un peu de sentiment ». C'est l'occasion pour lui d'observer le comportement des officiers anglais, raides, secs et gauches, qui n'ont que oui et que non à répliquer et n'ont pas compris que Rendjit veut qu'on l'amuse. Il ne quitte le roi qu'à la nuit noire et avoue qu'il fallait vraiment le sens de sa mission pour lui faire quitter les douceurs et la sécurité qu'il trouvait en sa compagnie. Et de conclure dans une lettre à son père : « Malgré tout ce qu'il y a à reprendre en Rendjit, aimez-le un peu pour l'amour de moi. »

Le 9 novembre 1831, il traverse le Setludje et se retrouve avec joie en territoire britannique. Il donne congé à une partie de son équipage, l'escorte étant devenue inutile. Il se dirige vers Simla pour y retrouver son ami le capitaine

Kennedy. Après huit mois de solitude absolue écrit-il à son cher Prosper (Mérimée), toute gaieté m'est bonne, même celle des anglais. Il continue d'édifier sa petite compagnie par sa sobriété stoïque.

A Delhi, il passe 36 heures avec Lord et Lady William dont il est enchanté et s'apprête à partir pour Bombay. Il loge six semaines dans la maison de son ami William Fraser, et il lui en coûte de se remettre en chemin. Il était convenu entre les deux amis que Jacquemont quitterait la maison comme un voleur afin de leur épargner à l'un comme à l'autre la peine des adieux. Il s'éloigne donc en catimini et va installer son camp à Koutoub sur les ruines de l'antique Delhi mais Fraser vient bientôt le rejoindre afin de passer encore quelques jours avec lui.

Quittant enfin Delhi au début de l'an 1832, il se dirige vers le sud faisant étape à Jaipur, Ajmer, Indore, Aurore. Le projet du voyageur est maintenant de descendre vers le sud, d'explorer les Gâtes occidentales, de rejoindre Madras et de rentrer au pays.

Dans le Deccan, après le froid mordant des hautes vallées de l'Himalaya, il affronte maintenant la chaleur étouffante de l'été tropical, dépassant souvent les 40°C. « Un gros homme comme toi fonderait ici comme du beurre » écrit-il à son frère, il rêve du retour en France, du plaisir de se retrouver en famille, de boire du vin rouge de France... mais poursuit inlassablement la rédaction de ses notes et de sa correspondance « Depuis hier, j'ai écrit la bagatelle de soixante-sept pages » signale-t-il à sa cousine.

Il arrive à Pouna le 6 juin 1832, y reste quelques jours, observant que « Le choléra (y) fait des ravages épouvantables dans la région, il tue 50 à 60 personnes par jour « je m'en soucie fort peu. » La dysenterie y sévit également, un de ses domestiques en est atteint, il meurt en 24 heures.

Puis il descend vers la côte, vers Bombay et explore bien imprudemment l'île marécageuse

de Salsette sous un soleil de plomb et dans une touffeur irrespirable. En octobre il se sent souffrant, un peu chiffonné. Défiant la maladie, il écrit : « Il ne faut pas plaisanter, en ce pays, avec les entrailles, lorsque l'inflammation les visite. ... Un voyageur de mon métier a plusieurs manières de faire fiasco, comme disent les Italiens ; mais le fiasco le plus complet, c'est de crever en route ».

C'est probablement dans ces marécages qu'il contracte l'amibiase hépatique qui l'a emporté. La maladie se déclare quelques jours plus tard et le fait horriblement souffrir. Un officier anglais l'accueille chez lui à Bombay, Victor Jacquemont ne se fait bientôt plus aucune illusion sur l'issue de sa maladie. « Les miasmes pestilentiels de Salsette m'ont achevé. Dès le début du mal, j'ai fait mon testament et réglé mes affaires la maladie heureusement tire à sa fin. » Il prend les dispositions utiles à l'envoi des caisses contenant ses collections au Muséum et attend la mort avec un stoïcisme tranquille. Il meurt le 7 décembre 1832, âgé de 31 ans. La dernière lettre qu'il écrivit, au crayon, car n'étant plus capable de tenir la plume, est destinée à son frère Porphyre, il se console de mourir loin de sa famille en pensant aux effusions qu'ils s'épargnent lui et eux, « Ma fin est douce et tranquille, écrit-il, si tu étais là assis sur le bord de mon lit, avec notre père et Frédéric, j'aurais l'âme brisée, et ne verrais pas venir la mort avec cette résignation et cette sérénité.

Les obsèques eurent lieu à Bombay et son corps fut inhumé au cimetière de cette ville où il reposa cinquante ans. En 1881, les restes de Victor Jacquemont furent ramenés à Paris, au Muséum d'Histoire Naturelle où ils demeurèrent dans une cave-débaras pendant douze ans. Un caveau et une stèle ont été construits en 1893 pour les recevoir qu'on peut toujours voir aujourd'hui.

Les caisses de ses collections parviendront au Muséum après sa mort ; elles contenaient des

échantillons de roches et d'animaux naturalisés, 5800 feuilles d'herbier, 183 descriptions de plantes dont 41 seulement étaient déjà connues. Onze genres nouveaux ont été établis par Jacquemont : *Felix jacquemontii*, *Betula jacquemontii*, *Vitis jacquemontii* etc. En son honneur plusieurs espèces lui furent dédiées ainsi que le genre *Jacquemontia*, une convolvulacée endémique à Saint-Domingue. Ses observations géologiques et sa récolte abondante d'échantillons minéralogiques lui ont fait dire : « J'ai donné aux pierres de l'Himalaya une grande preuve d'amour. » Son journal et ses cahiers de dessin sont également conservés au Muséum.

Voilà pour sa vie.

Le panthéon de la renommée est comme un cimetière où les concessions dites perpétuelles ne le sont jamais. La gloire de Jacquemont a été entretenue par la publication de sa correspondance, puis son aura a décliné au point de disparaître. C'est que l'exemple qu'il a donné semble constitué de valeurs passées de mode. Le ton libre, franc, souvent enjoué, parfois badin de sa correspondance s'opposerait-il au sérieux (parfois pesant) de notre époque. La franchise est muselée par la pensée consensuelle ou convenable ; qui oserait aujourd'hui parler de « tapage exécrable » à propos de la musique indienne ? Sa fierté, parfois arrogante est répudiée maintenant que tout le monde est censé aimer tout le monde. Ses jugements abrupts seraient taxés de colonialisme, ainsi lorsqu'il proclame que « la civilisation européenne mérite d'envahir l'univers Sa domination seule est encore pour les peuples des autres parties du monde, un immense bienfait. » Ses opinions politiques ne sont plus au goût du jour, par exemple : « Je suis de ceux qui ne veulent pas de la république jusqu'à ce que tout le monde sache lire en France et soit un peu dégrasé, besogne d'un demi-siècle au moins. » Arrêtons-nous là.

Pourtant, quelle destinée que celle de Victor Jacquemont ! séduisant dilettante devenu

naturaliste par dépit amoureux, brillant écrivain tenant la plume dans des circonstances invraisemblables, romantique haïssant les effusions, ami de Stendhal aussi stendhalien que son illustre aîné, séducteur et non pas Don Juan, étoile filante apparue dans les salons parisiens de la Restauration et terminant sa course, si brève, quelques années plus tard, seul et malade, à Bombay. Si la lecture de sa correspondance ne devait plus être aujourd'hui qu'un plaisir réservé à quelques *happy few*, c'est le plaisir que je vous souhaiterais en vous remerciant de votre attention.

Patrick Masure

Membre de l'Académie d'Orléans

Communication du jeudi 22 novembre 2018

Chronobiologie et chronothérapie

Jean - Pierre Guilloreau

Résumé

L'univers est, par essence, rythmique ; les êtres vivants, humains, animaux, végétaux n'échappent pas à la règle. La chronobiologie, science qui s'est développée au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, prend en compte le facteur temps dans l'étude de la biologie. Ce mémoire propose de définir cette science, les rythmes circadiens, les horloges biologiques, et les synchroniseurs environnementaux qui gouvernent la biologie. La chronobiologie place les organismes vivants dans leur contexte environnemental. < puis nous verrons les bénéfices thérapeutiques que l'on peut - obtenir par le choix de l'heure d'administration d'une drogue tant du point de vue de son efficacité que de sa tolérance. Enfin, quelques exemples seront donnés pour élargir la vision à la biologie végétale.

Abstract

Our universe is rhythmic in essence. All living organisms, whether human, animal or plant, necessarily submit to the rule. Chronobiology is a new science that has been developing since the second half of the XXth century. Biological studies now consider time factor. This paper first aims to provide a definition of this science, the circadian rhythms, the biologic clocks and the environment synchronizers that govern biology. Chronobiology evidences living organisms in adjusted contexts. Secondly, we shall examine what therapy profits we can draw when choosing the time to administer drugs in terms of efficiency and tolerance. And to conclude, some examples will be studied to enlighten plant biology.



Introduction

Depuis toujours les battements du cœur, la respiration, l'alternance des phases d'éveil et de sommeil, le cycle ovarien, les migrations animales, la floraison et la fructification des plantes sont des événements rythmiques constatés. Ces exemples font partie de notre expérience immédiate et

constituent en quelque sorte la partie émergée de l'iceberg des rythmes du vivant.

De nombreux processus périodiques sont à l'œuvre, de manière imperceptible au sein de nos cellules. Ainsi une horloge biochimique contrôle le cycle de la division cellulaire des premiers stades de l'embryon jusqu'à la formation de l'organisme adulte au sein duquel elle poursuit son action tout au long de la vie.

De multiples rythmes d'origine environnementale scandent la physiologie des organismes vivants. Le rythme circadien d'une périodicité proche de 24 heures est l'adaptation des êtres vivants à l'alternance jour/nuit résultant de la rotation de la terre sur son axe. D'autres rythmes liés au cycle annuel des saisons, comme la floraison, l'hibernation, les migrations ou la reproduction chez de nombreuses espèces animales résultent de la rotation de la terre autour du soleil et de son inclinaison sur son axe.

1 - Historique

Les premières descriptions scientifiques datent des XVII^e et XVIII^e siècles : Sanctorius, Lavoisier, Hugueland avec " L'art de prolonger la vie humaine".

En 1745, Carl von Linné, le père de la botanique moderne, invente et développe "une horloge de fleurs afin, disait-il, que lorsque qu'on se trouve par mauvais temps en rase campagne, on puisse connaître l'heure aussi bien que si on avait une montre sur soi. Les fleurs s'ouvrent le matin et se referment l'après - midi à chacune des heures indiquées."

Au XIX^e siècle,

- Virey publie la première thèse de chronobiologie : "Variation des effets d'une thérapeutique suivant l'heure de prise";

- de Candolle étudie les rythmes biologiques des végétaux en obscurité constante;

- Chaussat s'intéresse à la variation de la température des pigeons;

- Pfeffer publie un article sur l'obscurité constante contrôlée;

D'autres travaux concernent les comportements animaux tels que la migration ou la reproduction.

Au XX^e siècle les travaux se multiplient

1920 - 1950 : Photopériodisme des plantes par Buning;

1960 - 1980 : Description des rythmes biologiques,

C'est en 1960 que débute réellement la chronobiologie avec l'étude des rythmes biologiques comme propriété fondamentale de la matière vivante.

L'étude quantitative des rythmes biologiques avec des méthodes d'acquisition et d'analyse des données (cosinor).

Concept de synchroniseurs par Halberg et Aschoff.

Étude des horloges biologiques ou donneurs de temps : leurs facteurs d'entraînement, leurs fonctionnements.

Etudes sur les structures cérébrales des noyaux supra chiasmatisques (NSC), de la glande pinéale et de l'hypothalamus et découverte d'oscillateurs dans l'épiphyse et les NSC.

Etudes des bases moléculaires et de leurs fonctions chimiques.

1970 : Le gène horloge « per » pour période est mis en évidence chez la drosophile (*Drosophila mélanogaster*)

1992 : Rosbach met en évidence les horloges circadiennes moléculaires (ARN messenger per).

1971 : Le développement du concept de chronopharmacologie et la chronotoxicologie par Reinberg; puis la thermodynamique des états de non - équilibre, phénomènes non linéaires avec oscillations dans le temps et dans l'espace.

1980 : une expérience a été réalisée par le spéléologue Michel Siffre dans une grotte en isolement total pour confirmer l'existence d'un rythme circadien endogène et déterminer sa période réelle (un peu plus de 24 heures).L'expérience a permis de conclure à l'existence de ce rythme avec un petit allongement de la période que l'on retrouve chez les aveugles. Ce rythme est dit en libre cours.

Définition de la chronobiologie

Qu'elle définition complète peut caractériser cette science ?

Je retiendrai la suivante : la chronobiologie est l'étude de l'organisation temporelle des êtres vivants et des mécanismes qui en assurent le contrôle, le maintien et les altérations.

Etude valable pour les rythmes circadiens (voisins de 24 h) comme pour ceux dont la périodicité est plus courte (R ultradiens) ou plus longue R infradiens (R septénaires), circamensuels (28 jours) et circannuels (1 an)

2 - Questions fondamentales pour l'étude de la biologie

L'étude d'un phénomène biologique doit répondre à quatre questions :

Où ? Comment ? Quand ? Pourquoi ?

* Où le phénomène a-t-il lieu ? L'anatomie répond à cette interrogation.

* Comment ? La réponse est fournie par la biochimie : exemple le rôle d'une hormone.

* Quand ? Question aussi indispensable que les deux précédentes. En effet on a longtemps considéré qu'une hormone comme le cortisol par exemple était secrétée en continu tout au long du nyctémère; c'était la théorie de l'homéostasie où l'organisme était en équilibre continu.

Le concept d'homéostasie doit impérativement intégrer les notions de dynamique et de biopériodicité. La chronobiologie a prouvé que la réalité était bien différente et que la sécrétion hormonale comme la plupart des fonctions biologiques obéissent à des rythmes avec des rétrocontrôles.

En biologie, l'équilibre est un déséquilibre perpétuellement rattrapé. L'étude des rythmes biologiques permet de répondre à cette question "quand", dans l'échelle des 24 heures ou celle d'une autre périodicité. Un processus physiologique ou biologique passe par ses manifestations les plus élevées et, dans la même échelle de temps, il passe par ses manifestations les plus basses.

* Pourquoi ? La question est souvent posée aux chronobiologistes, pourquoi les êtres vivants ont-ils des rythmes biologiques ? Question délicate et embarrassante. C'est en fait tout le problème de la finalité qui est ainsi posé et plus précisément celui des mécanismes de l'évolution des êtres organisés et de leur adaptation spécifique ou individuelle à leur environnement. En fait, si nous acceptons notre anatomie spatiale, nous devons aussi accepter notre anatomie temporelle !

3 – Les rythmes biologiques

Un rythme biologique dénote la répétition à intervalles réguliers d'une séquence d'évènements, par exemple le passage par un maximum puis par un minimum au cours d'une oscillation. La période du rythme est égale à la durée d'une séquence qui se reproduit à l'identique au cours du temps. Ainsi on peut déterminer la période des oscillations en mesurant

l'intervalle de temps séparant deux maxima successifs. Cette période des rythmes du vivant varie de la fraction de seconde à plusieurs dizaines d'années. Les rythmes biologiques les plus rapides caractérisent l'activité élémentaire des cellules nerveuses ou musculaires ; leur période peut être de quelques centièmes de seconde à plusieurs secondes. Les rythmes multi annuels remarquables se rencontrent dans, par exemple le cycle de vie de certaines cigales du nord des USA qui émergent du sol tous les 13 ou 17 ans ou dans le cycle de floraison de certains bambous dont la période est de 120 ans.

Critères de modélisation

Une variation régulière dans le temps peut être caractérisée par un modèle mathématique qui permet de décrire et de quantifier ce rythme en utilisant quatre paramètres :

1 - La période t : C'est l'intervalle de temps mesuré entre deux épisodes qui vont se reproduire à l'identique au cours de la variation par exemple deux sommets ou deux creux de la courbe sinusoïdale.

2 - L'acrophase : C'est la position zénithale de la courbe dans l'échelle du temps pour la période considérée.

3 - L'amplitude : C'est la moitié de la variabilité totale du rythme pour la période considérée

4 - Le niveau moyen ou mésor : Il est égal à la moyenne arithmétique des mesures.

Cette modélisation des rythmes biologiques a permis des avancées remarquables dans l'acquisition des données et de leurs statistiques.

Les êtres vivants sont le siège de multiples rythmes biologiques ; leur étude est donc complexe car il faut éliminer les évènements susceptibles de la parasiter. Un exemple vécu par une équipe de recherche qui désirait observer sur des rats un rythme en obscurité totale afin d'éliminer le rythme veille/sommeil ; or les rats restaient synchronisés en jour/nuite : les chercheurs se sont aperçus que les rats percevaient l'activité du laboratoire et se synchronisaient sur le bruit.

Il est donc essentiel pour toute étude de rythmes biologiques de bien fixer le protocole : d'une part, soit une étude longitudinale avec les mêmes sujets dans le temps, soit une étude transversale comparant plusieurs groupes pour une

seule variable, soit une étude mixte quand la période étudiée est très longue,

de fixer le lieu de l'étude pour des problèmes d'homogénéité de de synchronisation.

de fixer les critères d'inclusion et/ou d'exclusion tels que :

- le volontariat,
- l'âge des sujets,
- le sexe,
- la taille et le poids,
- l'état physique et psychologique,
- les maladies et traitements,
- la synchronisation des sujets,
- etc.

Par exemple : les nourrissons ont à la naissance cinq périodes de sommeil et vers 3 ans, ils n'en ont plus que 2. Une équipe de recherche, pour étudier la mise en place des rythmes biologiques chez les nourrissons notamment celui de veille/sommeil a dû :

1 - Trouver une crèche ayant un nombre suffisant d'enfants pour pouvoir faire un groupe de garçons et un groupe de filles;

2 - S'assurer que les enfants resteront au moins deux ans à la crèche;

3 - Obtenir le consentement des parents et leur coopération pour qu'ils notent à la maison, les heures de coucher et de lever ainsi que les éventuels réveils nocturnes;

4 - Demander aux parents de noter les événements qui diffèrent du quotidien : fièvre, pleurs anormaux, diarrhée, etc.

Pour toutes ces raisons ils ont opté pour la crèche de l'hôpital pour la stabilité de l'emploi des parents et la facilité d'obtenir leur coopération.

Des résultats fiables et interprétables ne sont possibles que pour un groupe extrêmement homogène et à condition que les résultats ressemblent à ceux d'un groupe identique placé dans les mêmes conditions.

b - Propriétés des rythmes biologiques.

- Ubiquité : tous les êtres vivants ont des rythmes biologiques.

- Endogénicité : les rythmes biologiques persistent lorsque l'organisme séjourne en milieu constant sans synchroniseur connu. (libre cours)

- Origine génétique : les gènes codant sont connus chez beaucoup d'espèces.

Il existe une horloge biologique localisée dans l'hypothalamus et des horloges secondaires.

- La rythmicité : propriété fondamentale de la matière vivante.

- L'existence de synchroniseurs que sont les signaux de l'environnement.

4 - Les horloges biologiques.

La régularité des rythmes biologiques et leur persistance dans un environnement constant a donné à penser qu'ils étaient contrôlés par des « horloges biologiques » circadiennes.

Le fonctionnement de ces horloges est encore partiellement inconnu, en particulier les processus qui conduisent à une périodicité voisine de 24 heures.

La biopériodicité se manifeste au niveau cellulaire. Des formations anatomiques spécialisées fonctionnent comme des horloges biologiques : ce sont les noyaux supra chiasmatiques (NSC), une formation hypothalamique bilatérale située près du chiasma optique.

Les études menées chez le rat par la destruction de ces NSC ou par leur greffe ont montré l'étendue des fonctions endocriniennes et environnementales que contrôle cette horloge mais cela n'exclut pas l'existence concomitante d'oscillations fonctionnelles.

Au niveau cellulaire, l'existence d'une horloge biologique a été attestée dans la glycolyse où l'étude de l'enzyme phosphofructokinase (PFK) montre qu'il induit une oscillation dans un créneau d'apport de substrat. La fréquence des oscillations étant en rapport avec la vitesse d'apport de ce dernier.

Le fait que chez le même sujet il puisse coexister des rythmes circadiens de période différente conduit à penser qu'ils dépendent de plusieurs horloges voire de réseaux d'horloges.

C'est par exemple le cas des rythmes circadiens veille/sommeil, température corporelle, force musculaire, qui peuvent dépendre de plusieurs variables.

Il en est de même pour les rythmes ayant des fréquences mensuelles, annuelles, etc.

Synchroniseurs de l'environnement.

Pour qu'une horloge remplisse son rôle de gardien du temps il faut que la période soit calculée sur 24 heures sans avance ni retard et que ses aiguilles soient remises à l'heure. Il en est de même pour les horloges biologiques.

Les êtres vivants utilisent un ensemble de signaux fournis par les facteurs de l'environnement (l'aube ou le crépuscule par exemple) dont la perception permet la mise à l'heure des oscillations circadiennes et le calibrage de leur période.

Par exemple, la rétine possède des photorécepteurs sensibles à la lumière et plus précisément à l'alternance lumière/obscurité. Le signal chemine jusqu'aux NSC par une voie nerveuse afférente. Les signaux liés au changement de luminosité de l'aube ou du crépuscule permettent la remise à l'heure des NSC. La stimulation électrique de ces NSC se transmet par voie efférente à la glande pinéale qui secrète une hormone : la mélatonine. La sécrétion de cette hormone débute au crépuscule et se termine à l'aube. L'illumination nocturne de la rétine détermine un arrêt de la sécrétion de mélatonine.

Les synchroniseurs sont d'origines diverses; aussi l'étude des rythmes biologiques montre que beaucoup d'entre eux sont interdépendants et obéissent à plusieurs horloges et quelques fois à des réseaux de donneurs de temps.

Dans l'exemple précédent, le pic sécrétoire de la mélatonine se situe vers 3 h du matin et déclenche la sécrétion de cortisol dont le pic se situe vers 7 h. Ce dernier, avec la production nocturne de glycogène par le foie, prépare le cerveau au stress du réveil.

Les différents rythmes montrent que durant le sommeil les besoins énergétiques étant moindres, le corps adapte ses rythmes ainsi la pression artérielle diminue, la température corporelle s'abaisse, le rythme cardiaque se ralentit de 80 bat/mn à 70 bat/mn, le volume respiratoire baisse.

En conclusion le corps économise son énergie quand il est au repos tout en préparant les besoins du réveil et de la période d'activité qui suit.

Cet exemple volontairement simplifié ne doit pas occulter l'existence d'autres hormones et transmetteurs.

5 - Désynchronisation des horloges.

La désynchronisation est l'altération de l'organisation temporelle du sujet du fait que les acrophases de plusieurs rythmes circadiens ne sont plus en situation physiologique dans l'échelle des 24 heures.

Circonstances de désynchronisation interne

L'organisation temporelle est facilement perturbée par un événement environnemental de la vie courante. C'est un phénomène banal sans conséquence.

Cependant certaines pratiques ont plus de conséquences qu'il n'y paraît : exemple le petit déjeuner;

L'absence de prise de petit déjeuner dérègle les horloges périphériques; celles du pancréas et du foie notamment, et a un effet délétère sur la régulation des gènes de l'horloge du métabolisme glucidique et du poids corporel.

La désynchronisation peut être due à une maladie mais aussi aux effets de l'administration de médicaments.

Le vieillissement du sujet provoque un discret décalage des rythmes biologiques.

Par exemple, l'étude de deux rythmes ayant des périodicités l'un de 24 h et l'autre de 21 h chez des patients souffrant de psychose maniaco - dépressive montre qu'ils induisent un rythme de 8 jours où il seront en phase ou en opposition de phase qui pourraient expliquer la périodicité à cycle court des accès de cette maladie.

Circonstances de désynchronisation externe

La cécité totale

Les aveugles dont la rétine est inopérante présentent de nombreux troubles dans leur organisation temporelle. La lumière ne pouvant être traduite en signal hormonal de synchronisation, il s'ensuit des symptômes similaires à ceux pouvant apparaître dans d'autres cas de désynchronisation

En outre, les deux autres grandes causes sont le **travail posté** (3 x 8) et les **vols transméridiens**.

La désynchronisation ainsi que les rythmes circadiens de faible amplitude paraissent fréquemment associés aux symptômes d'intolérance au travail posté aussi bien qu'à la dépression.

Le travail posté.

En effet, s'activer la nuit et se reposer le jour représente un déphasage majeur des synchroniseurs. Un tel changement impose à l'organisme de s'ajuster au nouvel horaire autrement dit de se resynchroniser.

Il existe des variations individuelles de la tolérance au travail posté; certains sujets n'en souffrent absolument pas alors que d'autres sont intolérants et éprouvent des malaises voire de la dépression. Ces derniers sont aussi très affectés par le décalage horaire.

Les vols transméridiens : le " *jet-lag* ".

Il se produit une désynchronisation transitoire due au décalage horaire car les horloges ne sont pas ajustées aux synchroniseurs du nouvel environnement. Avec un déphasage de 5 heures et plus il y a une désynchronisation transitoire dont la durée est relativement brève, de l'ordre de 2 à 20 jours.

La direction du vol influe car l'ajustement des rythmes biologiques est plus lent dans le sens Est - Ouest (New York → Paris, retard de phase) que dans le sens Ouest - Est (Paris → New York, avance de phase).

Quelques exemples :

Le rythme veille/sommeil se resynchronise en 2 à 3 jours. Celui de la température orale met en 7 et 10 jours. Le potassium K⁺ urinaire se recale entre 10 et 21 jours.

Comment remettre les horloges à l'heure ?

Bien qu'elles se recalent normalement de façon interne, des recommandations peuvent en diminuer les inconvénients et en raccourcir les effets.

Pour le travail posté

1 - Il convient d'éviter l'ajustement des rythmes pendant le poste de nuit.

2 - Le système de rotation rapide est plus satisfaisant que des rotations hebdomadaires.

3 - L'heure d'embauche du matin devrait se situer vers 6 h.

4 - L'heure de repas n'est pas un facteur perturbant.

5 - L'exercice physique pendant les jours de repos est conseillé.

6 - Le travail posté est déconseillé aux sujets qui supportent mal le travail posté et les vols transméridiens.

Pour les vols transméridiens

1 - Une dose modérée de somnifère à vie courte absorbée au coucher 1 à 5 soirs de suite au nouveau lieu de séjour,

2 - La mélatonine paraît avoir le même effet, son rôle chronobiotique n'est cependant pas démontré,

3 - La lumière forte possède une action synchronisante puissante. Son utilisation pratique peut réduire les effets du décalage horaire.

6 - Pharmacocinétique d'un médicament

La cinétique d'un médicament décrit son devenir dès le moment de son administration jusqu'à celui de son élimination.

1 - son absorption mesurée par la C_{max} c'est - à - dire le temps écoulé entre administration et concentration maximale atteinte dans le sang;

2 - sa fixation aux protéines plasmatiques par mesure de la demi - vie plasmatique;

3 - son catabolisme (dégradation métabolique) et son élimination par le rein et l'urine ou par les fèces.

La chronopharmacocinétique ajoute le facteur temps :

Il s'agit de l'étude :

- des processus d'absorption, de transport, de destruction et de l'élimination de l'agent chimique qui varie avec l'heure de son administration.

- des variations liées au temps de la susceptibilité des systèmes cibles (chronesthésie);

- des effets toxiques spécifiques d'un agent vis - à - vis d'un organe ou d'une fonction;

- des rythmes des processus de biotransformations enzymatiques qui permettent en outre au foie d'inactiver puis de rendre possible l'élimination de substances exogènes potentiellement toxiques.

Par exemple, chez le rat, la variation des indices enzymatiques qui révèlent l'hépatotoxicité est de grande amplitude, elle varie d'un facteur de 1 à 10. Dans un test réalisé par injection de chloroforme,

la meilleure tolérance se situe en fin de phase active (vers 18h) et la moins bonne en fin de période de repos (vers 6h).

a - La chronothérapie

La détection des maladies communes est une fonction de la chronobiopathologie qui permet d'aboutir à la chronothérapie.

La chronopharmacologie dérive de l'idée qu'une médication puisse avoir des effets différents suivant l'heure de son administration. Elle étudie les effets des médicaments en fonction du temps biologique des paramètres qui caractérisent les rythmes biologiques concernés, et trois concepts complémentaires en dérivent :

- La chronopharmacocinétique qui caractérise la variabilité prévisible dans le temps de la pharmacocinétique d'un médicament; concentration maximale dans le plasma (C_{max}), liaison aux protéines, délai pour atteindre l'organe cible par rapport à l'heure de son administration, sa demi - vie (temps d'élimination de la moitié de la C_{max}).

- La chronesthésie correspond aux variations prévisibles dans le temps de la susceptibilité du système - cible vis-à-vis du médicament.

- La chronénergie correspond aux variations prévisibles dans le temps des effets du médicament sur l'organisme entier. Il s'agit des effets désirés (chronoefficacité) aussi bien que des effets non désirés (chronotoxicité ou chronotolérance).

b - Eléments de pratique clinique de chronobiologie médicale.

Pneumologie : asthme.

La définition de la crise d'asthme est une dyspnée paroxystique associant une broncho constriction et une réaction inflammatoire.

L'approche chronobiologique doit donc tenir compte du rythme biologique de la liberté bronchique et du rythme circadien du cortisol antiinflammatoire.

L'attaque d'asthme et/ou l'exacerbation de la dyspnée se produisent, dans 75% des cas, la nuit avec un pic entre 4 h et 7 h (vers 5h). Les facteurs exogènes comme le sommeil, le refroidissement de l'air ambiant, le reflux gastro intestinal, et la difficulté d'expectoration du mucus ne jouent pas

un rôle déterminant dans l'apparition de la crise d'asthme. En revanche, il existe, chez le sujet sain comme chez l'asthmatique un rythme circadien de la liberté bronchique c'est - à - dire du calibre des bronches laissant circuler l'air. Ce rythme présente un creux nocturne et un pic diurne; le creux nocturne est plus accusé chez l'asthmatique.

Par ailleurs, le rythme circadien du cortisol dont l'action anti-inflammatoire améliore la liberté bronchique a un creux entre 0 h et 4 h.

La conjonction de ces deux facteurs endogènes augmente très significativement la probabilité d'une crise vers 5 h mais la pluralité des rythmes concernés ne signifie pas qu'ils sont dépendants.

Dans les formes de sévérité moyenne, l'administration vespérale de théophylline à libération prolongée en monothérapie peut assurer une concentration nocturne suffisamment élevée pour s'opposer efficacement à la chute de la liberté bronchique. Le même traitement administré le matin n'a pas les mêmes effets.

Rhumatologie : Anti inflammatoires non stéroïdiens (AINS)

Les données sur les variations temporelles de l'inflammation et des effets des AINS peuvent concourir à augmenter les effets de ces substances en minimisant leur toxicité.

Cinq principes sont à retenir :

- 1 - il existe des variations temporelles dans l'intensité des signes et symptômes de la maladie rhumatismale.

- 2 - le temps des pics et des creux varie selon la maladie rhumatismale.

- 3 - des variations inter individuelles ont été observées dans l'heure d'obtention de l'intensité maximale des symptômes.

- 4 - l'efficacité des AINS est augmentée considérablement lorsque la C_{max} du médicament coïncide avec le moment du pic des symptômes.

- 5 - la toxicité gastro intestinale est maximale lorsqu'ils sont administrés en début de journée.

En clinique, on peut se servir de l'algorithme suivant :

Pic des symptômes

Prise d'AINS, 2fois/jour

Prise toutes les 12 h à faire coïncider avec les pics

1 fois /jour en début matinée

Prise le soir au coucher

1 fois/jour, l'après midi

Prise vers 12h

1 fois/jour en soirée

Prise entre 12 et 15 h en faisant coïncider avec les pics.

Selon ce schéma, il est possible de diminuer les effets secondaires et notamment la toxicité gastro-intestinale en maximisant l'effet anti inflammatoire donc en diminuant les douleurs.

Système cardio-vasculaire

Les rythmes cardiovasculaires sont endogènes, les facteurs environnementaux ne sont que des signaux qui contribuent à les synchroniser. Chez le sujet sain il y a une tendance à l'hypocoagulabilité nocturne et une hypercoagulabilité matinale. L'identification des symptômes de la maladie ou leur exacerbation permet de définir les plages horaires où le pic des symptômes se produit.

Ainsi pour l'infarctus du myocarde la morbidité et la mortalité est trois fois plus grande entre 6 h et 12 h que dans le reste de la journée.

L'accident vasculaire cérébral thrombolytique a une incidence plus élevée en début d'activité du sujet alors que la forme hémorragique prédomine le soir au début du repos.

De nombreuses complications du geste chirurgical d'ischémie - reperfusion dans l'intervention sur la valve aortique sont moins fréquentes quand elle est effectuée l'après - midi. Certaines réactions indésirables du muscle cardiaque dépendant de son horloge biologique.

Dans l'hypertension artérielle, les bêta - bloquants tel que le propranolol ont une meilleure efficacité lors d'une prise à 8 h.

Les IEC ont une efficacité meilleure lors d'une prise à 19 h ou 22 h.

Les diurétiques sont plus efficaces lors d'une prise matinale.

L'aspirine prise comme antiagrégant plaquettaire sera administrée au coucher si possible durant la nuit chez les patients qui ont des réveils nocturnes. Cet horaire est aussi celui de la tolérance digestive optimale.

Système nerveux : la dépression

Les manifestations périodiques de plusieurs symptômes et des effets de manipulation des rythmes comme la privation de sommeil ou

l'isolement temporel agissent sur l'évolution de certaines dépressions.

Les formes de psychoses maniacodépressives ou bi - polaires se caractérisent par une alternance relativement régulière des épisodes maniaques ou des épisodes dépressifs; la périodicité variant d'un sujet à l'autre. La privation de sommeil dans ces dépressions bi - polaires a des effets remarquables et immédiats pour sortir le malade de son état dépressif.

La dépression saisonnière hivernale se caractérise par des manifestations dépressives débutant à l'automne (fatigue persistante, troubles de l'humeur, du sommeil) et se dissipe au printemps. L'exposition au cours de la nuit à un fort éclairage de l'ordre de 2500 lux améliore de façon très significative cette maladie.

Dans la maladie de Parkinson, une exposition bi - quotidienne à une forte lumière améliore les troubles du sommeil et diminue la somnolence diurne fréquente chez ces patients :il se produit en effet une resynchronisation des rythmes circadiens.

En règle générale, dans les troubles dépressifs il y a toujours une désynchronisation des rythmes biologiques et une altération de ceux - ci.

Cancérologie

Le cycle de la division cellulaire chez les mammifères est assez complexe. En partant d'une cellule quiescente G0, la division comporte quatre phases :

- G1 qui précède la phase S de réplication de l'ADN

- G2 qui sépare la phase S de la phase de mitose M

- La phase M aboutit à deux cellules qui reprennent le cycle en G1.

L'entrée dans un cycle de prolifération dépend d'un niveau critique de facteur de croissance où l'état stationnaire de la cellule devient instable. La phase S est la plus sensible à la toxicité du 5-fluoro - uracile (5FU), anticancéreux de référence. Quand il est administré de façon circadienne, sa cytotoxicité sera maximale lorsque son pic survient vers 16 heures et sera minimale quand l'injection atteint son pic vers 4 heures du matin. Dans ce dernier cas le pic de 5FU est exactement en anti phase avec le pic de cellules en phase S de réplication d'ADN. Le nombre de cellules sensibles

étant à son minimum, seule une fraction sera atteinte par le 5FU.

Ce schéma temporel (4 h du matin) s'avère aussi plus efficace contre les cellules cancéreuses sans que l'on ait d'explications satisfaisantes à ce jour. Le processus cancéreux concerne non seulement l'organisation de la cellule dans l'espace mais aussi dans le temps.

Deux stratégies sont possibles :

- * Soit utiliser le rythme de la vulnérabilité tumorale pour faire agir l'agent anticancéreux ;

- * Soit prendre en compte le rythme circadien de la sensibilité des cellules saines de l'hôte pour donner le maximum de la dose par 24 h de l'agent anticancéreux à l'heure où il est le mieux toléré et le minimum de la dose à l'heure où il l'est le moins.

La seconde stratégie est la plus suivie et la mieux connue en chronothérapie expérimentale et clinique des cancers.

Elle rend possible l'utilisation de doses d'anticancéreux plus élevées que toute autre méthode et permet l'augmentation de la fréquence des cycles de traitement; condition requise pour réduire le nombre des échecs de la chimiothérapie.

Cependant alors que le cancer semble être un domaine intéressant pour le développement de la chronothérapie car les agents utilisés sont très toxiques et que la chronothérapie offre la possibilité d'augmenter leur tolérance, le bilan ne peut se faire que sur le long terme.

En l'état actuel, la durée de survie d'un cancer colorectal par exemple n'a pas été sensiblement modifiée mais la chronothérapie a permis une meilleure qualité de vie des patients. Elle représente donc un avantage réel.

Enfin un autre argument en faveur de la chronothérapie est son plus faible coût représentant une économie de près de 20% par rapport au traitement standard.

La Peau, dermatologie

Une étude portant sur 118 grands brûlés a révélé que les malades qui avaient été brûlés pendant la journée mettaient 17 jours pour obtenir une cicatrisation complète alors que ceux dont l'accident était arrivé la nuit cicatrisaient en 28 jours. Pour aider la cicatrisation de ces derniers, certaines hormones de synthèse sont capables de reprogrammer l'horloge interne, et pourraient

tromper les cellules de la peau en leur faisant croire qu'il fait jour.

7 - Chronobiologie animale et végétale.

Tous les êtres vivants ont des fonctions rythmiques plus ou moins complexes, synchronisées par leur environnement.

De nombreuses études ont été menées sur des animaux et des végétaux avant l'étude sur l'homme pour des facilités de protocole : elles concernent un champ de recherche allant d'organismes unicellulaires jusqu'aux mammifères en passant par les insectes et les oiseaux.

Voici quelques exemples de ces études

La piéride du chou (petit papillon jaune très commun) : ce papillon survit grâce à un cycle de deux générations au printemps et en été suivi d'une ponte automnale qui reste en diapause jusqu'au printemps suivant.

La migration des papillons Monarque en Amérique du nord : ce papillon migre du nord des USA jusqu'au Mexique. Sa migration est dirigée par une horloge endogène. Si on le maintient en obscurité constante pendant plusieurs jours avant la migration, sa trajectoire est déviée vers le sud-est.

Chez les **oiseaux**, on observe une agitation migratoire en plus des rythmes circadiens.

Chez les **cervidés**, la saison sexuelle se situe entre juillet et octobre selon les races mais les naissances ont toutes lieu au printemps. Les ovules fécondés restent en diapause jusqu'au début du printemps. Les signaux de l'environnement déclenchent les mises bas quand les conditions de vie des petits (nourriture, chaleur) deviennent favorables.

Chez les **végétaux** les rythmes sont essentiellement saisonniers ou annuels calés sur la longueur des jours et sur la température ambiante : les plantes de jours courts qui fleurissent au printemps ou en automne comme le fraisier, le chrysanthème ou la primevère voir en hiver comme l'hellébore et les plantes de jours longs fleurissent en été et elles représentent la grande majorité des fleurs ornementales. Certaines sont plus liées à la température comme la jusquiame qui fleurit de mai à septembre ; elle exige 11 h 50 de lumière à 28,5°C mais seulement 8 h à 15,5°C.

Des pratiques horticoles ou potagères permettent de " forcer " les plantes en modifiant leurs synchroniseurs. En éclairant même un court moment des roses dans une serre la nuit, on obtient leur floraison en hiver ; en plaçant des végétaux dans des chambres à basse température (ce qui stabilise leur évolution) on peut commercialiser ceux - ci à des périodes différentes de leur période physiologique.

Sachant que la floraison des plantes dépend de la température et de leur environnement, le réchauffement climatique impacte les récoltes et les rendements. Par exemple, les pommiers ont vu leur floraison avancée de deux semaines à Angers entre 1960 et 2000.

De même à Montpellier, l'émission pollinique est avancée en moyenne de dix à quinze jours du fait d'une température plus élevée au printemps et en automne, ce qui provoque une exposition plus fréquente aux gelées printanières et induit une chute des bourgeons et des fleurs non fonctionnelles d'où un rendement sensiblement diminué.

Ces quelques exemples montrent l'universalité du facteur temporel chez les êtres vivants et la

symbiose qui existe entre ces derniers et les facteurs synchroniseurs de l'environnement.

Les rythmes biologiques imposés par la nature, la société, la famille font qu'il y a en nous, une mécanique affinée que nous avons intérêt à connaître pour profiter de façon optimale de notre énergie comme pour éviter de dissiper celle - ci inutilement au mauvais moment

Je terminerai cette présentation forcément synthétique et incomplète au vu de l'étendue du sujet en citant Voltaire :

"Ne pas noyer le lecteur par un excès de détails, le secret d'ennuyer est celui de tout dire."

Remerciements

Daniel Locker et Michel Monsigny (professeurs honoraires des Universités) ont lu et corrigé cette communication, je leur en suis très reconnaissant.

Jean - Pierre Guilloteau

Membre de l'Académie d'Orléans

Communication du jeudi 20 décembre 2018

Prix Nobel de Physique 2017

Détection des ondes gravitationnelles

Marius Ptak

Le 14 septembre 2015 à 11h51, le laboratoire américain LIGO a annoncé la détection pour la première fois d'ondes gravitationnelles. La publication de ce résultat dans "*Phys. Rev. Lett.*" en février 2016 a rassemblé 133 chercheurs de toutes les nationalités américaines, françaises, italiennes etc, engagées dans les deux projets de détection de ces ondes gravitationnelles : LIGO aux Etats Unis et VIRGO en Europe (même si le laboratoire européen n'avait pas encore réussi à détecter ces ondes). Dès 1916, dans sa théorie de la relativité générale Albert Einstein avait postulé l'existence de ces ondes gravitationnelles. Il a fallu près d'un siècle pour parvenir à les détecter. De telles ondes ont été de nouveau détectées une fois en 2015 et huit fois par la suite par les laboratoires américains et européens.

Le prix Nobel de Physique 2017 a été attribué le 3 octobre 2017 à trois chercheurs américains Raider Weiss, Barry C. Barish et Kip S. Thorne (Figure 1) pour leurs travaux qui ont conduit à l'observation des ondes gravitationnelles. Ces trois récipiendaires sont assez âgés. Ronald Drever (décédé entre temps) et Rainer Weiss,

sont les deux physiciens expérimentateurs qui ont été à l'origine de la conception du prototype du détecteur LIGO. Kip Thorne, astrophysicien théoricien spécialiste des trous noirs, les a rejoints sur ce sujet en 1970. Au début des années 1990, le physicien des particules Bary Barish prend la tête de la collaboration regroupant de nombreux physiciens et ingénieurs qui mettront au point le détecteur LIGO. Contrairement à l'usage, les universités des récipiendaires n'ont pas été indiquées dans l'annonce officielle. Le Comité Nobel a tenu à marquer qu'il s'agissait d'une collaboration internationale entre les Etats Unis et l'Europe avec les projets LIGO et VIRGO. L'attribution très rapide du Prix a suscité quelques remous dans la communauté scientifique qui considérait que ce résultat obtenu avec des installations américaines concernait en fait l'ensemble des équipes internationales engagées dans ce projet. De ce fait, la médaille d'or 2017 du CNRS a été attribuée à deux chercheurs français (Figure 2) : Alain Brillet et Thibault Damour qui ont joué un rôle très important dans la conception et le

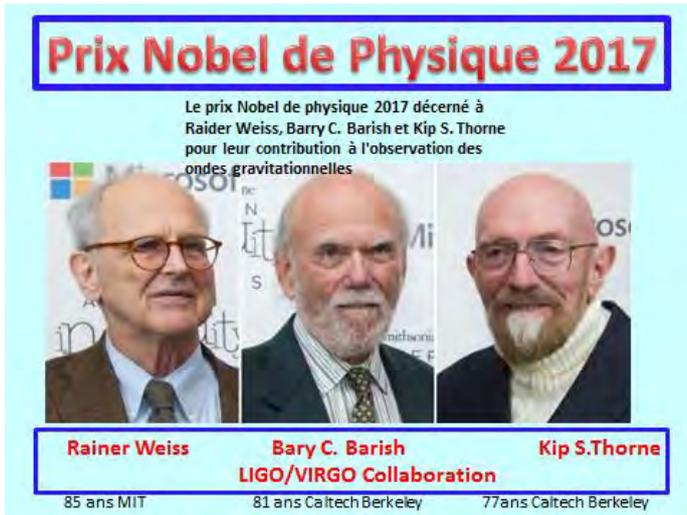


Fig. 1 - Les trois lauréats en 2017, Raider Weiss, Barry C. Barish et Kip S. Thorne.

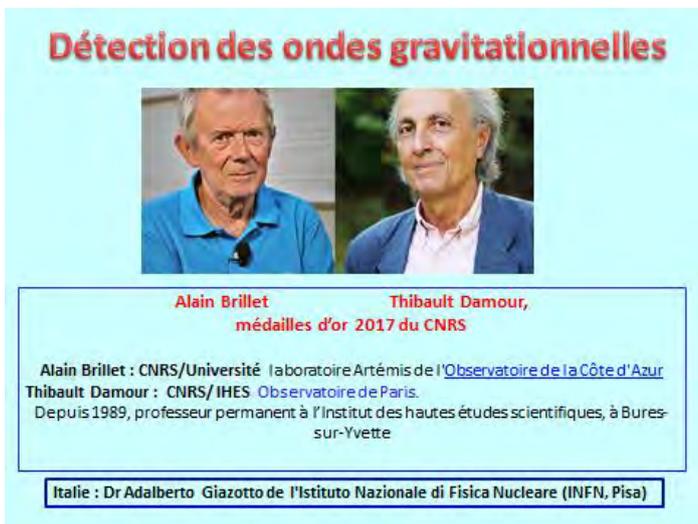


Fig. 2 – Alain Brillet et Thibault Damour, médailles d'or du CNRS en 2017 pour la détection des ondes gravitationnelles

développement du projet international. Il est extrêmement rare qu'un prix Nobel soit décerné aussi rapidement après une découverte. Ce qui s'explique par l'importance du résultat : l'interaction gravitationnelle dont on n'avait jamais mis en évidence le mode de propagation est l'une des quatre interactions fondamentales définissant les propriétés de la matière. Les effets de la gravitation nous sont pourtant très familiers dans l'approximation newtonienne, nous

sommes soumis à l'attraction terrestre, nous connaissons les forces d'attraction entre masses, mais nous ne savions pas comment ces forces s'établissent. Il faut en fait bien distinguer les forces que l'on peut mesurer entre deux masses à l'équilibre de la propagation des ondes entre masses en mouvement, ondes qui sont extrêmement faibles. Il a fallu passer à l'échelle cosmique pour les mettre en évidence ...

L'histoire de la gravitation est aussi longue que celle de l'humanité. De tout temps les hommes ont voulu comprendre pourquoi ils étaient attirés par la Terre, ils ont voulu comprendre le mouvement des planètes, etc. La légende veut que c'est la chute d'une pomme qui a donné à Isaac Newton l'idée d'une loi de la gravitation c'est à dire d'une loi universelle d'attraction entre masses inspirée de la loi qui régit le mouvement des planètes. Loi qu'il énonça en 1687. L'interaction gravitationnelle c'est à dire l'interaction attractive entre masses est l'une des quatre interactions fondamentales décrivant les propriétés de la matière : les interactions électromagnétiques entre particules chargées, l'interaction forte entre particules constitutives du noyau atomique, l'interaction faible intervenant dans les mécanismes de la radioactivité et l'interaction gravitationnelle. Pendant près de deux siècles, ces interactions gravitationnelles sont restées un mystère. En 1916, dans sa théorie de la relativité générale, Albert Einstein a proposé que l'interaction entre deux masses en mouvement se propage à la vitesse de la lumière par des ondes dites gravitationnelles. *L'interaction gravitationnelle est une force toujours attractive qui agit sur toute forme d'énergie, mais avec une intensité extrêmement faible (c'est l'interaction la plus faible des quatre interactions fondamentales). Ainsi, ses effets ne sont perceptibles que*

lorsque des objets très massifs (la masse est une forme d'énergie) sont en jeu, c'est le cas des objets astronomiques.

En physique classique, c'est la loi de Newton qui décrit l'interaction entre deux masses. Cette loi décrit correctement ce qui se passe à la surface de la Terre ainsi que le mouvement des planètes. En relativité restreinte un événement se positionne dans le temps et l'espace par ses quatre coordonnées « x », « y », « z », et « ct », c = vitesse de la lumière dans le vide) qui dépendent du référentiel. Distances et durées ne sont pas absolues, l'espace-temps est rigide et plat. En relativité générale (1905) Einstein abandonne la notion de force et la remplace par le concept de courbure de l'espace-temps. Les corps célestes adoptent des trajectoires qui sont déterminées par la configuration de l'espace-temps. Loin de toute distribution de matière, la courbure de l'espace-temps est nulle et toutes les trajectoires sont des lignes droites. Près d'un corps massif comme le Soleil, l'espace-temps est déformé, il forme une sorte de puits. Les corps célestes peuvent suivre différentes trajectoires : a) un corps initialement au repos "tombe" directement vers la source du champ de gravitation 2) un corps en mouvement suit une orbite sensiblement circulaire, comme une planète autour du Soleil par exemple 3) les rayons lumineux qui passent à proximité d'un corps céleste très massif sont déviés c'est un effet de lentille gravitationnelle ou de mirage gravitationnel. Pendant un siècle on a longuement débattu de la réalité des ondes gravitationnelles. Pour tester la proposition d'Einstein des expériences ont été réalisées à partir des années 1960, avec la mise au point des premiers détecteurs par Joseph Weber basés sur la déformation possible d'un gros cylindre métallique au passage d'une onde gravitationnelle. Mais l'expérience n'a pas été concluante. L'observation du pulsar binaire PSR B1913+16 (couple d'étoiles dont l'une est une étoile à neutrons) (étoile composée de neutrons

qui résulte de l'effondrement d'une étoile sur elle-même) a permis aux physiciens Russell Hulse et Joseph Taylor de disposer d'un indice sérieux en faveur de l'existence des ondes gravitationnelles, en montrant que la diminution de période de ce système binaire s'expliquait avec précision par l'émission de telles ondes. Ce travail a été récompensé par le prix Nobel de physique en 1993. Pour mettre en évidence les ondes gravitationnelles. Il faut des masses considérables et en mouvement pour qu'il y ait propagation des ondes. C'est ce qui se passe lors de la coalescence de trous noirs. Un trou noir stellaire résulte de l'effondrement gravitationnel d'une étoile sur elle-même. (Le terme « trou noir » a été inventé par le physicien américain John Wheeler en 1967, pour décrire une concentration de masse-énergie si compacte que même les photons ne peuvent se soustraire à sa force gravitationnelle. On ne voit pas ce trou noir mais seulement ce qu'il y a autour). Il y a eu plusieurs tentatives de détection des ondes gravitationnelles : en 2014 l'observatoire Bicep2 (radiotélescope diamètre 30cm installé sur la base américaine au pôle sud) avait annoncé la détection de telles ondes dites primordiales ce qui a été démenti par la suite en 2015 par le satellite européen Planck (coll. NASA) qui étudie le rayonnement fossile.

Une nouvelle technique interférométrique (Figure 3) a été mise au point pour observer les ondes gravitationnelles. Un interféromètre laser géant de type Michelson est constitué de deux bras perpendiculaires, de plusieurs km, terminés par des miroirs réfléchissants. Un signal infrarouge est divisé en deux par un miroir semi réfléchissant.

Les deux signaux font un aller-retour dans deux bras perpendiculaires (Figure 4) et on les superpose pour donner des interférences : si elles sont en phase elles donnent un maximum, si elles sont en opposition de phase elles s'annulent. Si on se place au minimum la moindre perturbation

va faire apparaître un signal. Trois installations de ce type ont été réalisées : deux aux Etats Unis : c'est le projet LIGO (projet NSF et collaboration internationale) : deux interféromètres géants avec des bras de 4km. Un interféromètre est situé en Louisiane, l'autre à 3 000 kilomètres, dans l'État de Washington Une autre installation a été faite en Italie : c'est le projet VIRGO (bras de 3km) (France et l'Italie (les deux pays à l'origine du projet), Pays-Bas, Pologne et Hongrie). En raison de leur taille et des perturbations qui existent sur Terre (notamment les vibrations sismiques, qui peuvent déplacer les miroirs), la sensibilité de ces équipements est limitée aux ondes gravitationnelles de fréquences situées dans un domaine allant de 10 hertz à plusieurs milliers de hertz. Dans cette gamme de fréquences, et avec leur sensibilité initiale, les détecteurs LIGO et VIRGO ne pouvaient détecter que des événements particulièrement puissants, telle la fusion de deux trous noirs qui se serait déroulée dans notre galaxie ou dans des galaxies proches. Dans une galaxie lointaine, deux trous noirs situés à environ 1,3 milliards d'années-lumière de la Terre qui tournaient l'un autour de l'autre et de masse de l'ordre environ 30 soleils ont fini par se rencontrer à 200 000 kilomètres/seconde (les

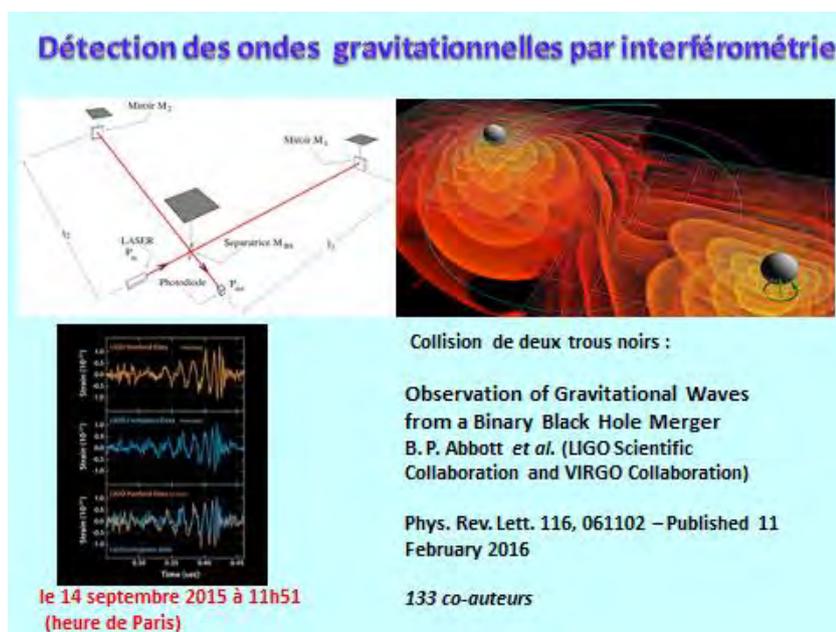


Figure 3 – Détection des ondes gravitationnelles par interférométrie en utilisant des Lasers infra-rouges : longueur d'onde $1,06 \mu\text{m}$; 400 allers-retours. La précision est de l'ordre de : 10^{-14} m .



Fig. 4 – Schéma de l'interféromètre géant comportant deux bras perpendiculaires.

deux tiers de la vitesse de la lumière !) et à fusionner. Un phénomène appelé coalescence.

Cet événement cataclysmique, baptisé GW150914, a converti en une fraction de seconde en ondes gravitationnelles une énergie équivalant à trois fois la masse du Soleil. Le

14 septembre 2015 à 11 h 51, deux observations simultanées d'ondes gravitationnelles ont été faites à l'aide des deux interféromètres laser géants de LIGO. L'onde gravitationnelle contracte et allonge les bras de l'interféromètre dans deux directions perpendiculaires de 10^{-14} m (!!). La technique est donc extraordinairement sensible. Les résultats ont été publiés conjointement le 11 février 2016, dans *Phys. Rev. Lett* dans un article comportant un auteur principal et les 133 co-auteurs qui ont participé à l'ensemble du projet "ondes gravitationnelles". Une deuxième détection d'ondes gravitationnelles observée le 26 décembre 2015 et annoncée le 15 juin 2016, (GW151226), a impliqué deux trous noirs de 8 et 14 masses solaires, qui ont fusionné en un seul de 21 masses solaires à 1,4 milliard d'années-lumière. Leur trajectoire en spirale a provoqué l'émission d'un tremblement d'espace capté pendant une seconde par LIGO. VIRGO a été amélioré et a commencé à détecter des ondes gravitationnelles : première détection conjointe Ligo Virgo le 14 août 2017. Au total on a détecté 10 ondes gravitationnelles.

Le satellite européen LISA *Pathfinder* (projet *eLISA*) chargé d'ouvrir la voie à la détection de ces déformations de l'espace-temps causées par la force de gravité, a rejoint sa première orbite après son lancement par une fusée Vega le 3 décembre 2015 depuis la Guyane française, a annoncé la société Arianespace. Situé en un point de Lagrange il a une position fixe parfaitement déterminée. A l'intérieur du satellite deux masses distantes de 35cm flottant dans le vide sont soumises uniquement à la gravitation. Un petit interféromètre permet de mesurer la distance entre ces deux masses avec une précision extrême : les dernières mesures ont été faites avec une précision de $30 \cdot 10^{-15}$ m! Ce qui permet de vérifier que cette distance est constante en l'absence de toute force autre que la gravitation. Un système de trois satellites

identiques formant un interféromètre géant permettra de détecter des ondes gravitationnelles.

La chasse aux ondes gravitationnelles est ouverte : échos du Big Bang, explosions de supernovæ, fusion d'étoiles à neutrons, fusion de trous noirs, etc. Les interféromètres vont être améliorés. La notion de gravité va être revue. L'univers va nous révéler des surprises !

Marius Ptak

**Professeur des Universités honoraire
Membre titulaire de l'Académie**

Communication du jeudi 4 janvier 2018

Prix Nobel de Physiologie ou Médecine 2017

A la recherche des gènes impliqués dans les rythmes biologiques

Daniel Locker



En novembre 2017, le prix Nobel de physiologie et médecine est attribué à 3 chercheurs américains : Jeffrey C. Hall, 72 ans, Michael Rosbash 73 ans, et Michael W. Young, 68 ans, « *pour leurs découvertes des mécanismes moléculaires qui règlent le rythme circadien*¹ ». Leurs résultats ont permis de comprendre comment l'horloge interne d'environ 24 heures était réglée comme une réponse aux durées de jour et de nuit modifiées artificiellement. Ces recherches ont été effectuées chez un organisme modèle : la drosophile².

Jeffrey Hall et Michael Rosbach travaillent en collaboration depuis plus de 30 ans à l'université de Brandeis dans le Massachusetts (USA) alors que Michael Young a son laboratoire de recherche à Austin dans l'état du Texas.

Ils sont les dignes successeurs du « père » de la neurogénétique, Seymour Benzer. Celui-ci a découvert en 1971 chez la drosophile le premier gène qui contrôle le cycle circadien, le gène "période". Chez l'homme, un mécanisme très similaire à celui de la drosophile a été conservé au fil de l'évolution. Ce qui a été



observé chez cette petite mouche est généralisable, et permet de comprendre l'ensemble du rythme circadien chez les êtres vivants.

Mais à quoi correspond le rythme circadien ? Il regroupe les processus biologiques qui ont une oscillation d'environ 24 heures. Si vous mettez une mouche ou un homme dans le noir complet pendant des jours et des jours, ils continuent à avoir un rythme régulier. Le métabolisme de tous les êtres vivants repose sur cette horloge interne, qui se remet à l'heure chaque jour suivant l'alternance entre le jour et la nuit : comportement alimentaire et cycle veille-sommeil sont placés sous le contrôle de ces rythmes circadiens.

Ce rythme a été observé, il y a fort longtemps, chez les végétaux notamment par

¹ Circadien : du latin : circa (autour) et dies (jour). Circadien qualifie un rythme biologique qui a pour base 24 h.

² Drosophile : insecte diptère (qui a 2 ailes) communément appelé mouche du vinaigre ou mouche des fruits.

les travaux sur le mimosa de Jean-Jacques d'Ortous, Écuyer, sieur de Mairan" (1678-1771), alors membre de l'Académie Royale des Sciences avec rang de "Pensionnaire-géomètre". En 1729, dans son "*Observation botanique*", il relate que les feuilles du mimosa restent ouvertes ou se replient suivant l'alternance jour nuit.

Au début des années 1970, Ron Konopka



Mimosa pudica

et Seymour Benzer ont administré une substance mutagène à des mouches et examiné l'activité de 2 000 lignées dans leur descendance suivant un protocole semblable à celui qui a permis la découverte des gènes homéotiques³ (Prix Nobel, 1995). Ces lignées avaient en majorité un cycle circadien normal de 24 heures, soit environ 12 heures d'activité et 12 heures de repos. Mais ils ont observé trois lignées mutantes avec des cycles très différents : l'une avait un cycle de 19 heures, une autre de 28 heures et une troisième n'avait apparemment pas de rythme circadien, s'activant et se reposant de manière aléatoire. Ils ont appelé ces mutants des mutants **Per** (période).

Une dizaine d'années plus tard, dans les années 1980, Jeffrey Hall et Michael Rosbach mettent en évidence par des tests génétiques classiques que les trois lignées mutantes résultent de trois mutations affectant un même gène sur le chromosome X. Ce gène appelé « **per** » semble jouer un rôle à la fois

dans l'établissement et dans la durée du rythme circadien.

En 1990, Michael Rosbash et Jeffrey Hall démontrent que les mouches normales présentent une variation circadienne de l'ARN messager *per* et de la protéine PER, tandis que les mouches mutantes dépourvues de rythme circadien ne manifestent pas cette périodicité de 24 heures dans l'expression du gène.

À la même époque, soit près de 20 ans après la découverte du gène *per*, un second gène aux propriétés semblables est identifié, par Michael Young, sur le chromosome 2, cette fois. Il reçoit le nom de **tim**, pour « *timeless* » en anglais, puisque les mouches ayant ce gène muté ne présentent pas de cycles circadiens.

Au milieu des années 1990, on découvre que les protéines PER et TIM produites par ces gènes ont la propriété de se lier l'une à l'autre. Les travaux de Rosbash et Young mettent en évidence une boucle de rétroaction très sophistiquée d'une durée de 24 heures impliquant ces deux gènes.

On peut schématiser cette boucle de rétroaction en disant que les gènes *per* et *tim* sont actifs jusqu'à ce que la concentration de la protéine dont ils induisent la production dans le cytoplasme devienne suffisamment élevée pour que les deux protéines puissent s'associer. Grâce à cette association, les protéines peuvent entrer dans le noyau de la cellule et donner ainsi un signal d'arrêt d'activité des gènes *per* et *tim*. Après quelques heures, des enzymes dégradent les protéines entrées dans le noyau, les gènes peuvent reprendre leur activité, et le cycle s'enclenche une fois de plus.

Mais qu'est-ce qui active initialement les gènes *per* et *tim* ?

³ Gène homéotique : **gène** qui détermine le plan d'organisation d'un être vivant : la position des organes les uns par rapport aux autres,

En 1997, Joseph Takahashi et son équipe apportent une partie de la réponse en découvrant le gène « **Clock** » chez la souris. Ce gène, dont la mutation homozygote entraîne en quelques semaines la perte du rythme circadien, permet de produire un facteur de transcription, c'est-à-dire une protéine capable de se fixer sur un élément d'ADN pour en stimuler la transcription. Chez la souris, cette protéine CLOCK a pour cible les gènes *per* qu'elle active. Chez la mouche, elle active à la fois le gène *per* et le gène *tim*. Rosbash et ses collègues ont trouvé un autre gène appelé « **cycle** » qui à l'origine d'une nouvelle protéine dont la liaison avec la protéine CLOCK active les gènes *per* et *tim*.

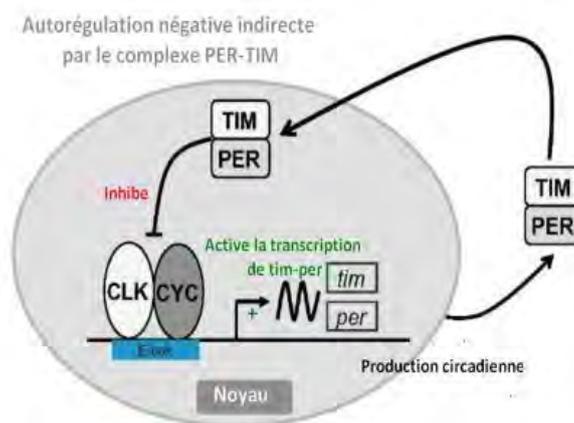
Puis, en 1998, c'est au tour de la protéine « **Doubletime** » d'être mise en évidence. Il s'agit d'une kinase, c'est-à-dire une protéine qui catalyse l'addition d'un résidu phosphate sur un acide aminé d'une protéine. En l'occurrence, elle phosphoryle la protéine PER, ce qui en modifie la structure et la rend instable : elle est alors incapable d'entrer dans le noyau pour inhiber sa propre production.

En outre, il a été découvert que le niveau de la protéine TIM est directement affecté par l'intensité lumineuse via une protéine appelée « **CRY** ». Cette protéine appartient à la famille des cryptochromes, molécules initialement décrites comme des récepteurs de la lumière. Chez la drosophile, CRY, en réponse à la lumière, interagit avec TIM et induit sa dégradation, ce qui l'empêche de former un complexe avec PER. Ici encore, il y a un effet global activateur des gènes PER et TIM par diminution de l'inhibition.

Doubletime et CRY agissent donc toutes deux en modifiant la disponibilité de deux des protéines centrales de l'horloge.

Notons que CRY a été décrite ci-dessus comme s'associant à TIM. C'est certes le cas chez la drosophile. Mais chez la souris, CRY se lie à PER, pour donner un complexe PER-CRY fonctionnellement analogue au complexe PER-TIM de la drosophile. En d'autres termes, selon que l'on étudie la drosophile ou la souris, CRY assume deux fonctions quasiment opposées : activateur indirect de la transcription du gène *per* chez la

première ou inhibiteur du même gène chez la seconde ! Problème inhérent à la comparaison de résultats entre systèmes d'études différents ... et au bricolage de l'évolution ...



Si elles sont principalement du ressort de la physiologie, ces recherches chronobiologiques ont aussi des implications médicales, comme une meilleure compréhension des troubles du sommeil héréditaires. En traçant depuis les années 1980 le "gène horloge" ou "période" de la mouche, et en adaptant les analyses aux humains, les trois chercheurs américains, dans leurs laboratoires respectifs ou en collaboration, ont constitué une base pour identifier les troubles de sommeil et des rythmes biologiques.

Daniel Locker

*Membre titulaire, section sciences
Académie d'Orléans*

Communication du jeudi 6 janvier 2018

Un bio-adhésif inspiré par la bave de limace

François Kergall



Si la bave de crapaud n'inspire rien de flatteur, celle d'une certaine limace a éveillé avec succès l'attention de chercheurs, bien inspirés, de l'université de Harvard qui ont développé un "scotch" non toxique qui peut être utilisé sur la peau et les organes. Le dispositif a été testé pour réparer un cœur de porc percé afin de lui permettre de continuer à battre.

Pour réparer les organes et les tissus endommagés ou percés, les chirurgiens utilisent généralement des agrafes, des sutures et des fils pour maintenir les bords de la plaie afin qu'ils puissent se cicatriser. Mais ces procédures sont compliquées à réaliser dans les zones du corps difficiles à atteindre et les plaies ne sont pas toujours immédiatement étanches.

Malgré tout, afin de réparer un organe perforé (un cœur, un estomac on continue à donner aujourd'hui la préférence aux sutures chirurgicales, à partir de fils, résorbables ou non, car la plupart des colles et des pansements adhésifs sont toxiques pour l'organisme humain et adhèrent très mal aux tissus humides.

Ces procédures présentent également le risque que les tissus soient encore endommagés

et infectés. Un défi particulier est posé par des plaies dans des tissus fragiles ou élastiques qui se développent ou se contractent en permanence comme la respiration pulmonaire, un cœur qui bat ou les pulsations des artères. Pour remédier à certains de ces problèmes, les ingénieurs biomédicaux ont développé une gamme de colles chirurgicales qui peuvent lier les tissus pour éliminer les fuites. Cependant, les colles chirurgicales actuellement disponibles ne sont pas adaptées à la plupart des applications chirurgicales et elles ne fonctionnent pas sans les sutures ou les agrafes, car elles ne présentent pas une combinaison optimale d'élasticité, d'adhérence tissulaire et de résistance.

Il y a là, un problème qu'une équipe de chercheurs de l'université de Harvard est parvenue à contourner : ces derniers ont conçu un adhésif dont la formule biochimique est inspirée par ... la bave de limace ! Testés sur le porc et le rat, les pansements ainsi conçus parviennent à colmater un cœur ou un foie percés, permettant aux organes de continuer à fonctionner. Cette découverte, qui pourrait

révolutionner le monde de la chirurgie, a été publiée dans *Science*.

Que nous disent les auteurs ?

Des adhésifs tissulaires sont utilisés comme alternative aux points de suture et aux agrafes et sont mieux tolérés par les tissus. Mais ils peuvent souffrir d'une mauvaise tolérance biologique ou mécanique. Li et collaborateurs ont combiné une surface adhésive à une matrice flexible qui réunit un bon niveau de résistance et de flexibilité. Cet adhésif est efficace en présence de sang.

Leur secret de fabrication ? « *Deux couches de matériaux distincts : une première permettant l'adhérence grâce aux forces électrostatiques et à des liaisons covalentes, et une seconde qui dissipe l'énergie dégagée par la réaction d'adhérence.* »

Historiquement, c'est la première fois que ces deux caractéristiques sont incluses dans un seul adhésif, détaille Dave Mooney, co-auteur de l'étude. « *Cette combinaison permet des niveaux d'adhérence bien plus élevés que tous les adhésifs traditionnels, et résiste au sang et au mouvement, ce qui le rend compatible avec un usage in vivo.* »

Certes des chercheurs de l'université de Santa Barbara, étaient parvenus à concevoir une molécule extra-adhésive en milieu aqueux, en observant, en imitant et en améliorant la façon dont les mollusques bivalves (les moules) s'accrochent aux rochers. C'était déjà une petite révolution dans le monde de l'ingénierie des matériaux, (Science août 2015), car l'adhérence humide se révèle historiquement une vraie gageure pour les scientifiques, et notamment dans le domaine médical.

Une autre publication, postérieure à celle des chercheurs de Harvard, rapporte la création d'une colle chirurgicale basée sur *l'élastine*. C'est montrer combien le sujet est d'actualité.

Ici, nos scientifiques de Harvard ont travaillé sur la Loche roussâtre : *Arion subfuscus* ou Loche roussâtre (nom scientifique français officiel

depuis 2010) est une espèce de limace appartenant à la famille des Arionidae.

C'est donc son mucus qui a servi de base d'inspiration à une colle extrêmement résistante et biocompatible aux tissus mouillés comme secs.

Quand *Jianyu Li* a commencé à réfléchir à la façon d'améliorer les adhésifs médicaux, il a trouvé une solution dans un endroit improbable... une limace. La *Dusky Arion* (*Arion subfuscus*), une limace commune en Europe et dans certaines parties des États-Unis, sécrète un type particulier de mucus lorsqu'elle est menacée. Ce mucus permet à la limace de se "coller" sur place. Le prédateur peut tirer autant qu'il veut, la limace ne bougera pas. La beauté de la découverte est que cette colle est spécifiquement composée d'une matrice résistante aux protéines chargées positivement. Cela a inspiré Li et ses collègues pour créer un hydrogel double couche constituée d'une matrice d'alginate-polyacrylamide supportant une couche adhésive qui possède des polymères chargés positivement à partir de sa surface.

Les chercheurs ont testé leur adhésif médical sur une variété de tissus de porcs secs et humides incluant la peau, le cartilage, le cœur, l'artère et le foie et ils ont constaté qu'il se collait à tous avec une résistance significativement plus élevée que les autres adhésifs médicaux. L'adhésif résistant a également maintenu sa stabilité et sa liaison lorsqu'on l'a utilisé chez des rats pendant 2 semaines. On l'a également utilisé pour sceller un trou dans le cœur de porc qui a été gonflé et dégonflé mécaniquement puis soumis à des dizaines de milliers de cycles d'étirement. De plus, il n'a provoqué aucun dommage tissulaire ou collage parasite aux tissus environnants, lorsqu'on l'a utilisé sur une hémorragie hépatique chez la souris. Or, ce sont des effets secondaires qu'on avait observés avec de la super-colle et un adhésif commercial à base de thrombine.

Un vaste champ d'applications médicales

La résistance de cette colle bio-inspirée, a été testée par les chercheurs qui ont procédé à des essais de résistance sur divers tissus de porc et de rat : peau, cartilage, cœur, artère, foie...Les résultats sont très encourageants une tenue trois fois supérieure aux autres adhésifs de qualité médicale. Implanté sous la peau d'un rat, il s'est correctement maintenu pendant plus de deux semaines. Il a même permis de "réparer" un cœur de porc qui a continué à battre artificiellement à l'aide d'une machine pendant plusieurs jours.

Applications. *"Cette famille d'adhésifs résistants ouvre un large champ d'application, dans le but de concevoir des pansements biodégradables qui se décomposeront après avoir accompli leur mission de cicatrisation, voire de nouveaux moyens d'administrer les médicaments in vivo."*

La nature a souvent permis de trouver des solutions élégantes à des problèmes communs.

Cette découverte devrait permettre le développement de nouvelles technologies d'aide à la chirurgie et à la cicatrisation. D'ici là, la difficulté sera de passer aux tests de tolérance et aux essais cliniques chez l'homme.

François KERGALL

Membre titulaire de l'Académie d'Orléans

Communication du jeudi 4 janvier 2018

Le Prix Nobel de chimie 2018

Évolution dirigée d'enzymes et production de peptides et d'anticorps à l'aide de phages

André Brack



Le prix Nobel 2018 de "physiologie ou médecine" a été décerné à l'Américain James Allison et au Japonais Tasuku Honjo pour leur travaux sur une approche révolutionnaire pour traiter le cancer basée sur l'immunothérapie. Le prix Nobel de physique a été attribué à trois chercheurs spécialistes des lasers, dont le Français Gérard Mourou.

Le prix Nobel de chimie 2018 sanctionne des travaux sur l'évolution dirigée de bactéries et de phages où il est beaucoup question d'acides aminés, de peptides et de protéines, dont les définitions sont rappelées ci-après.

Le Nobel de Chimie 2018 a été attribué pour moitié à l'Américaine Frances H. Arnold, (Figure 1) pour avoir conduit "*la première étude sur l'évolution dirigée des enzymes, des protéines qui catalysent les réactions chimiques*".

Les acides aminés (Figure 2) sont les constituants élémentaires des protéines. Polyfonctionnels, ils comportent une fonction amine – NH₂ et une fonction acide – COOH.

Un peptide (Figure 3) est un enchaînement d'un petit nombre

d'acides aminés. C'est le cas de certaines hormones comme l'ocytocine et la vasopressine constituées de 9 acides aminés.

Une protéine est constituée par un grand nombre (plus d'une centaine) d'acide α-aminés reliés entre eux. C'est le cas notamment des anticorps et des enzymes dotées de propriétés catalytiques, comme la chymosine qui coupe la caséine du lait avec ses 323 acides aminés.

En 1993, elle démontre comment orienter la sélection naturelle de bactéries pour produire des enzymes plus efficaces. A partir d'une culture de bactéries sécrétant une enzyme capable de briser la protéine du lait, elle avait forcé ces micro-organismes à muter dans de nombreuses directions pour produire des versions modifiées de l'enzyme, avant de sélectionner les meilleures. À la

seconde génération l'action de l'enzyme était déjà 35 fois meilleure, tandis qu'à la troisième son efficacité avait été multipliée par 256 ! Frances Arnold, et d'autres, ont par la suite raffiné cette méthode, qui est aujourd'hui largement utilisée pour produire des



Fig. 1 - Frances H. Arnold

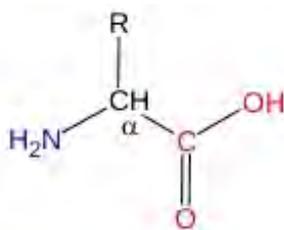


Fig. 2 - Un acide aminé

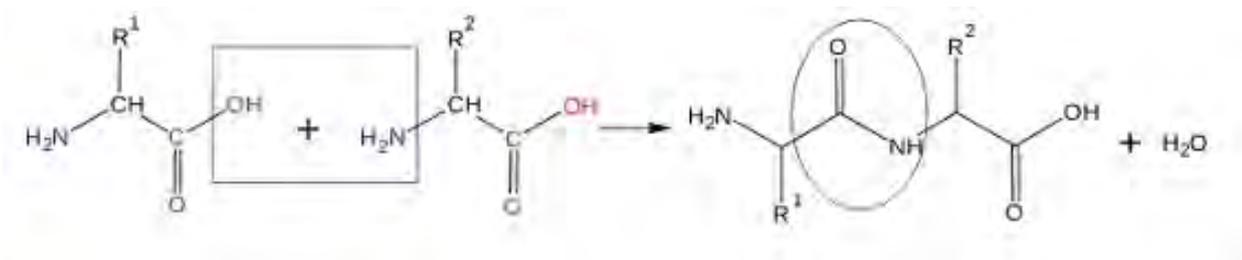


Fig. 3 - La condensation de deux acides aminés conduit à un peptide avec libération d'une molécule d'eau



Fig. 4 - George P. Smith
chimiste



Sir Gregory P. Winter
biochimiste

molécules pharmaceutiques et des agrocarburants.

L'autre moitié du Nobel revient à (Figure 4) George P. Smith (Etats-Unis) et Sir Gregory P. Winter (Royaume-Uni) pour leurs travaux sur "l'expression des phages dans les peptides et les anticorps".

Les phages (aussi nommés bactériophages ou virus bactériens) sont des virus qui parviennent à prendre le contrôle d'une bactérie. En 1985, George Smith avait mis au point une technique baptisée "expression de phage", qui consiste à utiliser un bactériophage (Figure 5) pour forcer une bactérie à évoluer pour produire une molécule chimique spécifique. Par la suite, Gregory Winter a amélioré la méthode pour produire des anticorps afin de créer une nouvelle génération de médicaments. Le premier d'entre eux, l'adalimumab (Figure 6) a été mis sur le marché en 2002 - et autorisé en France en 2008 - pour lutter contre des maladies inflammatoires, comme le psoriasis ou la polyarthrite rhumatoïde.

Depuis la technique de Smith et Winter a permis de créer d'autres anticorps, capables de neutraliser des toxines ou de lutter contre les cancers métastatiques. Cette thérapie, nommée phagothérapie, gagne de plus en plus de soutiens dans les pays où les antibiotiques s'avèrent de moins en moins efficaces parce qu'utilisés à outrance.

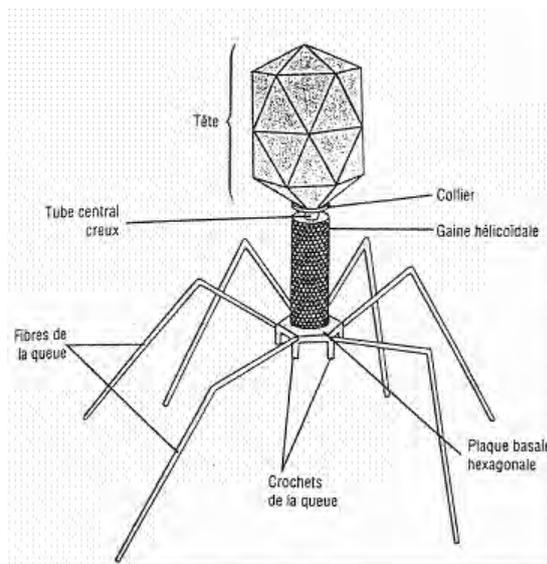


Fig. 5 - Bactériophage T4 qui s'attaque à la bactérie *Escherichia coli*

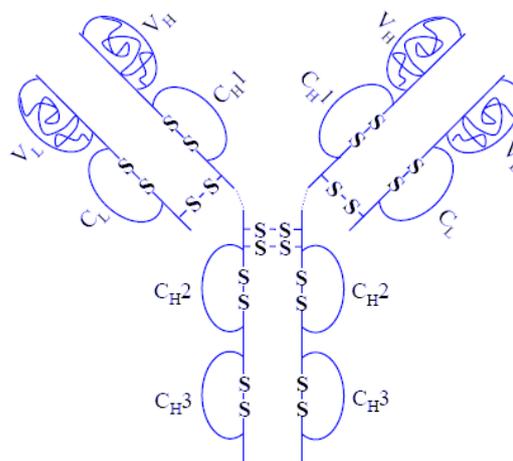


Fig. 6 - L'anticorps « adalimumab » et ses 4 chaînes protéiques

André Brack

Directeur de recherche honoraire du CNRS
Membre titulaire de l'Académie d'Orléans

Communication du jeudi 8 novembre 2018

Les Dahlias sauvages

Christian Froissart.

Résumé

Les Dahlias de nos jardins ont depuis leur arrivée en Europe imposé leur image : celle de grosses fleurs chamarrées évoquant plus le papier crépon que la Mère Nature. À l'état naturel, au Mexique dont ils sont originaires, ce sont des plantes relativement discrètes, mais suffisamment élégantes pour mériter notre attention. L'histoire de leur arrivée en Europe, de leur popularité après les premières transformations que les horticulteurs leur ont infligées puis de la redécouverte récente des espèces dites sauvages est présentée, complétée de quelques notions de botanique élémentaire permettant de mieux les situer dans le grand arbre du vivant.

Abstract

Since they arrived in Europe, garden Dahlias have settled their image: huge multicoloured flowers with a crepe paper look. In the fields, in Mexico from where they all were native, they are in fact rather shy plants, but with enough elegance to deserve our attention.

The history of the arrival of Dahlias in Europe, their success after the first hybridizations performed by horticulturists and the recent renewed interest for species from the nature are briefly presented, accompanied with enough basic botany knowledge, to locate the genus Dahlia in the big tree of life.



Premiers contacts.

C'est en 2004 lors d'un voyage dans le sud du Mexique à la recherche de *Salvia* que j'ai croisé pour la première fois un *Dahlia* croissant à l'état naturel dans son biotope aux alentours de 2500 m d'altitude. Sans le concours d'autres membres du groupe qui avait reconnu *Dahlia tenuicaulis*, je n'aurais pas prêté d'attention à cette marguerite mauve haute sur pattes. Une observation plus attentive permettait toutefois de reconnaître le feuillage composé imparipenné, les tiges creuses gorgées d'eau et le parfum musqué des Dahlias de nos jardins européens. Mais ici plus question de grosses fleurs aux multiples ligules, juste le charme discret de capitules simples flottant élégamment quelques mètres au-dessus du sol dans la brume presque permanente de la Sierra del Sur.

Un peu de botanique de base.

La taxinomie du *Dahlia* est la suivante :

Règne *Plantae* ,
 Division *magnoliophyta*, (*Angiospermes*)
 Classe *Magnoliopsida*, (*Dicotyledons*)
 Sous-classe *Asteridae*,
 Ordre *Asterales*,
 Famille *Asteraceae*,
 Tribu *Helianthae*,
 Sous-tribu *Coreopsidinae*,
 Genre *Dahlia*

Avec la classification phylogénétique, quelques noms changent encore, mais les principes sont identiques.

Ce qui caractérise la famille des *Asteraceae*, c'est uniquement la forme de leurs inflorescences. Les fleurons sont regroupés en capitules (ce que le grand public appelle « fleur »). Ils sont de deux types :

* les fleurons tubulés hermaphrodites situés au centre du capitule (ce qui correspond au cœur pour le grand public).

* les fleurons ligulés répartis sur le pourtour du capitule (les pétales du grand public que l'on arrache aux marguerites pour savoir si l'on est aimé).

Notre confrère Augustin de Saint-Hilaire distinguait quatre types d'inflorescence : Les tubiflores (ne contenant que des fleurons tubulés comme les artichauts ou les chardons), les liguliflores (ne portant que des fleurons ligulés comme les pissenlits ou la chicorée), les radiés (avec des fleurons tubulés au centre et des fleurons ligulés en périphérie comme les marguerites) et les labiatiflores (avec comme les radiés des fleurons tubulés au centre et avec des fleurons bilabiés en périphérie, ne concerne que le genre *Mutisia*).

À l'état naturel, les Dahlias sont des radiés, mais les horticulteurs ont sélectionné des sujets comportant plusieurs rangées de fleurons ligulés à tel point que le cœur n'est plus visible chez la plupart des variétés cultivées.

Les Dahlias et les hommes : découverte.

C'est avec la conquête du Mexique que l'Occident découvre l'existence des Dahlias.

La première illustration de ce qui semble être *Dahlia coccinea* figure dans le codex Barberini *Libellus de medicinalibus indorum herbis* datant de 1552.

Francisco Hernandez mentionne dans *Rerum medicarum novae Hispaniae thesaurus seu plantarum animalium mineralium mexicanorum historia*, publié à Rome, en 1651, l'Acocotlis, cultivé par les Aztèques et dont la description évoque, elle aussi, *Dahlia coccinea*. Aucune propriété médicinale ou magique n'est indiquée dans ces deux traités.

L'expédition botanique royale en Nouvelle-Espagne de Martín Sessé y Lacasta et José Mariano Mociño Suárez Lozano a sillonné une grande partie du Mexique. Elle aboutit, entre autres résultats, à la création du Jardin botanique

de Mexico en 1786, placé sous la direction de Vincente Cervantes. Sessé et Mociño confient leurs collections et notes à Augustin Pyrame de Candolle. Il ne les publiera que cinquante ans plus tard, laissant à d'autres la primauté des découvertes de Sessé et Mociño.

C'est ainsi que José Cavanilles fait figurer dans *Ícones et descriptiones plantarum*, en 1791, la description d'une plante obtenue à partir de graines que Cervantes lui avait envoyées du Jardin botanique de Mexico. Il la nomme *Dahlia pinnata* en mémoire d'Andreas Dahl.

La consultation de Google avec « Dahl » fournit une cinquantaine de recettes d'agneau aux lentilles (Dahl signifiant lentille en sanscrit), la biographie de quelques sportifs, écrivains et personnages du monde du spectacle et enfin celle d'Andreas Dahl, un élève de Linné qui eut la bonne idée de décéder un an avant la publication de Cavanilles. Ce fils de pasteur danois a commencé ses études de médecine à Uppsala, sous la conduite de Carl Linné. Le décès de son père l'ayant privé de ressources, il interrompt ses études pour rentrer au service de Claus Alströmer, un autre élève de Linné, infiniment plus fortuné que lui. Contrairement à ce qui a été écrit çà et là, de sa vie Dahl n'a jamais vu ni approché un Dahlia et seule sa mort récente a incité Cavanilles à choisir son nom.

Un autre élève de Linné, Carl Peter Thunberg, avait aussi rendu hommage à Dahl. Pendant son voyage en Afrique du Sud, il avait fait la diagnose d'une *Hamamelidaceae* jusqu'alors inconnue. La pilosité de cette plante lui avait rappelé celle de son camarade de collège Anders Dahl et il l'avait nommée *Dahlia crinita* (nom spécifique = à crinière). Bien que cela ait eu lieu bien avant la publication d'*Ícones* (Le séjour de Thunberg en Afrique du Sud eut lieu entre 1772 et 1775), ce n'est qu'en 1792, après son séjour au Japon, que Thunberg publia ses découvertes africaines.

Carl Ludwig Willdenow, médecin et directeur du Jardin botanique de Berlin, voulut mettre fin à cette homonymie. Partant du principe que la découverte de Thunberg était antérieure à celle de Cavanilles, il légittima le nom de *Dahlia crinita* et proposa pour les plantes de Cavanilles le nom de *Georgina*, honorant Johan Gotlieb Georgi, un de ses anciens camarades de collège, en poste à Saint-Petersbourg. Bien que le code de

nomenclature botanique considère que la date de publication fasse foi, ce qui légitime l'appellation de Cavanilles, le nom de *Geogina* fut assez largement adopté en Europe. Ce n'est qu'en 1807 que la découverte de Thunberg fut renommée par Person *Trichocladus crinitus* (Rameau velu à crinière) et que le nom Dahlia fut définitivement attribué aux sujets décrits par Cavanilles.

Les Dahlias et les hommes : le succès horticole.

Étrangères à ces querelles taxinomiques, c'est un succès paneuropéen que les plantes de Cavanilles vont connaître, tant sous l'appellation Dahlia que sous celle de Geogina. Les tubercules font l'objet de spéculations, presque aussi insensées que celles que connurent les bulbes de tulipe au XVIII^e siècle.

On cultive les Dahlias à Paris, au Jardin des Plantes (nom donné au Jardin du Roy après la Révolution). C'est un certain Citoyen Thibaud qui revenant de Madrid, en 1802, offrit à André Thouin des tubercules et des graines de Dahlia que lui avait confiés Cavanilles. Thouin publie en 1804 *Mémoire sur la Culture des Dahlias et sur leur Usage dans l'Ornement des Jardin*. Les mérites esthétiques des 3 « espèces » de Dahlia connues de Cavanilles y sont vantés, accompagnés de conseils de culture et d'une illustration colorisée (Fig. 1). Thouin termine son mémoire en incitant à la recherche de qualités nutritives chez les Dahlias, botaniquement et géographiquement proches des *Helianthus tuberosus* (soleil topinambour) : « La bonté est souvent dans les végétaux la compagne de la beauté ».

On retrouve dans *Catalogus plantarum horti regii parisiensis, cum annotationibus de plantis novis aut minus cognitis* que René Louiche Desfontaines publie en 1829 mention d'une dizaine de spécimens dont environ la moitié avec l'appellation *Geogina*. Plusieurs auteurs modernes prétendent que ces cultures répondaient aux injonctions de Thouin, aux fins alimentaires.

Des collections prestigieuses se créent comme celle de Malmaison où l'impératrice Joséphine est assistée par le Comte Jean-Baptiste Lelieur de Ville-sur-Arce puis par Aimé Bonpland, revenu de son aventure américaine. Bonpland avait certainement rencontré des Dahlias à la fin de son

expédition américaine avec Alexander von Humboldt. Ce dernier relate en avoir trouvé à Patzcuaro, où ils avaient herborisé en compagnie de Vincente Cervantes.

En Angleterre, la marquise de Bute dont le mari était ambassadeur à Madrid obtint des graines de Casimir Ortega, un confrère de José Cavanilles. Elle les confia au Jardin de Kew dont son beau-père, John Stuart 3^e comte de Bute, avait eu la charge quelques années plus tôt.

Sans que leurs provenances soient explicitées, les Jardins de Holland House à Kensington ont vu s'épanouir une importante collection de Dahlias. Les multiples voyages et rencontres de la sulfureuse Lady Holland en Europe lui ont permis d'envoyer des graines comme l'atteste le bibliothécaire de la maison Mr Buonaiuti. Cette collection a contribué par la suite à la large diffusion des Dahlias en Angleterre.

En Allemagne, sous la conduite de Willdenow, le jeune Christoph Otto se lance dans la culture intensive des Dahlias au Jardin botanique de Berlin-Schöneberg. Grâce à ses travaux, le Jardin de Berlin jouera un rôle important dans l'hybridation et la diffusion des Dahlias en Allemagne.

Dans cette petite histoire de la diffusion des Dahlias en Europe, il est beaucoup plus question



Figure 1 - Illustration du mémoire d'André Thouin : Les trois Dahlia décrits dans Icones

d'horticulture que de botanique. Dès le départ, deux des trois spécimens reçus par Cavanilles (*D. rosea* et *D. pinnata*) étaient des hybrides comme l'ont démontré Hans V. Hansen et J. P. Hjerting au Jardin botanique de l'Université de Copenhague.

Les Dahlias et les hommes : Le regard des botanistes.

Il faut attendre la fin du XIX^e siècle pour que les botanistes se penchent enfin sur la systématique des Dahlias naturels. William Botting Hemsley fut le premier. En 1879, puis 1881, cet employé des Jardins de Kew publia un mémoire sur la taxinomie des Dahlias sauvages et une nomenclature dans *Biologia Centrali-americana, Botany*. Cependant, le nom de Hemsley n'est associé à aucune espèce répertoriée.

Un inventaire des publications antérieures à 1900, si l'on fait abstraction des noms attribués aux taxa horticoles, ne compte que quelques espèces :

- *Dahlia excelsa* décrit par George Bentham, qui proviendrait d'un jardin botanique à Mexico et qui n'est probablement qu'une forme de *D. imperialis*.

- *Dahlia barkerae* décrit en 1838 par Knowles et Westcott depuis une plante cultivée près de Birmingham à partir de graines reçues de la région de Morelia.

- *Dahlia merckii* était cultivé au Jardin botanique de Hambourg à partir de graines reçues de Mexico (La compagnie bancaire hambourgeoise H. J. Merck possédait des lignes transatlantiques Hambourg Veracruz).

Johan Lehmann a été le premier à le décrire, en 1940, mais il fit l'objet de publications postérieures sous les noms de *D. glabrata* Lindl. en Angleterre, *D. cosmaeflora* Jacques (France) et *D. decaiseana* Verlot (France).

- En 1833, Otto et Dietrich dans *Allgemeine Gartenzeitung* mentionnent *Georgina scapigera* cultivé au Jardin botanique de Berlin à partir de graines reçues d'un Dr Scheide de Mexico. Il est renommé *Dahlia scapigera* par Knowles et Westcott en 1839 (Fig 2).

- Enfin, les premières publications américaines,

Celles de Sereno Watson dans *Proceeding of the American Academy of Arts and Sciences*, en 1892, mentionne deux espèces découvertes par Pringle, en 1890 : *D. dissecta* dans l'État de Saint Luis Potosi et *D. pubescens* découvert à Flore de Maria dans l'État de Mexico. Renommé ultérieurement par Sorensen *D. brevis* car *D. pubescens* avait déjà utilisé par Brongniart pour décrire une plante non identifiée.

Celle de Robinson et Greenman dans *Proceeding of the American Academy of Arts and Sciences* de 1896 décrit *Dahlia tenuis* qu'avaient collecté E. W. Nelson en 1894 puis C. G. Pringle aux environs d'Oaxaca.

Ce n'est qu'au début du XX^e siècle qu'Earl Edward Sherff se lance dans la première révision complète du genre. Ce professeur du Chicago Teacher's college a réalisé d'importants travaux sur les coreopsidés. Entre 1930 et 1955, il identifie 18 espèces nouvelles de Dahlia, 8 variétés et 3 formes soit un total de 29 taxa dont 12 sont encore reconnus aujourd'hui.

Ces travaux sont ensuite très largement



Figure 2 - Illustration de *Dahlia scapigera* dans *The floral cabinet and magazine of exotic botany t.3* de Knowles et Westcott

complétés par le professeur Paul Sorensen de l'université d'Illinois. Il publie une révision très complète du genre dans *Rhodora*, en 1969. Le nombre d'espèces recensées est alors de 27 avec 6 variétés.

Sont-ce les origines danoises du professeur Sorensen ou le souvenir d'Andreas Dahl qui incitent l'université de Copenhague à devenir le centre de la recherche des Dahlias sous la conduite de Hans Hansen et de Jens Peter Hjerting ? Ils entreprennent une ultime révision du genre, reconnaissant deux espèces nouvelles.

En parallèle aux travaux des Danois, une élève du professeur Sorensen, Dayle Saar, a effectué un travail important sur le genre *Dahlia*. Professeur à l'Université d'État de Murray, elle a parcouru plus de 8 000 km au Mexique à la recherche d'espèces nouvelles. Ses publications (seule ou en collaboration avec J. P. Sorensen) ont enrichi le genre de 5 espèces nouvelles.

Aujourd'hui, compte tenu des découvertes les plus récentes, le genre est constitué de 38 espèces. La dernière découverte, *Dahlia pugana*, date de 2012.

La nomenclature des Dahlias.

Bien que le genre ne comporte que relativement peu d'espèces, il a été divisé par Sherff puis par Sorensen en 4 sections, selon des critères de détermination simples :

- Les 4 espèces à base ligneuse constituent la section *Pseudodendron*. Ce sont les plus grandes du genre. L'une d'elles, *Dahlia excelsa*, n'a jamais été retrouvée dans la nature et les planches d'herbier du type ont disparu. Les 3 espèces restant *D. imperialis*, *D. tenuicaulis* et *D. campanulata* proviennent de la province de

l'Oaxaca au sud du Mexique.

- La seule espèce grimpante, *D. macdougallii* (Fig. 3), forme la section *Epiphyllum*. On ne lui connaît qu'une seule station à peu près à mi-chemin entre les villes d'Oaxaca et de Salina-Cruz. Toutes les tentatives d'acclimatation faites à ce jour ont échoué. Un institut de recherche mexicain a produit à partir de *D. macdougallii* plusieurs hybrides qui ne sont pas encore commercialisés.

- Les 6 espèces de la section *Entomophyllum* sont reconnaissables à leur feuillage fortement découpé aux divisions asymétriques. Ce sont généralement des espèces de petite taille, originaires des États du nord du Mexique.

- Les 28 espèces restantes appartiennent à la section *Dahlia*. Elles proviennent en grande majorité des États du sud du Mexique, mis à part *D. sherffi*, présent au nord de la côte pacifique, *Dahlia coccinea* omniprésent probablement parce qu'il a été cultivé à des fins décoratives. *Dahlia merckii* bien que classé dans la section *Dahlia* est proche de la section *entomophyllum*, tant par la forme de son feuillage que par sa distribution.

Les Dahlias sauvages en culture.

Ayant été très rapidement supplantés par les Dahlias hybrides, les Dahlias sauvages n'intéressent les amateurs de jardins que depuis quelques années seulement.

Comme il se doit, les premiers ont été les Anglais avec *Dahlia imperialis*, qui s'adapte facilement à la douceur humide du sud-ouest du pays et aux grands espaces protégés de murs de leurs manoirs.

Ils ont été suivis par les Danois, sous l'impulsion de l'université de Copenhague dont les travaux ont déjà été mentionnés. Les pays limitrophes ont suivi, en



Figure 3 - Specimen type de *Dahlia macdougallii* dans l'herbier du Field Museum à Chicago

particulier la Hollande avec des collections dans les jardins botaniques de Leyde et d'Utrecht.

Quelques Français ont suivi, surtout séduits par *Dahlia imperialis* (Fig. 4) dont les dimensions extravagantes font toujours sensation. Ce sont surtout les jardins botaniques qui présentent ces plantes. Il n'existe que peu de collections privées, mais il est difficile de savoir si cela est dû à la rareté de la demande ou à celle de l'offre, pratiquement inexistante actuellement.

La plupart des Dahlias sauvages sont des plantes d'altitude, ce qui compense les exigences climatiques des latitudes auxquelles ils croissent. *D. imperialis* se rencontre à partir de 2000 m et la majorité des espèces entre 2 500 et 4 000 m. Donc, beaucoup d'espèces peuvent survivre à l'extérieur dans la région parisienne sans précaution particulière. Elles sont peu exigeantes quant à la nature du sol et très résistantes aux maladies. Envers de la médaille : ce sont des plantes à jours courts (c'est le raccourcissement de la durée du jour qui induit la floraison) et beaucoup ne montrent leurs premières fleurs qu'en novembre. Elles ne sont donc visibles que les années où les premières gelées n'arrivent pas trop tôt.

La difficulté majeure reste la constitution d'une collection. Un pépiniériste anglais propose 5 ou 6 espèces. Les graines proposées par le commerce ou par les associations d'amateurs telles que *Scottish rock Garden Club* ou *North American rock Garden Society* sont rarement conformes à l'espèce annoncée. La seule solution est donc d'aller chercher ses graines soi-même, sur place. Avec un peu d'habitude et d'attention, les grandes espèces sont très visibles d'une voiture, mais les espèces plus petites sont très difficilement repérables d'autant que pour disposer de graines mûres, il faut attendre la fin de la période de floraison.

Cela est d'autant plus dommage que, comme beaucoup de plantes sauvages dans les pays connaissant une grande croissance démographique, les Dahlias sont en danger, menacés par la disparition de leur habitat dévoré par l'urbanisation galopante. Leur culture par un nombre croissant d'amateurs serait certainement un atout supplémentaire pour leur conservation.

Christian Froissart
Membre titulaire de l'Académie d'Orléans

Communication du jeudi 8 novembre 2018



Figure 4 - *Dahlia imperialis* dans la Sierra Madre de Miahuatlan Oaxaca

Le civil et le religieux

Distincts et inséparables

de Pierre Muckensturm¹

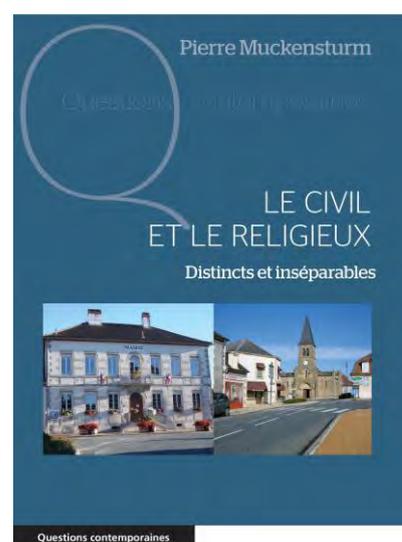
Recension par
Jacqueline Suttin

Résumé

Dans les sociétés primitives, les règles de vie communes se sont organisées autour de la religion. Cet état de fait existe encore pour l'islam et l'hindouisme ; le christianisme du monde occidental s'en est éloigné. Les domaines de la croyance et de la morale y sont distincts, sans qu'il y ait nécessairement d'opposition. L'essor de la technique a rendu cette séparation plus visible. Pourtant, les hommes ont besoin d'absolu notamment celui qu'ils trouvent dans la religion. Faire vivre ensemble la raison et la croyance, c'est ce que cet essai propose de faire.

Abstract

In primitive societies, common rules of life were organized around religion. This state of affairs still exists for Islam and Hinduism; however, Christianity in the Western world has moved away from it. The domains of belief and morality are distinct, without necessarily being opposed. The development of the technique has made this separation more visible. Yet, men need absoluteness especially that which they find in religion. To allow reason and belief to live together is the aim of this essay.



L'Harmattan

¹ L'Harmattan, Paris ; ISBN : 978-2-343 -14497-9 • 20 juin 2018 • 186 pages, 19 €

Cet ouvrage de 175 pages a été publié en juin dernier par Lharmattan dans sa collection « **Questions contemporaines** » dont l'objectif est « d'offrir un espace de réflexion et de débat à tous ceux, chercheurs, militants ou praticiens, qui osent penser autrement, exprimer des idées neuves et ouvrir de nouvelles pistes à la réflexion collective ». Le titre intégral est « Le civil et le religieux » avec en sous-titre : « distincts et inséparables ». Sur la première de couverture : une mairie et une église, celles du village de Cronat en Saône-et-Loire dont est originaire l'auteur, les symboles respectifs des deux pouvoirs.

Il s'agit d'un essai qui se propose d'analyser, comme il est indiqué en quatrième de couverture, les problèmes posés par la coexistence de la raison et de la croyance dans notre société. Un bref avant-propos présente les éléments de cette analyse, d'abord une description de l'arrivée et de la montée en puissance du couple Science et Technique qui a profondément changé la vie et les croyances des hommes et ensuite la place de ce qui reste de l'héritage religieux et comment il peut s'articuler avec les valeurs contemporaines.

Notre monde est donc envahi par la rationalité technique. Pour la quasi-totalité de la population des pays industriels, « l'homo faber » a fait place à « l'animal laborans » chez qui l'affectivité se limite à la vie personnelle. Cependant, l'émotion esthétique reste inséparable des activités humaines. Mais, alors que précédemment, l'activité artistique avait toujours pour objectif de reproduire ou de prolonger la perfection de la création du monde, de nos jours, l'art se veut au premier chef un hymne à la liberté de l'homme considérée comme la valeur suprême et absolue. Quant au fait religieux, par la moindre importance accordée aux rites, par la diminution de sa reconnaissance sociale, il prend de plus en plus une coloration personnelle. Ce n'est pas la fin des religions, mais un changement de leur caractère.

Pour analyser cette évolution, l'auteur se réfère à celle des concepts que sont la Raison la Morale et la Foi, basée sur les trois postulats de la religion, à savoir l'immortalité de l'âme, la liberté et l'existence de Dieu.

Si l'on s'intéresse à l'individu lui-même, il apparaît qu'il a besoin de certitudes. Or, il a du mal à en trouver dans sa vie personnelle, parce qu'en définitive, il n'y a pas de vérité absolue dans le domaine de la connaissance. Quant à la vie courante, elle est soumise aux aléas de la contingence, à des lois naturelles où le déterminisme est fort lâche, à la dépendance vis-à-vis d'autrui, sans oublier la place de l'affectivité. Les conduites humaines, qu'elles supposent la réflexion comme dans la vie morale ou qu'elles suivent les habitudes qui président à la vie quotidienne sont un composé de nécessité, de contingence et de croyance en proportions variables, mais toujours réunies.

Il existe un moyen d'accéder à la certitude totale, c'est la conversion. Le mécanisme n'en est pas élucidé. Ce n'est pas la certitude rationnelle, fondée sur l'universalité de la Raison, donc accessible à chacun. La certitude résultant de la conversion est, elle, purement subjective et, par suite, incommunicable. Sa force est supérieure à celle de la certitude rationnelle et permet de réaliser des actions hors du commun.

En poursuivant l'étude de l'individu, on constate qu'à la différence de ce qui se passait il y a un siècle, la subjectivité a la primauté dans sa conception de l'existence. La réalisation de soi ne passe plus par l'assimilation de valeurs sociales. L'essentiel est l'autonomie du moi profond, avec ses particularités. D'où le rejet des structures instituées, sources d'aliénation. On veut à tout moment être maître de son devenir.

La religion fait les frais de cette attitude nouvelle. On est passé d'une Église unie à la société à un organisme juxtaposant des croyances personnelles, aux structures minimales permettant la gestion du fait religieux. La séparation du civil et du religieux est donc consommée. Un siècle après la loi de 1905, elle a pris un sens différent. Au début du XXème siècle, le pouvoir civil voulait, sans le supprimer, expulser le religieux de la vie sociale instituée, ce que les catholiques ont vécu comme une brutalité injuste. Aujourd'hui, les croyants s'installent dans cette séparation qui leur permet librement de manifester

l'authenticité de leur foi. C'est le triomphe du sujet libre face à la cité.

Quel est le bilan de ces évolutions ?

La conscience collective dans le monde occidental est sous l'emprise de la rationalité, de la raison qui conduit à l'autonomie, à la liberté dans les activités humaines. L'art en fournit un exemple : l'artiste moderne affirme sa liberté et son originalité.

L'affectivité, les sentiments et les émotions ont eux aussi profondément évolué. Comme pour l'art, on assiste à un ample mouvement d'émancipation. L'affectivité s'impose aussi bien dans l'édification de la personnalité que dans la vie sociale. Cette tendance est renforcée par les médias et leurs images. Son apparition dans l'espace public rendue possible par l'efficacité des moyens de communication est un fait important qui peut affecter la pérennité des structures sociales tendant par nature à la rationalité.

Partout, depuis un siècle, les liens entre religion et société civile ne cessent de se distendre. Le phénomène est particulièrement visible dans l'accès des peuples à la démocratie. Même si elle n'est pas inaccessible à l'émotion, la démocratie tend à la rationalité et par suite à la laïcisation de la société. Quant au christianisme, il ne parvient pas à répondre efficacement à cette offensive. Matériellement et insensiblement, le religieux s'est séparé du civil : plus de processions, de cérémonies extérieures. La distinction du civil et du religieux est reconnue et organisée par la législation des différents pays. Les solutions sont fonction des données historiques et politiques. Mais, partout en Europe, le pouvoir civil est, dans les faits, séparé des Églises. Le fait religieux subsiste, parfois même de façon très vivace, mais partout, par suite de l'évolution des mentalités et des structures sociales, il relève essentiellement de la sphère personnelle et privée.

Le cas de l'Islam est à part. Rares sont les pays musulmans où règne la démocratie version monde occidental. Elle est l'expression d'une culture chrétienne et gréco-latine qui contredit le caractère globalisant d'une religion qui a

l'ambition de fournir des réponses à tous les problèmes de l'existence. L'Islam est une religion collective qui insiste sur les manifestations sociales de la foi. Celle-ci est de caractère individuel, mais elle résulte aussi de l'insertion dans un groupe. De plus, le caractère sacré du Coran ne laisse aucune place à l'interprétation personnelle. Enfin, un élément historique est à prendre en compte : le refus de l'Islam à partir du XV^{ème} siècle de s'insérer dans l'évolution du monde moderne. On assiste donc à un repli sur une interprétation stricte et rétrograde de la religion qui ne fait qu'aggraver la césure avec le monde occidental.

L'auteur en arrive maintenant à l'analyse de la conscience individuelle, en passant d'abord par l'analyse du contenu de la conscience collective. Elle est riche de toutes les valeurs qui déterminent et orientent l'existence du corps social, celles qui sont inscrites dans les institutions, les lois, tout l'édifice juridique, mais aussi les lois non écrites, telles que la morale qui définit l'objectif et l'orientation des actions individuelles et de ce fait, a des répercussions sur la société. Les mœurs comportent des éléments plus fugitifs, mais qui constituent des habitudes sociales généralement suivies qui sont des signes d'appartenance et de reconnaissance. La masse des savoirs élaborés par la société est également un des éléments importants de la conscience collective. Mais ils ne sont pas uniformément répartis. Chaque individu est ainsi dépositaire d'une parcelle du système de valeurs qui constitue la conscience collective. Il est dans cette mesure responsable de sa richesse et de son évolution. Il peut aussi au niveau individuel se trouver en harmonie avec ce qu'il découvre. Il y a alors similitude entre les deux consciences.

Cette plénitude qui existait chez les Grecs n'est pas toujours réalisée. Il y a souvent contestation dans une partie de la société : époque de la Renaissance, des Lumières.... On voit alors se modifier le système des valeurs communes qui entraîne une nouvelle reconnaissance des valeurs individuelles. Le fait que la conscience collective dépasse chaque conscience individuelle fait qu'elle est considérée comme un Absolu, source des valeurs. Mais il doit être rattaché à la singularité

de l'expérience personnelle. L'homme navigue sans cesse de son individualité au système de valeurs. Nietzsche a refusé de suivre le chemin tracé par la Raison et le système de valeurs auquel il aboutit. On est devant une remise en question des certitudes dans une doctrine du refus et du repli sur soi. Au XX^{ème} siècle, après la guerre, une nouvelle pensée se fait jour, l'existentialisme, soit une autre conception de la liberté. L'homme est un projet qui se vit subjectivement dans une expérience sans cesse renouvelée. La conscience individuelle tire d'elle-même son originalité et sa force ; elle refuse autant qu'elle le peut de puiser dans les ressources de la conscience collective. Si l'homme n'a de fin qu'en lui-même et par lui-même, il n'a nul besoin de se dépasser. La conscience individuelle l'emporte sur les valeurs collectives.

L'évolution du contenu de la conscience collective avec ses répercussions sur les comportements individuels est également visible dans le domaine religieux, particulièrement chez les catholiques. Naguère, la hiérarchie déterminait des rites qui s'imposaient aux fidèles ; aujourd'hui ceux-ci ont des possibilités de choix dans un domaine dont l'importance symbolique est grande puisqu'il est le point central de la foi chrétienne. L'évolution du statut de la famille est un autre exemple frappant. Fin de la tradition du mariage comme lien personnel, social et religieux. Maintenant c'est un engagement exclusivement personnel. La liberté des conjoints fait son apparition au XIX^{ème} siècle. Un pas supplémentaire est franchi lorsque l'affirmation de cette liberté fait fi des conditions de la procréation et que l'on reconnaît le droit au mariage pour les personnes de même sexe. Le souci primordial de l'homme d'aujourd'hui : être véritablement soi-même. L'autonomie de la personne passe avant le respect des rituels.

Conséquence sur le mode d'existence de la cité. On admet aujourd'hui que le gouvernement normal des hommes est la démocratie, une société de liberté. Cependant, cette liberté toujours confrontée à celle des autres n'est jamais parfaite. Elle est orientée vers le futur. Mais les sociétés d'aujourd'hui sont soumises à la technique, que ce soit dans

les outils mis à disposition de leurs membres, encore davantage dans les systèmes d'organisation réglant la vie de la cité. La vie sociale est affectée par ces évolutions. La société moderne est donc avant tout changement et adaptation continuels. Il en résulte que le présent n'est jamais satisfaisant et que l'homme politique doit sans cesse tenir compte de l'imperfection des hommes et de la mutation des choses. La démocratie moderne apparaît polarisée par le futur.

La recherche de l'identité personnelle dans le moi profond ne va pas dans ce sens. Elle se dirige en amont de l'être présent, elle regarde vers le passé. La quête sans cesse recommencée de l'identité personnelle est dirigée en sens inverse de l'élan vers la démocratie. Ces attitudes sont inquiétantes car elles mettent en question non seulement la façon de gérer la société, mais le fait social lui-même. L'individu se situe à l'écart de la société constituée.

L'utilisation contemporaine des « Droits de l'homme » est révélatrice de cet état d'esprit. Dans nos sociétés développées, les droits sociaux, de confort (Civic Rights) ont pris le pas sur les droits fondamentaux, formels (Civil Rights). La prédominance donnée à l'individu entraîne le repli sur soi ou au mieux la naissance de petits groupes informels fondée sur l'identité immédiate des participants. À partir de là, l'auteur fait une remarquable analyse de l'État et de ses rapports avec les citoyens.

Le repli sur le particulier, le refus d'appréhender les problèmes de la cité traduisent un recul de la rationalité. Les conduites humaines trouvent leur motivation dans d'autres sources qui relèvent le plus souvent du sentiment et de l'émotion. Le corps social a les réactions d'une foule en proie à des sentiments soudains, non maîtrisés, non contenus. Phénomène entretenu par les médias traditionnels et renforcés par internet et les réseaux sociaux où l'opinion individuelle connaît une diffusion sans limite et sans contrôle sur l'exactitude et les conséquences des contenus. L'impact des idées est multiplié par la puissance émotionnelle des images. Alain disait : « L'image me prend, je ne la prends pas ». Les relations entre l'individu et la cité s'orientent différemment. La baisse de la

rationalité dans le débat public correspond à sa personnalisation. Les structures fondamentales de la Constitution et de la loi sont toujours présentes, renforcées par un appareil administratif complexe et pesant. Mais, en réalité, la morale, les habitudes sociales forment la charpente de la société. L'attachement à ces structures invisibles forme l'essentiel du lien social.

On constate un affaiblissement de cet attachement au profit de la décision individuelle. Les habitudes sociales sont moins pressantes. Partout règne l'individu indistinct et anonyme. Les valeurs sociales s'étiolent ou, si elles sont encore reconnues, elles ne sont respectées que dans l'usage privé. Il faut voir là une différence avec la société américaine où on trouve reconnaissance des valeurs collectives dont certaines remontent à l'origine de la nation, place de la religion. La séparation entre les Églises et l'État est totale, mais la vie religieuse est intense.

En général, la coupure entre le rationnel et l'individuel est accentuée. L'homme d'aujourd'hui a deux existences, l'une où il est soumis par le biais des techniques et de l'organisation à la pesanteur de la raison, l'autre où, dans l'affectivité et éventuellement la foi, il préserve son jardin personnel.

On s'achemine vers la conclusion en s'intéressant au sujet, à l'être pensant, à partir de Descartes, Locke, puis le XVIII^{ème} siècle avec Rousseau, Kant, Hegel et Marx. L'Art fournit un bon indicateur de l'évolution des mentalités, du fait de sa gratuité, de son détachement des contingences matérielles et sociales. Le Sujet fait irruption dans le paysage artistique avec le Romantisme. L'Artiste est un personnage nouveau, hors du commun, différent de l'homme ordinaire, alors qu'aux siècles classiques, le peintre, le musicien, le sculpteur n'étaient que des artisans de grand talent. L'affirmation de la subjectivité artistique ne fera que s'accroître avec le temps. À tel point que dans l'art contemporain, l'affirmation du sujet est érigée en valeur suprême. Le subjectivisme prend la forme de la transgression systématique. Elle est ressentie comme une provocation et apparaît comme un mouvement sans fin.

L'exemple de l'Art, activité largement détachée des structures sociales, au moins dans ses objectifs, illustre la tendance, mais aussi les dangers du subjectivisme poussé à l'extrême. On a déclaré depuis longtemps que ses manifestations déconcertantes ont abouti à une impasse, mais, chaque fois, la subjectivité des artistes a su trouver de nouvelles formes d'expression. Qu'en sera-t-il lorsqu'à côté de l'Art, le subjectivisme atteindra l'ensemble des activités humaines ? Quelles en seront les conséquences au point de vue individuel, comme au niveau social ?

L'affectivité, les émotions, les sentiments peuvent être collectifs, mais ils ne procèdent pas, comme la raison, de l'universalité. Ils sont par excellence du domaine de la subjectivité. Ils juxtaposent des sensibilités individuelles. Deux caractéristiques essentielles des phénomènes collectifs dans le domaine des émotions : la similitude des réactions devant un même événement et l'amplification de ces réactions. On le voit dans l'importance de l'émotion-choc exploitée par les médias contemporains et, en premier lieu, par la télévision, à l'occasion de certains faits divers, défilés protestataires ou commémoratifs. L'importance du mouvement collectif entraîne l'apparition des élus, ministres, président.

Et la religion ?

Si l'émotion collective prend une place croissante dans les mentalités, il n'en va pas de même en ce qui concerne la religion. Son importance collective a décliné rapidement en un siècle. Seul, l'Islam conserve son emprise. Si par le passé la religion avait un rôle certain d'encadrement social par la participation aux rites et aux cérémonies du culte, elle avait également un rôle dans le respect de la moralité. Parallèlement, un enseignement moral systématique était assuré par l'école depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Le contenu de cette morale, inspirée de Kant, n'était pas différent de celle que diffusait l'Église. Le paysage s'est complètement modifié dans le dernier quart du XX^{ème} siècle. La religion a subi des transformations et l'école a abandonné

l'enseignement moral. Une tentative de reprise a lieu actuellement.

Mais, en attendant d'en voir les effets, la famille reste le seul pôle où puisse être traitée la question des valeurs. Or, comme le note Antoine Prost, « la famille ne socialise plus ». Elle est de moins en moins un organe socialement structuré. Trop souvent, elle est devenue une collection d'individualités dont la cohérence paraît problématique ou accidentelle. Sa fonction de formation et d'exemple s'est trouvée singulièrement réduite.

La situation de l'encadrement moral dans notre société apparaît donc inquiétante et paradoxale. La société est en danger. La cohésion sociale se trouve devant une lacune dangereuse puisque les individus ne connaissent plus les termes du contrat social. L'éducation morale est le fondement et le commencement de l'éducation. L'École doit lui réserver une place.

Une conclusion

Le sujet triomphe et s'épanouit. Il règne en maître dans l'Art ; il caractérise le fait religieux aux dépens de ses manifestations institutionnelles ; souverain depuis toujours dans l'affectivité, il la voit prendre une place importante dans les déterminations sociales. L'emprise croissante de la rationalité l'a aidée à marquer son territoire. C'est le projet du Cogito et c'est la finalité de la vie. L'individu peut seul édifier sa personnalité. Ce n'est pas la réalité. L'être est bien une construction de soi par soi, mais les matériaux lui viennent de l'extérieur. Même s'il vit dans le présent, c'est le legs des morts qui constitue le langage et la culture, outils essentiels de l'édification personnelle. Dans une démocratie, le citoyen doit, non seulement affirmer sa liberté dans les actes de la vie courante, mais aussi participer aux décisions touchant la destinée du corps social. Une démocratie n'est jamais un bien définitivement acquis, mais une structure à bâtir et toujours à recommencer.

Le dernier chapitre est consacré au fait religieux à notre époque. Après avoir mentionné Marcellin Berthelot croyant à la

prééminence d'une science ayant réponse à tout, l'auteur cite Renan pour qui la Raison et la Science ne suppriment pas le fait religieux, mais en changeant le contenu en conservant l'aspiration à un Absolu dépourvu des approches traditionnelles. De son côté, Pasteur constate comme un fait de société que l'homme de tout temps a eu besoin de religion et comme son expérience de savant lui montre la complexité du monde, il ne voit pas comment on pourrait en faire l'économie. Le temps écoulé depuis le discours de Pasteur montre la justesse de ses vues. Le fait religieux reste une des données constantes de l'humanité. Difficile d'en trouver les causes (lien avec les religions polythéistes et les religions sans Dieu ?). Aussi, on avance l'idée que l'attitude religieuse est un des fondements de la condition humaine. La croyance accompagne l'homme depuis les manifestations ordinaires de la confiance sociale qui facilitent la vie courante, jusqu'aux manifestations ultimes du mysticisme religieux, en passant par les engagements plus ou moins conscients qui relèvent de l'habitude et de la tradition.

L'engagement religieux actuel, tempéré par l'individualisme, se traduit par des manifestations de caractère social. Toute religion a un culte, socialement visible, s'exposant à la critique. L'individualisme qui caractérise désormais le fait religieux en réduisant ses manifestations extérieures a simplifié et pacifié les relations entre religions différentes ou entre les différentes versions d'une même croyance. Les conflits n'ont pourtant pas totalement disparu : Irlande, Islam. Essai d'explication : Les populations de culture chrétienne ont pris conscience, au contact des immigrés musulmans, de différences culturelles touchant les fondements du fonctionnement social (polygamie, statut de la femme...). Or, la société contemporaine met au premier plan la revendication d'égalité qui se traduit de plus en plus au quotidien par la similitude des apparences. Elle a effacé entre les individus les différences visibles. Cette uniformisation des apparences fait que le voile des musulmanes a pris une grande valeur symbolique. La pensée musulmane s'est arrêtée à Averroès. L'Église catholique a eu elle aussi

des difficultés pour concilier Foi et Raison, mais elle y est arrivée dans l'Encyclique *Fides et Ratio* du 14 septembre 1998. 1^{ère} phrase : « La Foi et la Raison sont comme les deux ailes qui permettent à l'esprit humain de s'élever vers la contemplation de la vérité ». Force est de constater et de regretter que la question des rapports entre l'Islam et le monde moderne reste un problème ouvert.

L'histoire et la sociologie nous confirment, comme l'avait vu Bergson, que « l'univers est une machine à faire des dieux ». Comme l'art, la religion est une des constantes des sociétés humaines. Elle répond au besoin de certitude des hommes et permet à ceux qui ont la foi de donner un sens à leur vie. En outre, la société trouve avantage à la présence de la religion du fait que la croyance commune crée un lien entre les fidèles et contribue à l'édification des structures sociales.

Les religions sont encadrées par des structures qui rappellent leurs origines. Le Judaïsme et l'Islam sont encore marqués par le milieu pastoral et tribal. Le Catholicisme était bien adapté à la société médiévale. Le Judaïsme a toujours su concilier les exigences des sociétés civiles et celles d'un culte qui relève de la sphère privée et n'empiète pas sur les institutions de l'État. La religion musulmane se heurte au monde des techniques. Le protestantisme a su suivre les évolutions de la société. L'Église catholique reconnaît depuis Jean-Paul II que les vérités de la raison ne sont pas en contradiction avec celles de la foi.

L'homme contemporain revendique son autonomie face aux différents systèmes de valeurs qu'il pense avoir le droit de juger afin que sa liberté soit prise en compte. De plus, il utilise des techniques d'une puissance énorme dont un des effets est de rendre possible la communication entre les hommes. De ce fait, les religions, tout en visant l'universel et en se référant à un absolu, apparaissent plus manifestement liées à des cultures.

L'ouvrage se termine par un paragraphe intitulé : « Les religions doivent s'adapter au monde moderne ». Dans l'avant-dernier alinéa, il est affirmé que les religions ne renoncent pas facilement aux traditions rituelles et à leurs habitudes de pensée. « Dans le déluge de

pouvoirs techniques qui bouleverse nos sociétés, pour répondre à l'appel des âmes, il est grand temps pour elles de consentir à l'effort d'analyse, de réforme et d'adaptation que beaucoup de nos contemporains attendent ».

Jacqueline Suttin

Membre titulaire de l'Académie d'Orléans

Communication du 8 novembre 2018

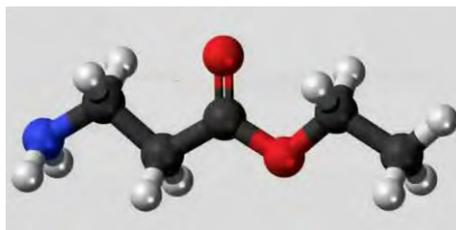
Colloque : Chimie, tout n'est que chimie

Académie d'Orléans, Agriculture, Sciences, Belles-Lettres et Arts.

Lundi 28 mai 2018, de 9 heures à 17 heures

Centre international universitaire pour la recherche, rue Dupanloup, Orléans

La chimie, cette science qui étudie la composition de la matière et ses transformations, est le thème retenu par l'Académie d'Orléans, pour son colloque de printemps 2018. Six conférences traiteront du rôle fondamental joué par la chimie dans les différents aspects de la vie. C'est à elle que nous devons l'émergence et le développement de la vie dans les océans terrestres. Aujourd'hui, la chimie procède à la transformation des sucres, véritable carburant du moteur biologique. Elle assure également le bon fonctionnement de la cellule vivante, croissance et reproduction. Au plan économique, la chimie est à la base d'un puissant secteur industriel qui commercialise aujourd'hui le plus grand nombre de produits, transformés ou de synthèse. Au plan social et environnemental, la chimie est au cœur de la transition énergétique. Au plan culturel, la chimie permet aujourd'hui l'étude scientifique des œuvres des grands peintres.



9 h Présentation du colloque.

[Marc Baconnet](#), Président de l'Académie d'Orléans

9 h 15 La chimie à l'origine de la vie.

[André Brack](#), membre de l'Académie d'Orléans

10 h La chimie en Région Centre Val de Loire.

[Myriam Rouet-Meunier](#), secrétaire générale de l'Union des Industries chimiques du Centre val de Loire

10 h 45 Pause

11 h 15 La chimie de la cellule vivante.

[Michel Monsigny](#), membre de l'Académie d'Orléans

12 h Déjeuner

14 h Chimie et énergie.

[Jean-Claude Bernier](#), Ancien directeur du département des sciences chimiques du CNRS.

14 h 45 Pause

15 h 15 La chimie des sucres.

[Olivier Martin](#), professeur à l'Institut de chimie organique et analytique, Université d'Orléans

16 h Chimie et arts.

[Jean-Yves Mérour](#), Membre de l'Académie d'Orléans

16 h 45 Conclusions

De l'origine de la vie sur Terre à la recherche d'une vie extraterrestre

André Brack



I. La naissance de la vie

Pendant des millénaires, le concept de génération spontanée a apporté une réponse confortable à la question de l'origine de la vie. Déjà dans la Chine ancienne, on pensait que les bambous donnaient naissance à des pucerons. Les écrits sacrés de l'Inde mentionnent la naissance de mouches à partir d'ordures ménagères et de sueur humaine. Les inscriptions babyloniennes signalent que la boue pouvait engendrer des vers. Dans l'Égypte antique, on pensait que le limon déposé par le Nil pouvait générer grenouilles et crapauds. Plus tard, les philosophes grecs pensèrent que la vie est propriété même de la matière : elle est éternelle et apparaît spontanément chaque fois que les conditions sont favorables. Ainsi, ces idées apparaissent clairement dans les écrits de Thalès, de Démocrite, d'Épicure, de Lucrèce et même dans ceux de Platon. Avec Aristote, la génération spontanée acquiert la dimension d'une véritable théorie. Celle-ci traverse allègrement le Moyen Âge et la Renaissance; de grands penseurs comme Newton, Descartes et Bacon la soutiennent.

C'est à cette époque que l'on passe des idées purement philosophiques aux premières

expériences. Au milieu du 17^e siècle, un médecin flamand, Van Helmont, déclara obtenir des souris avec des grains de blé et une chemise imprégnée de sueur humaine! Les premières attaques sérieuses contre la génération spontanée furent portées par Francesco Rédi, un médecin biologiste toscan. Dans un traité publié en 1668, il décrit une série d'expériences démontrant que les asticots ne sont pas générés spontanément par la viande en putréfaction lorsque l'on prend le soin de recouvrir les récipients d'une fine mousseline. Dès 1674, le savant hollandais Antoni Van Leeuwenhoek effectue les premières observations de microbes à travers le microscope qu'il vient de construire. Dès lors, on découvre la présence des microorganismes partout, et les adeptes de la génération spontanée exploitent ce monde des microbes bien qu'Antoni Van Leeuwenhoek présentait déjà que ces microorganismes provenaient d'une contamination par l'air ambiant. En 1718, son disciple Louis Joblot démontre expérimentalement que les microorganismes proviennent bien de l'air ambiant, mais il ne réussit pas à convaincre les naturalistes. Même Buffon, au milieu du 18^{ème} siècle, pense que la nature est pleine de germes de vie capables de s'éparpiller lors du pourrissement puis de s'associer

pour produire des microbes. John Needham, l'ami gallois de Buffon, réalise de nombreuses expériences pour confirmer cette interprétation. Pour cela il place différentes substances organiques dans une fiole hermétiquement close et chauffe l'ensemble pour stériliser. Après traitement, toutes les solutions foisonnent de microbes. Mais, l'abbé italien Lazzaro Spallanzani porte les solutions à des températures bien plus élevées et contredit Needham. Une vive polémique s'engagea sur l'effet de la température, malheureusement, Lazzaro Spallanzani n'arriva pas à imposer ses vues. Une fois encore, la "force vitale", cette cause mystérieuse capable d'élaborer les constituants du monde vivant et de les agencer pour générer le vie, l'emporta sur la démonstration expérimentale.

La controverse va atteindre son apogée un siècle plus tard avec la publication en 1860 du traité de Félix Pouchet. Dans cet ouvrage, l'auteur développe une théorie de la génération spontanée étayée par de nombreux exemples expérimentaux qui sont, une nouvelle fois, autant d'exemples de contamination par l'air ambiant. C'est en mettant au point un protocole expérimental rigoureux de stérilisation que Pasteur porta le coup de grâce à la génération spontanée, le 22 juin 1864, devant une Commission de l'Académie des Sciences : tout être vivant provient nécessairement d'une génération préexistante.

1. Le début chimique de la vie terrestre

La vie a une histoire et donc une origine chimique. Le tout premier scénario chimique pour l'émergence de la vie fut proposé par le biologiste et géologue anglais Charles Darwin quand il écrivait en 1871 à son ami, le botaniste anglais Joseph Hooker : "Mais si (et quel énorme si !), l'on pouvait concevoir dans quelque petite mare chaude toutes sortes de sel d'ammonium et de phosphates, de la lumière, de la chaleur, de l'électricité etc., pour qu'un composé protéique puisse se former par voie chimique...". Aujourd'hui, on considère généralement que la vie s'est développée dans l'eau, fondée sur la chimie du carbone, un couple qui possèdent des qualités exceptionnelles démontrées en laboratoire.

1.1. Les qualités de l'eau

Au vu de son poids moléculaire, l'eau devrait être un gaz à la surface de la Terre. Son état liquide résulte du réseau dense de liaisons hydrogène liant les atomes d'oxygène aux atomes d'hydrogène.

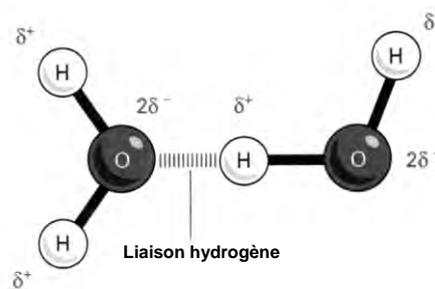


Fig. 1 – Liaison hydrogène

L'eau organise les molécules organiques - molécules à base de carbone - qui possèdent deux types de groupes chimiques :

- les groupes qui ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène et qui, de ce fait, sont incapables de former des liaisons hydrogène avec l'eau. Ces groupes sont dits hydrophobes.
- les groupes qui contiennent, en plus du carbone et de l'hydrogène, des atomes d'oxygène, d'azote et de soufre, sont capables d'échanger des liaisons hydrogène avec l'eau. Ces groupes sont dits hydrophiles.

Lorsque les deux groupes sont bien séparés, comme dans les acides gras et les phospholipides, il se forme des micelles, des vésicules ou des liposomes par agrégation des groupes hydrophobes. En proche voisinage, les groupes hydrophiles et hydrophobes confèrent à la molécule des géométries spécifiques qui dépendent étroitement de l'ordre d'enchainement de ces groupes, comme démontré dans notre laboratoire à Orléans avec des peptides synthétiques (mini-protéines).

L'eau est également un réactif chimique qui intervient dans certaines réactions. Par exemple, la synthèse d'un acide aminé se fait habituellement

selon une réaction qui implique un aldéhyde, l'acide cyanhydrique et l'ammoniac avec la formation intermédiaire d'un aminonitrile. Ce dernier ne peut se transformer en acide aminé que par l'addition de deux molécules d'eau.

L'eau produit des argiles par altération des silicates. Dès que l'eau fut présente à la surface de la Terre, de grandes quantités d'argiles se trouvèrent en suspension dans les océans primitifs. Le rôle des argiles dans les processus chimiques qui ont conduit à la vie a été suggéré dès 1951 par John Desmond Bernal. Les argiles offrent une structure très ordonnée, une grande capacité d'adsorption et une protection contre les effets délétères des rayons ultra violets. Elles concentrent les composés organiques et servent de matrice de polymérisation.

1.2. Les qualités du carbone

La tétravalence du carbone permet l'édification de molécules de plus en plus complexes nécessaires à l'évolution des systèmes vivants.

Aujourd'hui, toute la vie terrestre repose sur la chimie macromoléculaire du carbone. Les polymères de nucléotides forment les acides nucléiques ADN et ARN, des polymères d'hydrates de carbone stockent l'énergie, des chaînes hydrocarbonées forment les lipides des membranes, les polymères d'acides aminés constituent les protéines. Toutes ces macromolécules sont construites sur une ossature d'atomes de carbone et la vie sur Terre serait tout simplement impossible sans cette ossature. Il est difficile d'imaginer un autre élément offrant la même propension à former les édifices de plus en plus complexes nécessaires au développement de la vie.

Le silicium est souvent proposé comme une alternative possible. Il est tétravalent comme le carbone et est donc susceptible de générer les édifices moléculaires de plus en plus sophistiqués permettant l'évolution d'éventuels systèmes

vivants. Situé juste en dessous du carbone dans le tableau périodique des éléments, l'atome de silicium est plus gros. Il s'en forme donc moins dans le cœur des étoiles et, de ce fait, il est moins abondant dans l'Univers. Dans l'espace interstellaire, les radioastronomes ont identifié 11 molécules contenant du silicium et 112 molécules contenant du carbone, montrant clairement que la chimie du carbone est plus créative que celle du silicium. De par le mode de formation du Système Solaire, le silicium s'est retrouvé être très abondant dans la croûte terrestre où il représente 27,7 % de celle-ci, contre 0,094 % pour le carbone. A la différence de son cousin le carbone, le silicium n'a donc jamais été une denrée rare sur Terre. Si la chimie macromoléculaire du silicium avait eu les qualités requises pour se développer sur Terre, elle aurait dû donner naissance à une vie fondée sur le silicium, bien plus qu'une vie fondée sur le carbone, beaucoup plus rare. Or il n'en est rien.

De par sa taille plus grande, l'atome de silicium forme des liaisons généralement plus faibles avec les autres atomes et génère des polymères plus fragiles, tout au moins dans les conditions environnementales qui ont prévalu à la surface de la Terre tout au long de son histoire. Placé dans des

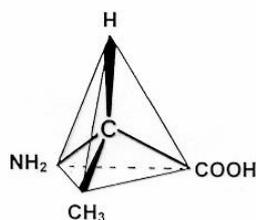


Fig. 2 – L'alanine

conditions extrêmes de température et de pression, le silicium peut néanmoins conduire à des polymères relativement stables mais se pose alors un problème de solubilité. Une autre difficulté du silicium a trait aux composés qu'il forme avec l'oxygène. Dans les processus métaboliques, certains polymères biologiques carbonés sont oxydés avec un dégagement de dioxyde de carbone gazeux qui est recyclé dans la photosynthèse. Le procédé équivalent produirait de la silice, difficilement recyclable.

1.3. Le métabolisme d'emblée pour démarrer la vie

Selon ce scénario, les premiers systèmes vivants étaient capables de fabriquer leurs

ingrédients directement à partir de dioxyde de carbone, comme le font aujourd'hui les organismes vivants photosynthétiques. Le chimiste allemand Günter Wächtershäuser propose une vie autotrophe utilisant directement le dioxyde de carbone comme source de carbone et se développant sur des surfaces minérales. Ces organismes vivants primitifs sont décrits comme des molécules organiques collées sur des surfaces minérales de pyrite, profitant ainsi d'une réduction importante des degrés de liberté.

1.4. La soupe primitive

Pour les amateurs de soupe, les briques du vivant se forment d'abord, baignent dans l'eau et finissent par s'assembler pour former des entités vivantes, capables de s'auto reproduire et d'évoluer. Les formes de carbone les plus simples capables de conduire aux molécules carbonées sont gazeuses : dioxyde de carbone (CO_2), monoxyde de carbone (CO) et méthane (CH_4). L'idée de composés chimiques fabriqués dans l'atmosphère terrestre fut émise par le biochimiste russe Alexandre Oparin, en 1924. L'hypothèse d'Oparin se trouva confortée en 1953 par l'expérience du chimiste américain Stanley Miller qui obtint quatre acides aminés en soumettant un mélange gazeux de méthane, d'hydrogène, d'ammoniac et d'eau à des décharges électriques. Cependant, les géochimistes privilégient aujourd'hui une atmosphère primitive neutre dominée par le dioxyde de carbone et l'azote. En remplaçant le méthane par le dioxyde de carbone, Miller n'obtint que de très faibles quantités d'acides aminés. L'atmosphère primitive ne constitua probablement pas la source principale de matière carbonée nécessaire à l'émergence de la vie terrestre.

Les sources hydrothermales sous-marines présentent un environnement favorable à la

chimie du carbone. Les gaz qui s'échappent de certains systèmes hydrothermaux sous-marins sont riches en hydrogène, azote, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, méthane, anhydride sulfureux, hydrogène sulfuré, conditions qui favorisent la synthèse des molécules organiques. Par exemple, des concentrations élevées en hydrogène (plus de 40 % des fluides) et du méthane ont été détectés dans les fluides du système hydrothermal Rainbow de la dorsale océanique, au large des Açores. Des hydrocarbures renfermant de 16 à 29 atomes de carbone y ont été identifiés. De petites quantités d'acides aminés ont été obtenues en laboratoire en simulant les conditions des fluides hydrothermaux.

Les météorites carbonées représentées typiquement par les météorites d'Orgueil et de Murchison, renferment des composés organiques comme des hydrocarbures. Des composés plus proches des composés biologiques ont été identifiés: acides carboxyliques, acides aminés, hétérocycles azotés, amines, amides, alcools, etc. La météorite carbonée de Murchison renferme plus de 70 acides aminés différents. Au nombre de ceux-ci on trouve huit acides aminés protéiques.



Fig. 3 - Micrométéorites (50- 100 μm) collectées dans la glace de l'Antarctique (crédit Michel Maurette)

Les collectes de micrométéorites dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique par Michel Maurette et son équipe, en relation avec l'équipe d'exobiologie du Centre de biophysique moléculaire d'Orléans, permettent d'évaluer la quantité de micrométéorites accrétées par la Terre pendant les 200 millions d'années du

bombardement intense. La matière carbonée accumulée par les micrométéorites équivalait à une couche de goudron de 30 m d'épaisseur sur l'ensemble du globe terrestre.

La mission Stardust de la NASA a collecté des grains cométaires dans la chevelure de la comète Wild 2 qui furent ramenés sur Terre en janvier 2006. Les grains contiennent de la matière organique (alcool, cétone, aldéhyde, acide

carboxylique, amides, nitrile, glycine) et présentent de grandes analogies avec les micrométéorites. D'où l'énorme intérêt de la mission européenne Rosetta lancée en mars 2004 vers la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko.

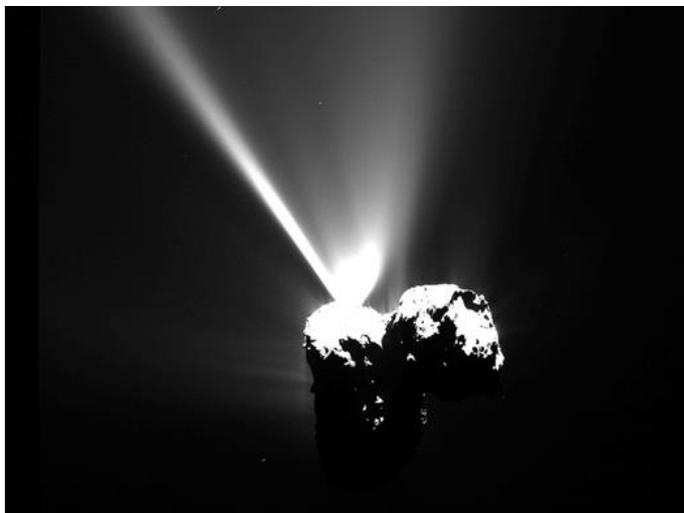


Fig. 4 - La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko (crédit ESA)

La sonde a tiré parti à quatre reprises de l'assistance gravitationnelle pendant son long voyage, avant de se mettre en orbite autour de sa cible en août 2014, après un périple de 7 milliards de kilomètres et une mise en sommeil de 31 mois. La sonde comprenait deux éléments : un orbiteur équipé de 11 instruments dont le spectromètre ROSINA chargé de mesurer le rapport deutérium sur hydrogène de la vapeur d'eau expulsée par la comète. Le rapport est plus de trois fois supérieur à celui de l'eau des océans terrestres. ROSINA détecta également de la glycine dans la queue cométaire, confirmant ainsi les résultats de Stardust, ainsi que du phosphore. Un autre instrument, le spectromètre de masse COSIMA, montra la présence de matière carbonée complexe similaire à la matière organique insoluble présente dans les météorites carbonées.

La mission comportait également un petit atterrisseur, Philae, qui se posa sur la comète en novembre 2014, réalisant ainsi le premier atterrissage sur une comète. Il portait 9 instruments, dont COSAC conçu pour identifier les molécules organiques présentes dans les carottages de la glace. Malheureusement, Philae rebondit deux fois avant de s'immobiliser dans

une position empêchant la charge des batteries par les panneaux solaires. Toutefois, lors du premier rebond, la sonde pu renifler et analyser les éclaboussures de glace. Seize composés organiques purent ainsi être identifiés.

Malgré l'échec de Philae, la moisson de résultats fournis par Rosetta démontre que les comètes ont probablement joué un rôle important dans l'origine de la vie terrestre.

1.5. Quatre démarrages possibles de la vie sont envisagés

➤ Une origine de la vie de type cellulaire.

Comme tous les systèmes vivants actuels fonctionnent sur la base de la cellule, il est tentant de penser que la vie terrestre est apparue sous les traits d'une mini-cellule. A partir des petites molécules organiques, les chimistes se sont donc évertués à recréer une vie simplifiée en tube à essais en reconstituant en laboratoire, dans des conditions simples, des modèles réduits de membranes, de protéines et d'acides nucléiques, ARN en particulier. Le bilan est satisfaisant pour les mini-membranes et les mini-protéines reconstituées en laboratoire. La formation de longs brins d'ARN dans des conditions simples n'a pas encore été résolue.

➤ Un monde d'ARN. Certains ARN sont capables non seulement de véhiculer l'information mais aussi d'exercer une activité catalytique, comme les enzymes protéiques. Très vite s'est alors développée l'idée d'un monde d'ARN qui aurait précédé le monde cellulaire.

➤ Un monde auto catalytique. Comme la formation spontanée et la survie d'ARN dans les océans primitifs semble peu plausibles, il est probable que le monde d'ARN lui-même ait été précédé par des systèmes auto-catalytiques plus simples se développant sur des surfaces minérales. Sur ce point, les amateurs de soupe et les partisans du métabolisme se rejoignent.

➤ Un monde vésiculaire. Toujours partant du fait que le fonctionnement de tous les systèmes vivants contemporains repose sur la cellule, des chercheurs postulent que la vie est d'abord apparue sous les traits de vésicules. La croissance auto catalytique de vésicules a été démontrée en laboratoire mais la question est maintenant de savoir si ces vésicules peuvent s'enrichir d'une information chimique transmissible. leur permettant d'évoluer. Des expériences ont permis d'encapsuler des molécules d'ARN dans les vésicules pour leur permettre d'évoluer.

2. A la recherche d'une vie extraterrestre

Sommes-nous seuls ? La vie est-elle universelle ? De tout temps, cette question a nourri l'imaginaire humain. Epicure, 300 av. J.-C., écrivait à Hérodote : « Les mondes sont en nombre infini... On ne saurait démontrer que dans tel monde des germes tels que d'eux se forment les animaux, les plantes et tout le reste de ce qu'on voit, pourraient n'être pas contenus ». Un siècle avant Jésus-Christ, Lucrèce mentionne dans *De natura rerum* la possible existence d'extraterrestres: « Si la même force, la même nature subsistent pour pouvoir rassembler en tous lieux ces éléments dans le même ordre qu'ils ont été rassemblés sur notre monde, il te faut avouer qu'il y a dans d'autres régions de l'espace d'autres terres que la nôtre, et des races d'hommes différentes, et d'autres espèces sauvages. ». Dans *Le Banquet des Cendres*, Giordano Bruno (1548–1600) fait également mention de la possibilité d'habitants d'autres mondes: «... ces mondes sont autant d'animaux dotés d'intelligence; qu'ils abritent une foule innombrable d'individus simples et composés, dotés d'une vie végétative ou d'entendement, tout comme ceux que nous voyons vivre et se développer sur le dos de notre propre monde ». Bernard Le Bovier de Fontenelle publia en 1686 ses *Entretiens sur la pluralité des mondes*, tandis que le physicien et astronome hollandais Christiaan Huygens publiait le *Kosmotheoros* en 1698. Emmanuel Kant fut

également un fervent défenseur de l'existence d'une vie au-delà de la Terre. Et au 20ème siècle, cette idée n'a cessé d'alimenter une vaste littérature de science fiction.

Cet optimisme cache-t-il un questionnement existentiel ? Si nous sommes seuls, l'humanité porte une lourde responsabilité : si elle détruit la vie terrestre, toute intelligence aura alors disparu de l'Univers. Si nous ne sommes pas seuls, pourquoi les autres formes de vie ne se manifestent-elles pas ?

Aujourd'hui, les remarquables progrès réalisés dans la connaissance du vivant, le perfectionnement des instruments d'observation dont disposent les astronomes et les missions d'exploration du système solaire permettent d'aborder la recherche de vie extraterrestre de manière scientifique, passant ainsi de la pensée purement intuitive à l'observation.

Que chercher ? Où chercher ? Les scientifiques recherchent essentiellement une vie se développant dans l'eau et fondée sur la chimie du carbone, non pas par simple mimétisme avec la vie terrestre, mais parce que ces deux facteurs, eau et chimie du carbone, possèdent des qualités exceptionnelles, présentées ci-dessus.

2.1. Mars

La planète Mars est l'objet d'une attention toute particulière. Les résultats fournis par

les missions martiennes Mariner 9, Viking 1 et 2, Mars Pathfinder, Mars Global Surveyor, Mars Odyssey, Mars Express, les deux Mars Exploration rovers (spatiomobiles) Spirit et Opportunity, la sonde Phoenix et le rover Curiosity indiquent clairement que Mars a abrité de grandes quantités d'eau à sa surface.

La présence permanente d'eau suppose une température constamment voisine ou supérieure à 0°C, température atteinte probablement grâce à l'existence d'une atmosphère dense générant un effet de serre important. Grâce à cette atmosphère, la planète a pu accumuler des micrométéorites à sa surface à l'instar de la Terre. Les ingrédients qui ont permis l'apparition de la

vie sur Terre étaient donc rassemblés sur Mars. Il est dès lors tentant de penser qu'une vie élémentaire de type terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. Les sondes



Fig. 5 - Echus Chasma, région martienne riche en traces d'eau, photographiée par la caméra stéréo à haute résolution de Mars Express (crédit ESA).

Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais certaines météorites martiennes renferment des molécules organiques.

Les océans martiens ont déposé des sédiments, observés par les caméras des orbiteurs Mars Global Surveyor et Mars Express et par les rovers Opportunity et Curiosity. Curiosity a découvert les vestiges d'un lac d'eau douce contenant des argiles et du gypse. Le pH de l'eau était relativement neutre et les éléments atomiques nécessaires à l'émergence de la vie (carbone, hydrogène, oxygène, phosphate, soufre) étaient présents.

En mars 2016, l'agence spatiale européenne, en collaboration avec l'agence spatiale russe, a lancé la première partie de la mission EXOMARS comportant un orbiteur et l'atterrisseur/démonstrateur Schiaparelli. Ce dernier s'est écrasé sur Mars en octobre 2016 en raison du dysfonctionnement de la sonde d'altitude durant moins d'une seconde. En 2020, un rover sera déposé à la surface de Mars pour y rechercher les traces de vie avec la suite d'instruments Pasteur comportant notamment

une foreuse pouvant atteindre une profondeur de deux mètres.

En 2020, la NASA enverra un rover martien qui devra rechercher des traces de vie fossilisées, collecter et stocker des échantillons dans une cache devant être ramenée ultérieurement sur Terre, tester une technologie permettant de protéger une mission habitée des dangers présentés par les poussières martiennes, tester une technologie permettant de collecter le dioxyde de carbone, une source potentielle d'oxygène et de combustible pour la fusée de retour.

2.2. Europe

Europe, le satellite de Jupiter, pourrait bien présenter des environnements marins ressemblant aux sources sous-marines terrestres. Europe orbite autour de Jupiter à une distance d'environ six cent mille kilomètres, donc suffisamment près pour être réchauffée par l'effet de marée dû au champ gravitationnel très important de la planète géante. En 1979 et 1980, la mission Voyager avait déjà photographié Europe et montré que sa surface était recouverte par de la glace entaillée de profondes crevasses. Depuis, le vaisseau spatial Galileo a fourni de très belles images montrant, notamment des blocs de glace ayant pivoté sur eux-mêmes. La surface présente peu de cratères d'impacts ce qui suggère un remodelage continu de la surface par des phénomènes cryovolcaniques ou tectoniques. Des dépôts de sels ont été observés à la surface d'Europe, dépôts qui pourraient provenir de remontées d'eau océanique salée. Enfin, la sonde Galileo a enregistré un champ magnétique induit dans celui de Jupiter traduisant la présence d'un conducteur électrique, très probablement de l'eau salée. Toutes ces observations plaident en faveur de l'existence d'un océan sous-glaciaire. Il est maintenant important de savoir s'il existe sur Europe un magma capable de transférer la chaleur du cœur planétaire vers le fond océanique pour créer des sources hydrothermales et, par conséquent, des molécules organiques. Europe apparaît de plus en plus comme un lieu privilégié du système solaire

pouvant héberger de l'eau liquide et une vie microscopique en activité.

En 2022, l'agence spatiale européenne lancera la mission d'exploration JUICE (pour JUpiter ICy moons Explorer), qui atteindra Jupiter en 2030. Elle étudiera en continu l'atmosphère et la magnétosphère de Jupiter. Elle visitera Callisto et effectuera deux survols d'Europe. JUICE mesurera pour la première fois l'épaisseur de la croûte glacée et recensera des sites adaptés à une future exploration *in situ*. Le satellite se mettra ensuite en orbite autour de Ganymède en 2032, d'où il étudiera la surface glacée et la structure interne de cette lune, ainsi que son océan de subsurface.

2.3. Titan

Titan, le plus gros satellite de Saturne, possède une atmosphère dense de 1,5 bar constituée essentiellement d'azote (plus de 90%) mais aussi de méthane et d'un peu d'hydrogène. L'atmosphère renferme également d'épais brouillards d'aérosols carbonés. Les observations recueillies par les missions Voyager et Cassini-Huygens et les mesures faites à partir de la Terre indiquent clairement la présence de nombreux hydrocarbures et de nitriles dans ce milieu. Parmi ces composés organiques figurent l'acide cyanhydrique, l'acétylène, le cyanoacétylène, véritables passages obligés de la chimie prébiotique. Titan représente donc un véritable laboratoire de production de composés prébiotiques à l'échelle planétaire.

Bien que des traces de vapeur d'eau aient été détectées par le satellite ISO dans la haute atmosphère, la température très basse, de l'ordre de -180°C , régnant près de la surface y interdit la présence d'eau liquide. Toutefois, les modèles de structure interne et les données de la mission Cassini-Huygens, suggèrent la présence d'aquifères profonds. Cet océan contiendrait de l'ordre de 10% d'ammoniac et aurait une épaisseur d'environ 100 km. Il serait situé entre deux épaisses couches de glace d'eau. Il est possible que pendant les premières dizaines de millions

d'années qui ont suivi la formation de Titan, cet océan ait été en contact avec l'atmosphère sur un fond rocheux, une situation analogue à celle des océans terrestres. Il est dès lors possible d'y envisager l'émergence d'une vie.

2.4. Encelade

L'orbiteur saturnien Cassini a observé l'activité géophysique d'Encelade, un autre satellite de Saturne. Plusieurs des instruments de la mission ont mis en évidence la présence de gigantesques panaches de plusieurs centaines de km émis au pôle sud. Ces panaches sont principalement constitués de glace et de vapeur d'eau, mais contiennent aussi de nombreux composés carbonés, méthane, acétylène, propane. Ces geysers pourraient provenir de réservoirs internes d'eau liquide sous pression, en contact avec un magma rocheux, hypothèse confortée par la présence de sel dans les panaches. Les conditions indispensables à l'apparition et au développement de la vie seraient donc présentes au sein d'Encelade.

2.5. Les exoplanètes

Au-delà du Système Solaire, la chimie du carbone est universelle et la recherche de la vie ne peut se faire que par télédétection. Pour qu'une exoplanète puisse héberger de l'eau, et donc la vie au sens où nous l'entendons, il faut qu'elle ait la bonne taille et se trouve à la bonne distance de l'étoile. Fin 2018, le catalogue des exoplanètes comptait près de 3 900 planètes extrasolaires, 44 d'entre elles étant considérées comme habitables. En août 2016, les astronomes ont annoncé la détection d'une planète gravitant autour de Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche de nous, distante « seulement » de 40 000 milliards de kilomètres. Sa masse est environ 1,3 fois celle de la Terre et sa période de 11,2 jours.

La recherche de la vie sur une planète extrasolaire ne peut se faire que par l'analyse spectrale de singularités dans l'atmosphère. Sur Terre, par exemple, l'oxygène atmosphérique est

une singularité à deux titres: il est surabondant par rapport à la croûte terrestre et il devrait normalement disparaître par recombinaison avec les roches. Sa présence permanente est liée à l'existence d'une vie intense à la surface de la terre et ne manquerait pas d'attirer l'attention de tout extraterrestre observant la Terre à la recherche de vie. Pour des raisons pratiques, il est plus facile de rechercher la signature de l'ozone. La présence simultanée d'ozone (donc d'oxygène), de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone apparaît aujourd'hui comme une signature probante d'une vie planétaire exploitant largement la photosynthèse. L'analyse d'une atmosphère extrasolaire pourrait se faire soit par interférométrie à l'aide d'une flottille de télescopes spatiaux, soit par l'examen de l'atmosphère planétaire lorsque la planète passe devant son étoile.

3. Conclusion

Épicure rêvait d'une infinité de mondes vivants, rêve repris plus tard par de grands penseurs comme Giordano Bruno, Bernard Le Bovier de Fontenelle, Christiaan Huygens, Emmanuel Kant. Certes, ce rêve ne s'est pas encore concrétisé. Cependant, on connaît de mieux en mieux les conditions qui ont permis l'émergence de la vie sur Terre. De même, les sites extraterrestres où règnent des conditions similaires sont de mieux en mieux identifiés. La pertinence de cet acharnement à comprendre, et des moyens financiers investis à cette fin, est quelque fois remise en cause, mais c'est cette curiosité et cet impérieux besoin de comprendre qui ont élevé l'espèce humaine jusqu'aux connaissances actuelles et à la plénitude des arts. Au-delà de ce besoin de comprendre, ces recherches fournissent une preuve de l'importance de l'eau, partenaire incontournable de la vie, ainsi que de la précarité de l'espèce humaine, entité minuscule perdue dans l'immensité de l'univers. La découverte de la première vie extraterrestre sera déterminante car elle sortira la vie terrestre de sa solitude cosmique. Les Pirahâs, membres d'une tribu d'à peine 200

personnes de chasseur-cueilleurs d'Amazonie vivant principalement sur les rives du rio Maici, au Brésil, ont simplifié leur arithmétique: ils comptent jusqu'à 2 puis après 2, ils globalisent à beaucoup. D'une manière un peu similaire, la découverte d'une deuxième genèse, véritable graal des exobiologistes, permettrait de généraliser la possibilité de la vie à tout l'Univers.

7. Bibliographie

- Brack A et Leclercq B (2003) La vie est-elle universelle? EDP Sciences
- Brack A (2004) Et la matière devint vivante. Le Collège de la Cité, Editions Le Pommier
- Brack A L'exobiologie ou l'origine chimique de la vie, <http://astro.u-strasbg.fr/goutelas/g2005/>
- Brack A (2017) Découvrir la vie extraterrestre. Minipomme, le Pommier
- Clancy P, Brack A, Horneck G (2005) Looking for life. Searching the Solar System. Cambridge University Press, Cambridge
- Brack A, Coliolo F (2009) La vie dans l'Univers, entre mythes et réalités. Editions La Martinière
- Brack A (2013) L'exobiologie : de l'origine de la vie à la vie dans l'Univers. ETUDES Juin 37:46
- Catalogue des exoplanètes
<http://www.obspm.fr/encycl/catalog.html>
- Catalogue des météorites martiennes :
http://www.nirgal.net/meteorite_table.html
- Catalogue des molécules interstellaires :
http://www.astrochymist.org/astrochymist_ism.html

André Brack

**Directeur de recherche honoraire au CNRS
Membre titulaire de l'Académie d'Orléans**

La chimie, une industrie en région Centre-Val de Loire

Myriam Rouet-Meunier



1. La chimie, premier exportateur industriel

Les entreprises de la chimie en France ont réalisé une année exceptionnelle avec une croissance de 4,6% en 2017, faisant du secteur le premier exportateur industriel. Le chiffre d'affaires de la chimie mondiale a atteint 3 360 milliards d'euros, en progression de 0,4 % en valeur par rapport à 2015, grâce à la progression des ventes de la Chine (+4 %) et du Japon (+2,9 %), quand l'Union européenne enregistrait une baisse (-3,8 %) et les Etats-Unis se stabilisaient (-0,2 %). L'effet prix a été négatif sur la période car la croissance en volume s'est élevée à 3,4 % en 2016 (ventes déflatées des prix de production sur les marchés intérieurs) avec une Chine toujours plus vigoureuse (+7,4 %) et des évolutions plus positives aux Etats-Unis (+2 %) et en UE (+1 %). Avec une part de marché proche de 40 %, la Chine maintient son rang de premier producteur chimique mondial, très loin devant les Etats-Unis (14,2 %), l'Allemagne (4,3 %), le Japon (4,2 %), la Corée du Sud (3,4 %), l'Inde (2,3 %) et la France (2,1 %).

Sur les dix dernières années, les ventes de la Chine ont augmenté de près de 19 % en moyenne par an, dans une croissance mondiale de +6,4 % par an. Sur la même période, l'UE stagnait entraînant un recul de sa part dans la chimie mondiale de 28 % en 2006 à 15,8 % en 2016. Au sein de l'UE, la France a mieux résisté que l'Allemagne, avec une perte de seulement 2

points de sa part contre 3,7 points pour l'Allemagne. Hors Chine, l'Asie émergente a bénéficié du développement de la chimie en Inde et en Corée du Sud. Depuis 2006, la croissance du chiffre d'affaires de l'Inde est de 7,8 % par an et s'élève à 5 % pour la Corée du Sud. En Amérique du Sud, l'activité chimique au Brésil a été dynamique évoluant sur une cadence de 3 % par an avec toutefois une dégradation ces quatre dernières années en raison de la baisse des cours des matières premières et des difficultés politiques sur le marché intérieur.

2. La chimie en France, une industrie pleinement intégrée dans l'économie

Par ses achats et ses ventes, la chimie est un maillon essentiel de l'économie et de l'industrie en France. Elle soutient l'ensemble d'une chaîne de fournisseurs au travers d'achats globaux de l'ordre de 22 milliards d'euros (hors auto consommation). En aval, elle fournit des produits aux autres branches économiques (pharmacie, plasturgie, construction, transport, textile, métallurgie, papier-carton, services, etc.) ainsi que des biens de consommation directement aux ménages. Par ses activités propres et directes, la chimie en France a généré une valeur ajoutée de 18,5 milliards d'euros en 2017, soit 26 % de son chiffre d'affaires. Entre 2000 et 2015, sa part dans la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière s'est effritée, passant 10,4 % à 8,2 % sur la période.

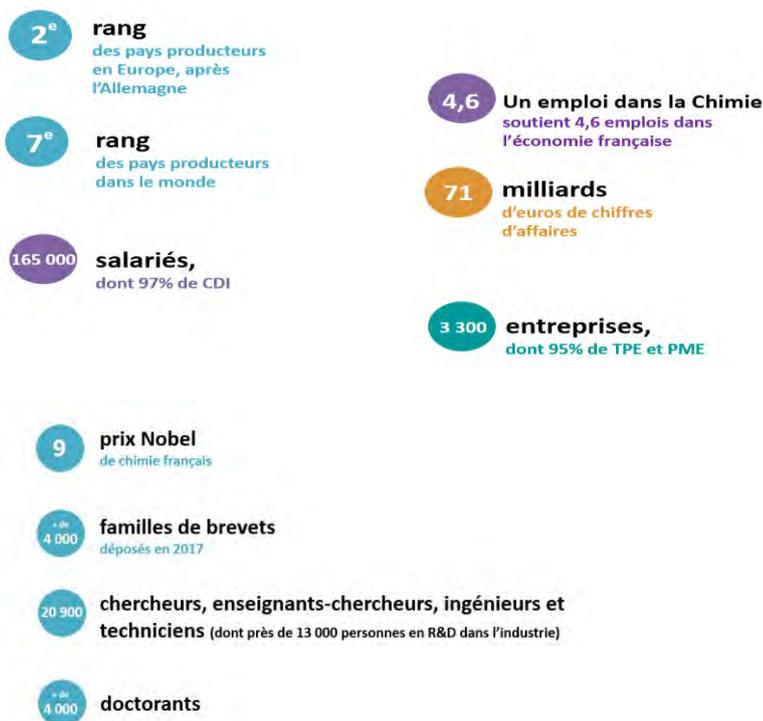


Figure 1 – Quelques aspects de l'activité chimique en France

L'étude d'impact socio-économique de la chimie réalisée par le cabinet *Utopies* a révélé une contribution plus importante avec l'intégration de ses achats en amont et au travers des flux économiques générés par les emplois qu'elle soutient ou par les impôts et taxes qu'elle verse à l'Etat. Cette empreinte globale s'élève alors à près de 50 milliards d'euros de valeur ajoutée soit 2,4 % du PIB de la France. En termes d'emplois, cette même empreinte est estimée à 625 000 emplois au total (directs, indirects et induits). En 2017, les effectifs directs de la chimie sont estimés à 165 000 pour ses activités de production, de recherche et développement et sièges sociaux. Fortement exportatrice, la chimie a dégagé un niveau de ventes à l'export record de 58,7 milliards d'euros en 2017, la positionnant au premier rang des secteurs industriels exportateurs (devant l'aéronautique à 55,3 milliards d'euros et les industries agroalimentaires à 47 milliards d'euros). Elle a compté pour 13,4 % des ventes à l'étranger de l'industrie manufacturière. Avec un solde de 8,6 milliards d'euros, elle est en deuxième position des secteurs contributeurs à la balance commerciale de l'industrie manufacturière (derrière l'aéronautique à 17 milliards d'euros et devant les industries agroalimentaires à 6,1 milliards d'euros). En 2017, son chiffre d'affaires

est estimé à 70 milliards d'euros en hausse de 4,5 % par rapport à 2016.

3. L'industrie chimique en France : une industrie innovante

4. Une chimie aux multiples visages et usages :

- des solutions présentes dans notre quotidien
- des innovations au service d'un monde durable
- une chimie qui fabrique l'avenir

Santé : la chimie innove pour se protéger de la maladie et mieux gérer la douleur. Elle conçoit des matériaux intelligents qui permettent de rendre les équipements médicaux plus performants et de les adapter

aux contraintes sanitaires

Alimentation : la chimie invente des solutions pour protéger les plantes, pour favoriser leur croissance ou encore pour conserver les aliments.

Electronique : la chimie fabrique des composants et des matériaux utilisés depuis la coque des téléphones jusqu'aux écrans de téléphone ou de tablette

Beauté : la chimie travaille aux formulations à l'origine des parfums, des crèmes, du maquillage et des soins de la peau

Sport : la chimie imagine des textiles adaptés pour les compétitions sportives, des matériaux utilisés dans la composition des ballons de football ou pour la fabrication de planches de surf, de cerfs-volants, etc.

Mobilité durable : la chimie propose des matériaux nouvelles générations plus performants, plus résistants et plus légers pour

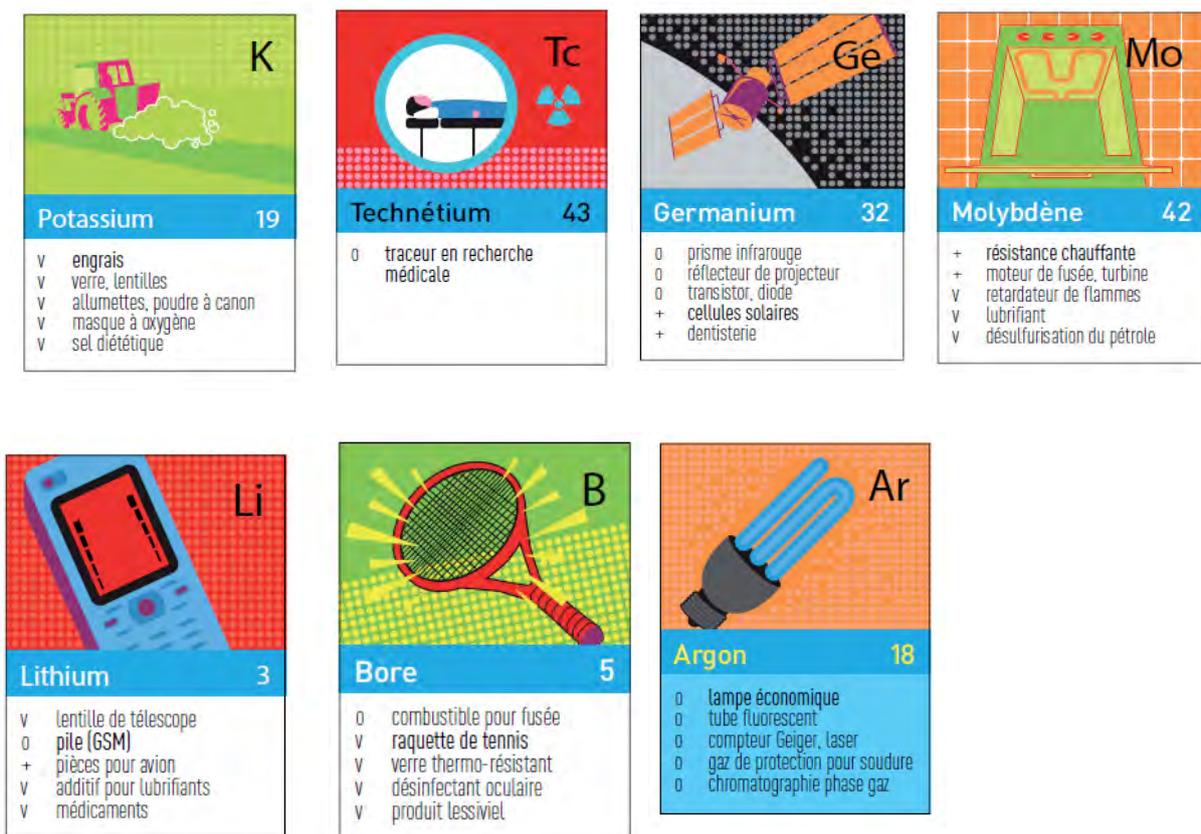


Figure 2 – Quelques éléments clés de l'industrie chimique

une mobilité moins énergivore, plus propre, plus rapide et plus sûre. Elle propose aussi des solutions pour réduire la consommation d'énergie et optimiser son stockage pour les voitures électriques notamment

Energies renouvelables : la chimie innove pour le développement des énergies renouvelables en optimisant par exemple l'efficacité des panneaux photovoltaïques grâce à une nouvelle génération de silicium, en imaginant des matériaux plus légers et plus résistants pour les pales des éoliennes ou encore en favorisant l'emploi de fluides caloporteurs plus performants pour les pompes à chaleur

Habitat durable : la chimie joue un rôle central et décisif dans la conception et la construction des villes du futur : efficacité énergétique, peintures dépolluantes, maisons intelligentes ou « passives », nouveaux matériaux d'isolation textiles et matériaux hybrides, peintures à l'eau, ...

Economie circulaire : les entreprises de la chimie sont mobilisées pour travailler à partir de matériaux plus facilement recyclables. Elles préparent la fin de vie du produit et anticipent son retour dans le circuit de production

5. Sécurité et environnement, une priorité pour les industriels de la chimie

D'une manière générale, la culture « sécurité et environnement » est une priorité pour les industriels en direction de leurs personnels, des riverains des sites, des clients et des utilisateurs de leurs produits. La gestion de la sécurité et son amélioration représente un défi permanent pour les industriels de la chimie. Ces derniers mettent en œuvre toutes les procédures possibles pour assurer au mieux la sécurité de leurs installations : analyse des risques, formation des employés, implication des sous-traitants.

En matière d'environnement, les industriels s'engagent dans la maîtrise des impacts environnementaux de leurs installations. Lancé par la chimie canadienne en 1985 et adopté en

France en 1990 par l'UIC, sous le nom d'Engagement de Progrès, le programme « *Responsible Care*® » est décliné à ce jour par 58 fédérations nationales ou régionales, dans plus de 60 pays. La démarche, bien antérieure à l'écllosion de la RSE (responsabilité sociétale des entreprises), peut servir de point d'entrée à la mise en œuvre du concept de développement durable par l'industrie chimique, à partir de performances améliorées dans les domaines de la santé, de la sécurité ou encore de la protection de l'environnement.

La chimie, qui a poursuivi ses efforts pour réduire son empreinte environnementale, développe de nombreuses solutions qui permettront de répondre aux défis environnementaux de notre société. À l'écoute des parties prenantes, l'UIC a engagé la refonte de sa charte volontaire RSE « *Responsible Care* » pour la rendre plus accessible à l'ensemble des entreprises de la chimie. En 2017, les entreprises de la chimie ont poursuivi leurs efforts de réduction de leur empreinte environnementale. Ces efforts ne sont pour le moment pas quantifiables pour l'année 2017 puisque les dernières mesures disponibles des rejets dans l'air et dans l'eau ont été publiées pour l'année 2015.

Pour rappel, les diminutions des émissions atmosphériques dans l'industrie chimique (chiffres de 2015) ont été de:

- - 60% de rejets dans l'air de gaz à effet de serre depuis 1990
- - 23% de rejets dans l'air de dioxyde de carbone depuis 1990
- - 49% de rejets dans l'air de particules en suspension depuis 2005
- - 60% de rejets dans l'air de dioxyde de soufre depuis 2005
- - 49% de rejets dans l'air d'oxydes d'azote depuis 2005
- - 54% de rejets dans l'air de composés organiques volatils (non méthaniques) depuis 2005

Pour les rejets dans l'eau (chiffres de 2015) :

- Réduction de 60% des rejets de composés azotés depuis 2005
- Réduction de 72% des rejets de composés phosphorés depuis 2005

On observe que la qualité des milieux s'améliore d'année en année. D'autres facteurs que ceux cités ci-dessus y ont contribué : les normes européennes, notamment en matière de transport et de chauffage, ont joué un rôle, en plus des exigences réglementaires auxquelles les ICPE (Installation classée pour la protection de l'environnement) sont soumises. Les industriels ont également réalisé des investissements significatifs pour adapter les procédés de production et pour mettre en œuvre des techniques, en particulier pour améliorer le traitement des effluents aqueux et gazeux.

L'année 2017 a vu naître la feuille de route *Responsible Care* RSE de l'UIC à 3 ans. Cette feuille de route trace le chemin de 2017 à 2020 qui ponctuera les 30 ans de cette charte en France.

La diffusion de la Charte mondiale du *Responsible Care* se poursuit. Aujourd'hui, cette charte globale RSE des entreprises de la chimie a été signée par 386 établissements en France, preuve de leur engagement volontaire. L'UIC poursuit son effort pour convaincre un maximum d'entreprises adhérentes de toutes tailles, de s'engager dans la démarche *Responsible Care*. Les Trophées régionaux et nationaux sont un tremplin vers une meilleure mobilisation et une meilleure valorisation des initiatives RSE sectorielles. En collaboration avec des représentants de la société civile et autres partenaires, l'UIC construit une refonte du référentiel *Responsible Care* RSE sectorielle France (ex DT70) pour rendre plus accessible et attractive la RSE à toutes les entreprises de la chimie, quelle que soit leur taille.

6. L'industrie chimique en France et l'emploi

La chimie offre des emplois stables et qualifiés, des métiers bien rémunérés, des emplois durables, une formation tout au long du parcours et des emplois qualifiés. Les hommes et les femmes qui travaillent dans les entreprises de la chimie sont recrutés pour leurs qualifications, formés tout au long de leur parcours et restent plus longtemps que la moyenne dans leur entreprise pour y progresser. En effet, la complexité des procédés de production, l'importance de la R&D (recherche et

développement) et de la maîtrise des risques exige un haut niveau de compétence des collaborateurs de nos entreprises. Ces compétences, qu'ils possèdent à l'embauche et qui sont constamment développées durant leur carrière, nos entreprises tentent de se les attacher en leur proposant une stabilité d'emploi et des opportunités de développement. Ainsi, l'emploi dans les Industries chimiques se caractérise par un fort taux de CDI : environ 84% contre une moyenne de l'industrie française à 81%. Le reste des postes sont occupés par des salariés en CDD, en intérim ou en alternance.

La chimie est une branche où le niveau de compétence est élevé :

- A l'embauche, le niveau de formation à Bac+2 et au-delà est de 56%.

- 2/3 des effectifs (67%) sont de niveau « techniciens, cadre et agents de maîtrise » (ils sont de 60% dans l'industrie).

Au cours de leur parcours en entreprise, l'effort de formation se poursuit, en témoigne la proportion de salariés ayant reçu au moins une formation dans l'année : 76% contre 68% dans l'ensemble de l'industrie. Enfin, la stabilité dans l'emploi se traduit par une ancienneté moyenne des salariés dans leur entreprise plus de 13 ans. 55% de nos salariés ont plus de 10 ans dans leur entreprise, garantissant transmission des savoirs et maîtrise des processus.

Par ailleurs, la branche de la Chimie respecte et dépasse même ses engagements explicités dans l'accord « Emploi - Contrat de génération » de juillet 2014 :

- Elle s'était engagée sur 47.000 embauches en CDI et CDD sur 2015-2017.

L'enquête sociale menée courant 2017 montre qu'elle en a réalisé plus de 51.000

- Elle s'était engagée sur 5.000 alternants en 2017. Elle en a finalement recruté plus de 5.700 en 2017.

7. L'industrie chimique en région Centre Val de Loire

- ❑ La région Centre Val de Loire compte 4% des salariés de la branche (8ème rang national: 9275 salariés) dans 197 entreprises /207 établissements; ses effectifs sont stables ; ils sont principalement présents dans les activités de production chimique,

- ❑ avec une forte spécialisation territoriale dans le secteur des savons, parfums et produits d'entretien.

- ❑ Les salariés sont relativement plus âgés en région qu'à l'échelle nationale. Les femmes en particulier y sont plus âgées, avec un écart de 2,3 points (42,9 ans contre 40,6 ans). Les hommes à l'inverse y sont légèrement plus jeunes qu'au plan national avec un écart de 0,5 points (42,4 ans contre 42,9 ans) Le taux de féminisation en région

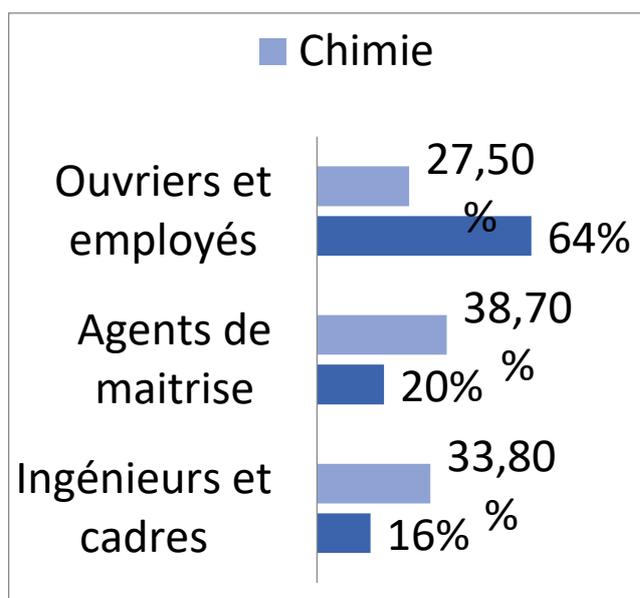


Figure 3 - Comparaison de la répartition du nombre de salariés par catégorie socio-professionnelle de la branche chimie avec celle de l'industrie en %

est supérieur à celui observé sur le périmètre national (49% contre 38%), constat devant être relié à la forte présence du secteur des savons, parfums et produits d'entretien.

- ❑ Concernant les CSP (contrats de sécurisation professionnelle), les « ouvriers et employés » sont surreprésentés en région (près de 50% des effectifs), surreprésentation due à la forte présence de sites industriels de production et en compensation d'une sous-représentation de la catégorie « ingénieurs et cadres »,

- ❑ L'ancienneté moyenne sur l'année 2016 était de 13,5 ans. La région se caractérise par une part plus importante que la moyenne

nationale de salariés ayant moins de 2 ans d'ancienneté,

- ❑ La qualité de l'emploi est tout aussi favorable dans la région qu'à l'échelle nationale (92,1% % en CDI). Les salariés à temps complet sont légèrement plus nombreux sur le plan régional que sur le plan national (92,6% contre 89,1%)
- ❑ Il est à noter également un taux de contrat d'apprentissage plus fort dans notre région (2,1% contre 1,3%).

La filière chimie est un phare de la région par son secteur Parfums et Cosmétiques :

> Première région française de production de la filière parfumerie-cosmétique

> Un secteur tourné vers l'export : 2^e produit exporté par la région

> Une trentaine de façonniers et conditionneurs

> Un Pôle de compétitivité dédié : Cosmetic Valley où tous les métiers de la filière sont présents : matières premières et ingrédients, formulation, conditionnement, contrôles et tests, PLV, injection plastique, packaging, logistique

8. Actualités chimiques 2018 / 2019

Le ministère de l'Éducation nationale et le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation ont désigné l'année 2018 - 2019 comme l'année de la chimie, de l'école à l'université. Cette année sera marquée par deux évènements majeurs :

► le 47^e Congrès bisannuel de l'IUPAC du 7 au 12 juillet 2019

► les 51^{es} Olympiades internationales de chimie du 21 au 30 juillet 2019

De nombreuses actions éducatives seront inscrites dans le cadre de l'année française de la chimie et répertoriées dans un guide académique mis à disposition des établissements. Les informations sur cette initiative et sur les actions éducatives sont accessibles sur le portail et de ressources « eduscol, discipline chimie ». Citons également le concours Mendeleïev de l'UDPPC (Union des professeurs de physique

chimie, les portes ouvertes des entreprises de la chimie, les trophées chimie responsable, etc.



Figure 4 – Affiche annonçant l'invitation à aimer la chimie

Myriam Rouet-Meunier

Secrétaire général de l'Union des industries chimiques Centre Val de Loire

La chimie de la cellule vivante

Michel Monsigny

Résumé

La cellule vivante est une usine chimique remarquablement organisée. Les diverses activités font de la cellule un modèle écologique idéal. La cellule importe des éléments nutritionnels qu'elle utilise comme source d'énergie, comme constituants et/ou comme matériau pour construire ses propres outils. Certains composés essentiels (certains acides aminés, acides gras, vitamines ...) doivent être cependant importés car la cellule animale n'a pas les outils permettant leur synthèse. Nous aborderons divers aspects de la chimie dans la cellule, et en particulier : l'asymétrie des molécules (chiralité), la catalyse enzymatique, l'affinité et l'avidité des interactions entre molécules et sa signification pour les médicaments allopathiques et les préparations homéopathiques, la compartimentation intracellulaire, quelques propriétés des membranes, la production d'énergie par oxydation des oses (sucres) ou des acides aminés, la pénétration des macromolécules dans la cellule, la synthèse des macromolécules et leur régulation (en particulier l'épigénétique), les modifications sélectives des gènes par le système CRISPR-Cas9, les développements de la thérapie génique fondés sur la chimie, et la production d'organismes génétiquement modifiés ouvrant la voie à la guérison de certaines pathologies telles que l'hémophilie B.

Abstract

The living cell is a remarkably organized chemical plant. The various activities make the cell an ideal ecological model. The cell imports nutritional elements used as a source of energy, as constituents and / or as a material to build its own tools. Certain essential compounds (certain amino acids, fatty acids, vitamins ...) must however be imported because the animal cells do not have the tools allowing their synthesis. We will discuss various aspects of the chemistry in the cell, and in particular: molecule asymmetry (chirality), enzymatic catalysis, affinity and avidity related to interactions between molecules and its significance for allopathic medicines and homeopathic preparations, intracellular compartmentalization, some properties of membranes, the production of energy by oxidation of sugars or amino acids, the penetration of macromolecules into the cell, the synthesis of macromolecules and their regulation (in particular epigenetics), selective gene modification by the CRISPR-Cas9 system, chemically-based developments in gene therapy, production of genetically modified organisms that pave the way for the cure of certain pathologies such as hemophilia B.



Introduction

La cellule vivante a des caractéristiques particulières en ce qui concerne la chimie. Dans la cellule, les composés sont de taille nanométrique. Les petites molécules ont des dimensions de l'ordre du nanomètre, les grosses molécules (les macromolécules) ont des dimensions de l'ordre de 10 nm. Diverses caractéristiques méritent d'être soulignées ; en particulier, la plupart des composés chimiques que l'on trouve dans la cellule sont **asymétriques** c'est-à-dire que les atomes de carbone sont substitués par quatre éléments différents. Cette asymétrie correspond à ce que l'on observe pour les mains (elles ne sont superposables que dans un miroir). Les acides aminés¹ sont de la série L ; dans les bactéries certains peptides contiennent des acides aminés de la série D : chez les humains, les acides aminés D sont détruits dans le foie.

À noter également, une autre caractéristique tout à fait remarquable, c'est que les macromolécules sont synthétisées essentiellement en réutilisant les éléments d'autres macromolécules : par exemple, les protéines, qui contiennent 20 acides aminés différents, sont synthétisées en utilisant des acides aminés qui proviennent de protéines préalablement dégradées ; il en est de même pour les lipides et pour les acides nucléiques et pour les glucides (composés contenant des oses, communément appelés « sucres »).

Une autre caractéristique très importante pour la chimie des molécules du vivant est que les macromolécules ont une affinité pour elles-mêmes (dimérisation : $A + A = AA$, trimérisation, tétramérisation, etc.) ou pour des protéines complémentaires ou pour des substrats ou des inhibiteurs, c'est-à-dire que les protéines peuvent fixer avec une certaine « affinité » (force de la liaison) soit d'autres protéines soit des substrats soit des inhibiteurs.

¹ Les acides aminés des protéines possèdent tous un groupement carboxylique, (CO₂H) (carbone 1), un groupement aminé sur le carbone 2 et une chaîne latérale commençant par le carbone 3 (sauf pour la glycine qui n'a que 2 carbones. Les acides aminés de la série L correspondent au fait que l'amino est placée sur la gauche

Par exemple, les anticorps (ce sont les macromolécules synthétisées par les lymphocytes B du système immunitaire pour défendre l'organisme) ont une certaine affinité pour leurs cibles (que l'on appelle antigènes). Dans le même domaine, les anticorps du type IgG n'ont que 2 sites de reconnaissance : ils fixent leurs antigènes avec une affinité relativement faible, alors que les IgM qui ont dix sites de fixation ont une affinité augmentée de façon considérable pouvant être 1 000 fois supérieure à celle des segments à 2 sites : ce phénomène : (l'augmentation de l'affinité due à la présence de nombreux sites sur la même molécule) est appelé « avidité ».

Un autre élément très intéressant est que les réactions chimiques dans la cellule sont des réactions catalysées, c'est-à-dire que la réaction est aidée par des enzymes : les enzymes non seulement favorisent la réaction mais en outre, elles l'orientent : c'est-à-dire que pour une enzyme donnée avec un substrat donné nous obtiendrons un seul produit, même si à partir de ce substrat il est possible d'obtenir d'autres molécules.

Un autre élément très important (que nous reverrons à propos de l'origine de l'énergie dans les cellules) c'est que la chimie biologique des cellules se fait par petites étapes : pour transformer du glucose en gaz carbonique, c'est à dire pour brûler du glucose en une seule étape il y aurait un intense dégagement d'énergie qui provoquerait localement une forte augmentation de la température, alors que en utilisant les dizaines d'étapes nécessaires pour passer du glucose au gaz carbonique, la cellule récupère à chaque étape (ou presque) une petite quantité d'énergie qui est utilisée pour synthétiser de l'ATP (adénosyl-triphosphate), molécule clé utilisée dans la synthèse d'un très grand nombre de molécules.

Il faut aussi noter que les cellules obéissent à des conditions très contingentes (restrictives) :

du carbone 2 lorsque l'on met les carbones 1, 2 et 3 dans un plan perpendiculaire à l'observateur (le carbone 2 est au dessus du plan passant par les carbones 1 et 3. Les acides aminés de la série D ont l'atome d'azote placé sur la droite.

certaines représentent des inconvénients, d'autres des avantages. Nous allons commencer par étudier ces éléments.

Les contingences

Parmi les diverses contingences, nous pouvons citer :

- le fait que toutes les réactions se passent en milieu aqueux : la cellule ne dispose pas de solvants organiques.

- la température est constante : il est impossible de jouer sur la température pour accélérer les réactions

- la pression est constante : augmenter la pression pour favoriser une réaction de condensation est impossible

- le système est pratiquement fermé, c'est-à-dire, que dans chaque compartiment de la cellule, les réactions se passent sans l'aide de composants d'autres compartiments.

Les avantages

La cellule est compartimentée : diverses réactions chimiques ont lieu soit dans le noyau soit dans le cytoplasme c'est-à-dire entre la membrane périphérique (membrane plasmique qui limite la cellule par rapport à l'extérieur) et le noyau. Il y a dans le cytoplasme plusieurs compartiments parfaitement spécialisés (Figure 1), chaque compartiment étant délimité par une membrane.

Les membranes sont strictement imperméables à toutes molécules sauf aux petites molécules hydrophobes (c'est-à-dire qui n'aiment pas l'eau) encore appelées organophiles (qui aiment les couches lipidiques) ; toutes les autres molécules (petites molécules hydrophiles et grosses molécules : macromolécules) ne peuvent pas traverser les membranes. Cependant, il existe des portes insérées dans les membranes qui permettent le passage d'un certain nombre de composés hydrophiles d'un compartiment à l'autre.

Une autre propriété fondamentale des macromolécules est qu'elles jouissent d'une capacité de fixation extrêmement fine, ce qui leur confère une grande spécificité.

Un autre élément positif de la cellule est que l'intérieur des divers compartiments se trouve à des pH (c'est-à-dire le degré d'acidité ou de basicité) différents ; nous allons en voir une illustration tout à fait remarquable dans le cas de la transferrine.

Un dernier point absolument crucial de la chimie du vivant est que les réactions sont catalysées (aidées, orientées) par des protéines appelées « enzymes ».

Après cette courte introduction, nous allons voir successivement les compartiments et les composés de la cellule, quelques notions concernant les interactions, la catalyse enzymatique, les importations à l'intérieur de la cellule et dans différentes organelles, la production d'énergie, la synthèse des macromolécules, les mécanismes de régulation et enfin nous terminerons avec quelques mots sur la thérapie génique et la production d'organes génétiquement modifiés.

1- Les compartiments cellulaires

Toutes les cellules vivantes et en particulier celles d'*Homo sapiens* sont entourées par une membrane qui est à la fois une frontière et un filtre. A l'intérieur de la cellule, (en son centre) le noyau contient l'essentiel des ADN (acides désoxyribonucléiques) ; le noyau est entouré par une enveloppe nucléaire constituée d'une double membrane.

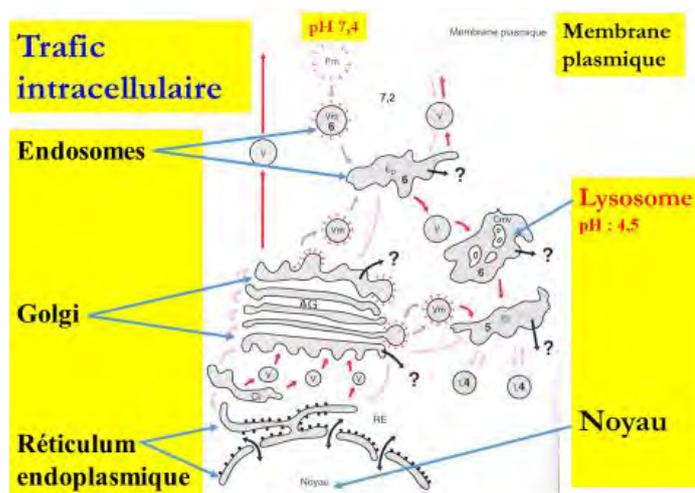


Figure 1. Schéma des constituants du cytoplasme. Diverses organelles « baignent » dans le cytosol entre la membrane plasmique (périphérique) et le noyau

Le cytoplasme se situe entre le noyau et la membrane plasmique, le cytoplasme comprend un gel plus ou moins fluide appelé cytosol et diverses organelles :

Le réticulum endoplasmique forme un sac membranaire très allongé, dans lequel sont synthétisés les protéines et les glycoprotéines²

L'appareil de Golgi est un système de sacs limités par une membrane où se mettent en place les décorations des protéines, c'est-à-dire l'addition des oses (synthèse des glycoprotéines) ou des groupements phosphates pour obtenir des phosphoprotéines, etc. Il existe une centaine de décorations possibles.

- les lysosomes : vésicules de dégradation des macromolécules, celles qui viennent soit de l'intérieur de la cellule (autophagie) soit de l'extérieur : la dégradation des macromolécules permet de libérer les éléments de base qui vont être utilisés pour synthétiser de nouvelles macromolécules

- les mitochondries (l'usine énergétique de la cellule) permettant de dégrader les molécules en les oxydant lentement à travers de nombreuses étapes : ce qui permet la synthèse de nombreuses molécules d'ATP (adénosine triphosphate), la molécule clé qui intervient dans toutes les réactions de synthèse des petites et des grosses molécules.

La taille des composants du matériel cellulaire est nanométrique : celle des cellules est de l'ordre de la dizaine de microns, celle des mitochondries du niveau du micron, celle des ribosomes³ de 200 nm, les protéines entre 5 et 20 nm.

2- Les constituants cellulaires

a- La chiralité (asymétrie)

² Les glycoprotéines sont des protéines substituées par des oses simples telles que la N-acétyl glucosamine ou le plus souvent par des oligosides simples ou complexes. Les glycoprotéines sont majoritaires (par rapport aux protéines sans oses) dans les liquides physiologiques (plasma, lymphes, etc.) ainsi que dans la membrane plasmique, la membrane qui entoure les cellules. La synthèse des glycoprotéines débute en

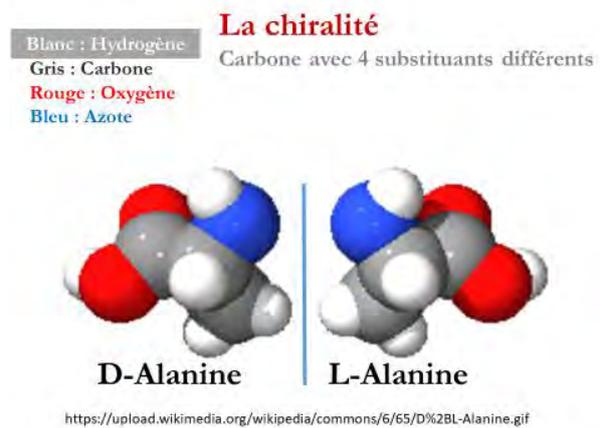


Figure 2. Structure des 2 isomères L et D de l'alanine, le plus simple des acides aminés possédant au moins un carbone chiral.

Les molécules biologiques sont des molécules chirales. Par exemple, la L-alanine (Figure 2) a trois atomes de carbone, l'atome central est substitué par

- un groupement carboxylique - COOH, d'un côté
- un groupement méthyle -CH₃ de l'autre côté
- un atome d'hydrogène à droite
- un atome d'azote à gauche.

La molécule symétrique dans un miroir est la D-Alanine : le groupement aminé (-NH₂) sur le carbone central est à droite et l'hydrogène à gauche. Les deux acides aminés ont exactement la même composition en atomes mais des propriétés physiques différentes. Les protéines du vivant et en particulier celles de *Homo sapiens* ne contiennent que des acides aminés de la série L. Par contre, les bactéries utilisent, pour construire leurs parois, des peptides dont

Certains acides aminés sont de la série D. Les D-amino-acides chez les mammifères sont dégradés dans le foie soit pour synthétiser des acides aminés L soit comme source d'énergie.

La chiralité existe pratiquement dans toutes les molécules du vivant. Le glucose qui est com-

protéinesgénéral dans le réticulum endoplasmique et les oligosides complexes portés par les glycoprotéines sont terminés dans l'appareil de Golgi.

³ Les ribosomes sont de très grosses structures contenant des acides ribonucléiques et des protéines. Ils permettent de traduire les séquences des ARN messagers en protéines.

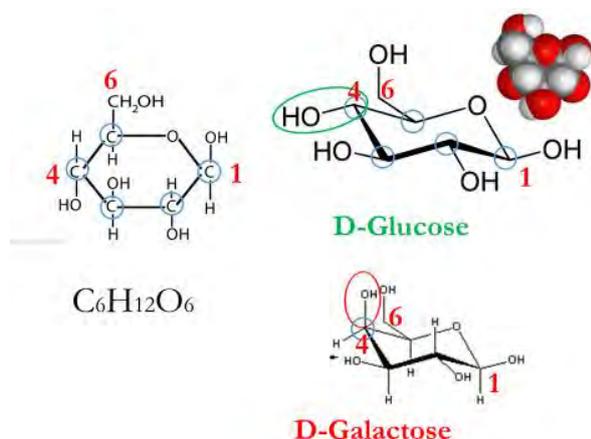


Figure 3. L'orientation différentielle dans l'espace d'un seul groupement hydroxyle correspond d'une part à du glucose (orientation horizontale) et d'autre part au galactose (orientation verticale)

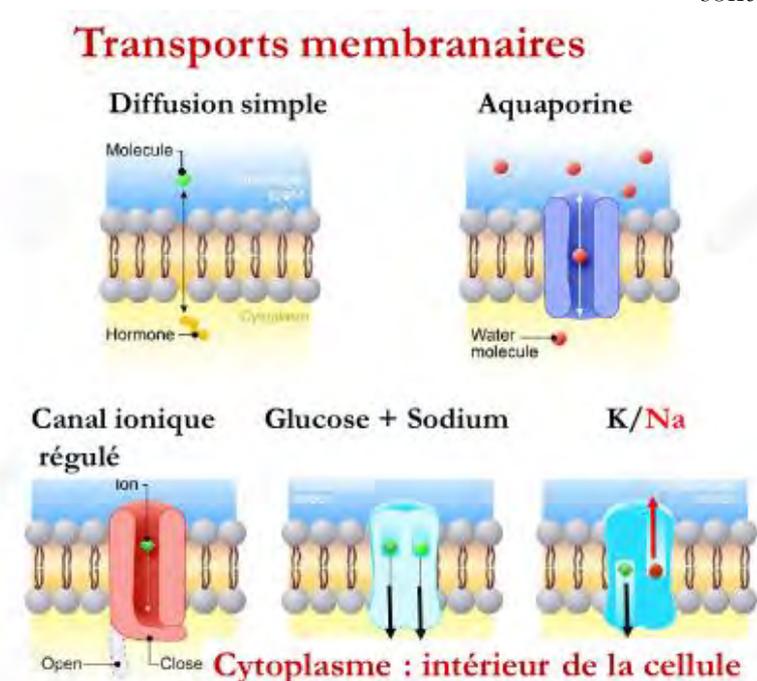


Figure 4. Passage transmembranaire de diverses molécules hydrophiles grâce à des transporteurs sélectifs

posé de six atomes de carbone (molécule de l'ordre du nanomètre) contient cinq carbones asymétriques. Seul le carbone 6 n'est pas asymétrique car il est substitué par deux hydrogènes. La différence entre le glucose et le galactose réside simplement dans l'inversion de l'orientation de l'hydroxyle sur le carbone 4 : par

rapport au plan de la molécule, il est en position horizontale dans le glucose et en position verticale dans le galactose (Figure 3) : cette simple différence est absolument fondamentale puisque c'est ce qui fait que le galactose n'est pas le glucose, ce qui entraîne que les enzymes utilisées dans la synthèse ou la dégradation des oligosides contenant ces deux molécules sont strictement spécifiques de l'un ou de l'autre. Il en est de même pour leurs propriétés immunologiques.

b- La membrane plasmique

L'épaisseur de la partie lipidique des membranes est de 6 nm. La membrane, est faite d'une double couche de lipides dans laquelle sont enchâssées de nombreuses protéines (essentiellement des glycoprotéines) : certaines traversent complètement la membrane, elles servent de récepteurs pour permettre l'internalisation de leurs partenaires (endocytose) ou le passage très sélectif de molécules hydrophiles (très solubles dans l'eau) car les molécules hydrophiles ne peuvent pas spontanément traverser la membrane lipidique (Figure 4).

c- Les acides nucléiques

Dans le noyau, sont concentrés les acides nucléiques (ADN) avec leur structure en double hélice bien connue, molécules de dimension nanométrique également : le diamètre est de 2,4 nm et chaque tour d'hélices correspond à 3,4 nm. Dans la double hélice, les paires de bases nucléiques⁴ : A vers T et T vers

A, G vers C et C vers A, sont planes ; elles sont stabilisées par des liaisons hydrogène (atome d'hydrogène lié à la fois à un azote d'une base et à un azote de la base en vis-à-vis).

d- Les protéines

⁴ Dans un ADN, les bases sont : A : adénine, C cytosine, G : guanine, T : thymine ; dans un ARN, les bases sont : A : adénine, C cytosine, G : guanine, U : Uracyle.

La synthèse des protéines dépend d'un acide ribonucléique particulier, appelé ARN de transfert : c'est une petite molécule : la plus grande dimension est de l'ordre de 7 nm.

Les protéines sont constituées d'un enchaînement d'acides aminés : par exemple, la sérumalbumine humaine contient près de 600 acides aminés liés les uns aux autres en une seule chaîne. La structure est maintenue par diverses liaisons (liaisons dites : interactions hydrophobes entre les acides aminés qui n'aiment pas l'eau, des interactions ioniques, des ponts hydrogènes⁵ et des ponts disulfure (-S-S-), c'est-à-dire des liaisons entre deux éléments de la chaîne. Le modèle moléculaire présenté (Figure 5) montre une structure très compacte.

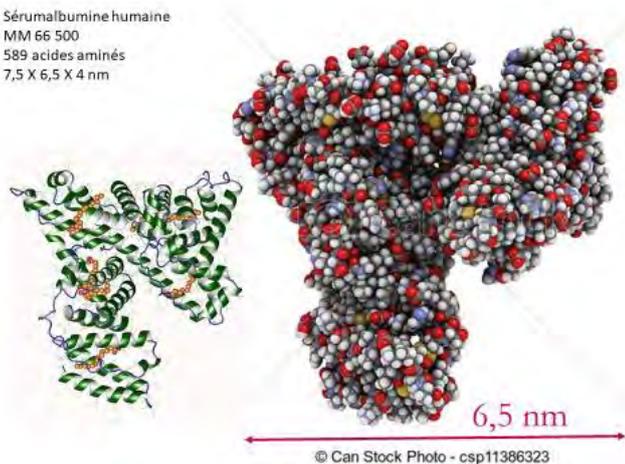


Figure 5. Structure de la sérumalbumine humaine. A gauche : le squelette peptidique, une seule chaîne partiellement hélicoïdale repliée plusieurs fois, A droite : la molécule avec l'ensemble des atomes : C, H, O, N et S.

4- Les interactions : affinité et avidité

L'intensité des interactions est exprimée en termes d'affinité. L'affinité est l'inverse de la

⁵ Un pont hydrogène est une liaison entre un atome d'hydrogène fixé par liaison covalente sur un atome d'azote et un atome électronégatif comme l'oxygène : $R_2-N-H \dots O=C-R_2$.

⁶ Une lectine est une protéine qui a la capacité de fixer sélectivement des structures osidiques complexes : la lectine d'Ashwell (Récepteur de Gilbert Ashwell) à la surface des hépatocytes (cellules du foie) fixe les glycoprotéines renfermant des structures osidiques complexes contenant des acides sialiques. La lectine du virus de la grippe est à l'origine de la fixation spécifique du virus sur les cellules épithéliales dont les glycoprotéines ont des structures oligosidiques spécifiques d'espèces. La

concentration à demi saturation c'est-à-dire lorsque statistiquement 50 pour cent des molécules ont leur site de fixation occupé par un partenaire (le ligand).

Voici quelques exemples d'affinité :

- les interactions entre une enzyme et son substrat sont relativement faibles : concentration millimolaire, affinité de l'ordre de 1 000 Litres par mole (1000 L/Mole)

- le goût sucré n'est détectable que si la concentration en saccharose est égale ou supérieure à 3,4 g de sucre par litre ; c'est-à-dire environ 1/100 de mole par litre et l'affinité est donc 100 L/Mole.

Les récepteurs tels que les lectines⁶ (virales ou animales) vis-à-vis des glycoprotéines membranaires ont une affinité de l'ordre de 1 000 000 L/Mole.

Les anticorps à deux branches (IgG) fixent leur cible (les antigènes) avec une affinité relativement faible de l'ordre de 1 000 000 L/Mole, alors que les anticorps IgM à 10 branches ont une affinité de l'ordre de 1 000 000 000 L/Mole, le facteur 1 000 entre IgG et IgM s'explique par un phénomène connu sous le nom d'avidité⁷.

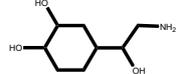
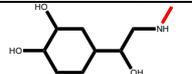
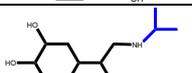
Les récepteurs d'hormones fixent leurs partenaires avec des affinités de l'ordre de 1 000 000 000 L/Mole.

La transferrine (transporteur du fer dans le sang) est un cas très exceptionnel puisque l'affinité est de l'ordre de 2 000 milliards de milliards de L/Mole.

La spécificité hormonale mesurée à demi-saturation varie de façon significative en fonction du type de récepteur pour une même hormone

definition du terme lectines a été précisée en 1980 : Goldstein IJ, Hughes RC, *Monsigny* M, Osawa T, Sharon N. *What should be called a lectin?* *Nature* 1980.285:66.

⁷ Les IgM avec leurs 10 sites de fixation ont statistiquement plus de chance de retenir leur cible qui pourra se lier successivement à l'un des 10 sites alors que les IgG avec seulement 2 sites s'éloigneront plus facilement de leur cible. La forte interaction des virus sur les cellules cibles est liée à ce phénomène d'avidité, car les protéines de la surface des virus sont nombreuses et elles interagissent avec les nombreux récepteurs de la surface des cellules cibles.

Hormone		Broncho-dilatation	Vasoconstriction d'un muscle lisse
		L/Mole	L/Mole
norépinéphrine		100 000	10 000 000
épinéphrine		1 000 000	10 000 000
isoprotérénol		10 000 000	5 000

Pour la bronchodilatation et la vasoconstriction d'un muscle lisse (muscle qui se contracte involontairement), les hormones : norépinéphrine, épinéphrine et isoprotérénol (qui ne diffèrent que par le substituant de l'azote) : respectivement -H, -CH₃, -CH(CH₃)₂ se fixent sur leurs récepteurs avec des affinités dans des rapports de 1 à 1 000. Les différences d'affinité montrent que non seulement la nature de la molécule est fondamentale mais la dose est également un élément de la plus grande importance.

Cette remarque vaut évidemment pour l'action des médicaments allopathiques⁸. Les médicaments sont prescrits à des doses précises de l'ordre du milligramme ou du gramme par jour : l'aspirine ou la pénicilline: quelques grammes, les statines environ 20 mg.

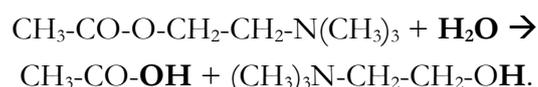
Par contre, dans le domaine de l'homéopathie les quantités prescrites sont infiniment plus faibles puisque on descend à des doses de l'ordre de quelques centaines de femtogrammes, c'est-à-dire du milliardième de milligramme : par exemple, le *Natrium muriaticum* (chlorure de sodium, sel de cuisine) est utilisé à une dilution de 9 CH (9 CH : 9^e dilution centésimale selon Hahnemann) soit d'un milliard de milliards de fois ; pour l'*Oscillococtinum*, recommandé contre les états grippaux, est à la dilution est 0,0000000000000000 ... 0001 (200 zéros après la virgule). C'est pourquoi les scientifiques et les médecins scientifiques ne considèrent pas les prescriptions homéopathiques comme des médicaments, car les doses sont tellement faibles

⁸ Un médicament allopathique est un médicament de la médecine moderne qui a fait la preuve d'une action thérapeutique, contrairement aux préparations

que le produit ne peut pas avoir d'activité. Pour essayer de contourner ce problème, Jacques Benveniste a inventé ce qu'il a appelé « la mémoire de l'eau » c'est-à-dire que même s'il n'y a plus de molécule de produit dans la pastille, le fait que l'eau ait vu la molécule dans son passé, l'eau aurait conservé la mémoire de cette molécule. Luc Montagnier (lauréat du prix Nobel avec Françoise Barré-Sinoussi pour leurs travaux sur le Sida) a repris cette idée en 2007. Cette théorie n'est cependant pas prise au sérieux par l'ensemble de communauté scientifique.

5- La catalyse enzymatique

Le mot catalyse signifie aide. Les enzymes sont des protéines. L'enzyme reconnaît de façon sélective une molécule que l'on appelle substrat. Le substrat se fixe avec une certaine affinité dans le site actif de la protéine formant un complexe enzyme-substrat. Les acides aminés du site actif vont permettre la modification du substrat, par exemple une hydrolyse, c'est-à-dire la coupure du substrat en deux morceaux par addition d'une molécule d'eau : hydrolyse de l'acétate par l'acétylcholine estérase :



Le lactose est une molécule contenant du galactose lié à du glucose : l'addition d'une molécule d'eau catalysée par une bêta-galactosidase permet de libérer le galactose d'une part et le glucose d'autre part. Les personnes qui n'ont pas de bêta-galactosidase active souffrent d'une intolérance au lactose puisqu'elles ne sont pas capables d'hydrolyser le lactose alors que ceux qui possèdent la bêta-galactosidase active récupèrent le galactose et le glucose : le galactose sera utilisé pour synthétiser d'autres molécules telles que des glycolipides ou des glycoprotéines ou sera converti en glucose pour être dégradé et donner de l'énergie.

homéopathiques qui elles n'ont pas fait la preuve de leur efficacité.

Le lysozyme⁹ des sécrétions (larmes, etc.) nous protège des bactéries : il se fixe de façon très sélective sur la paroi bactérienne. Il y a un site très large puisqu'il y a quatre oses avant la zone de coupures et deux oses après. Le site actif du lysozyme par rapport au lactose est beaucoup plus grand et donc confère une très grande spécificité. Le lysozyme comme son nom l'indique est une enzyme qui lyse la paroi bactérienne, ce qui induit la mort de la bactérie.

Un exemple de composé inhibiteur d'une enzyme est celui des statines. Les statines inhibent une enzyme (HMG-CoA réductase¹⁰) impliquée dans la synthèse du cholestérol et de divers autres lipides. Le début de cette synthèse utilise l'acétyl-Co-enzyme A, un produit de la dégradation oxydative du glucose, d'acides aminés ou encore de lipides (acides gras). Cette enzyme est inhibée par la statine et la chaîne de synthèse qui conduit au cholestérol est bloquée. Le cholestérol, dont l'organisme a besoin, est apporté à la fois par l'alimentation et par la synthèse dans les cellules de l'organisme. Donc, la prise de statine modifie la balance importation/synthèse. Cependant il faut réaliser que cette chaîne métabolique est aussi celle des isoprénoides : molécules impliquées dans la substitution des protéines par des éléments hydrophobes, ce qui permet à certaines protéines de s'associer aux membranes. C'est pourquoi pour lutter contre les sténoses (rétrécissement de la lumière des vaisseaux sanguins), il est recommandé de prendre des statines même si le taux de cholestérol sanguin n'est pas trop élevé.

Cette enzyme est aussi inhibée par le cholestérol ; chez les individus jouissant d'un métabolisme normal, la quantité de cholestérol de l'organisme est parfaitement régulée : en fonction de votre alimentation plus vous mangez d'aliments riches en cholestérol moins vous synthétisez de cholestérol.

Un autre exemple très intéressant est celui de la dihydrofolate réductase dont nous reparlerons : c'est une enzyme clé du transport des chaînons monocarbonés : le groupe méthyle, par exemple pour la régulation de l'expression des gènes. Cette enzyme catalyse la réduction de l'acide dihydrofolique en tétrahydrofolate : il y a une poche qui reçoit le substrat. Cette poche peut aussi être occupée par un inhibiteur utilisé comme agent anticancéreux. Le méthotrexate¹¹ ressemble très fort au substrat de l'enzyme : c'est un acide folique substitué. Le méthotrexate se fixe de façon remarquable dans le site actif de cette enzyme entraînant l'inhibition de son activité ; dans ces conditions, la cellule ne peut plus transférer les chaînons monocarbonés (méthyle, hydroxyméthyle, etc.) indispensables à sa survie, et donc la cellule meurt.

6- Les importations d'éléments extérieurs à l'intérieur de la cellule

La cellule dispose de plusieurs voies d'importation de composés : l'une d'elle est le passage par des portes particulières, ce qui permet de façon très sélective de faire passer des molécules. Certes des petites molécules hydrophobes peuvent se dissoudre dans la membrane et donc la traverser ; mais ce sont de toutes petites molécules dont la caractéristique principale est qu'elles n'aiment pas l'eau. Par contre, la molécule d'eau, elle-même, ne peut pas traverser la membrane ; sauf au travers une protéine : **l'aquaporine** qui est une protéine transmembranaire agissant comme une porte permettant le passage sélectif de molécules d'eau.

Il y a des canaux ioniques qui s'ouvrent ou se ferment selon les besoins de la cellule. Le canal ionique qui permet l'endocytose du glucose est un cas particulier : le glucose entre de concert avec un ion sodium dans les cellules de l'intestin. Seul il ne passe pas, le sodium seul ne passe pas

⁹ Le lysozyme est une enzyme qui hydrolyse certaines macromolécules de la paroi bactérienne, ce qui rend la paroi perméable et provoque la mort de la bactérie. Une hydrolyse correspond à la coupure d'une molécule par addition d'une molécule d'eau : le sucre (saccharose, MM : 342) est hydrolysé par addition d'une molécule d'eau

(MM : 18) en donnant une molécule de fructose (MM : 180) et une molécule de glucose (MM : 180).

¹⁰ HMG-CoA réductase : hydroxyméthyl-glutaryl-Co-enzyme A réductase

¹¹ Le méthotrexate est essentiellement actif sur les cellules en cours de division, d'où son intérêt pour ralentir la multiplication des cellules cancéreuses.

non plus mais le complexe glucose + sodium est efficace. Le sodium se concentre à l'intérieur de la cellule ce qui n'est pas souhaitable. Fort heureusement, il y a une autre porte qui permet d'éliminer le sodium intracellulaire et de faire entrer le potassium ; nous avons là un exemple remarquable du passage sélectif d'ions dans la cellule : mécanisme qui permet à la cellule de maintenir une concentration en potassium à l'intérieur de la cellule 10 fois plus élevée qu'à l'extérieur et à l'inverse, la concentration en sodium à l'intérieur des cellules est 10 fois moindre qu'à l'extérieur.

Cependant cette pompe, qui lutte contre l'égalisation spontanée (phénomène entropique¹² classique) des concentrations en potassium K^+ et en sodium Na^+ de part et d'autre de la membrane, rejette le sodium à l'extérieur et de récupère du potassium, a besoin d'énergie, énergie apportée par l'ATP.

L'incorporation de macromolécules (endocytose ou passage d'une molécule de l'extérieur à l'intérieur de la cellule) utilise un autre phénomène : c'est la membrane périphérique qui se replie sur elle-même pour former une vésicule et la vésicule (appelée : « endosome ») va se déplacer à l'intérieur de la cellule vers des lysosomes (autres vésicules intracellulaires) pour permettre la dégradation du matériel importé. Dans d'autres cas, il y a transfert du matériel endocyté vers d'autres organelles (appareils de Golgi, réticulum endoplasmique). Inversement, un mécanisme similaire en sens opposé permet d'exporter des molécules vers l'extérieur : le réticulum endoplasmique (une organelle constituée de membranes constellées de ribosomes) permet la synthèse des protéines. Le réticulum endoplasmique fabrique des vésicules et les vésicules vont fusionner avec d'autres

membranes pour former l'appareil de Golgi. Des vésicules formées dans le Golgi vont revenir à la surface de la cellule et fusionner avec la membrane plasmique pour sécréter les molécules nouvellement synthétisées à l'extérieur de la cellule.

7- L'acidité différentielle de l'intérieur des vésicules et son importance.

Les compartiments sont plus ou moins acides : la périphérie de la cellule est à pH 7,4 ; les lysosomes à pH 4,5 et les endosomes aux alentours de pH 5,5.

Le cas de la transferrine

La transferrine est une protéine sérique (soluble dans le sang) qui transporte le fer ferrique (Fe^{3+}). Elle est formée par une chaîne peptidique unique repliée en deux lobes. La protéine dépourvue de fer (l'apo-transferrine) fixe un atome de fer par lobe : à pH 7,4, l'affinité est extrêmement élevée, de l'ordre de 10^{21} L/mol, c'est-à-dire cent milliards de milliards de L/mol : la transferrine chargée de deux atomes de fer est appelée holo-transferrine. L'holo-transferrine se fixe avec une très forte affinité sur un récepteur spécifique à la surface des cellules (Figure 6) Le complexe récepteur-holo-transferrine est internalisé (entraîné) à l'intérieur sous forme d'une vésicule (un endosome primaire). L'endosome concentre des protons H^+ et son contenu devient acide¹³ (pH 5,5) : en conséquence, le fer va se libérer et être transféré dans le cytosol. L'apo-transferrine toujours associée au transporteur à l'intérieur de la vésicule retourne vers la surface et l'endosome fusionne avec la membrane périphérique. Le complexe se retrouve à pH neutre (7,4) à la surface de la cellule : en surface, l'apo-transferrine quitte alors son récepteur parce qu'à

¹² L'entropie est une propriété thermodynamique qui est en rapport avec la qualité de l'énergie. Par exemple, comparons l'entropie de 2 verres contenant chacun 100 mL d'eau à des températures différentes (l'un de l'eau à 80 °C et l'autre de l'eau à 20°C) et 2 verres d'eau contenant chacun 100 mL d'eau à 40°C : en passant du premier cas de figure (80°C et 20°C) au deuxième cas (40°C et 40°C) l'entropie a augmenté, c'est-à-dire que la situation s'est dégradée. Dans le premier cas, il est possible de récupérer de l'énergie en jouant sur la différence d'énergie de l'eau

des 2 verres, dans le second cas, il n'y a pas de différence d'énergie, il n'y a donc rien à récupérer.

¹³ A pH 7 (neutre), une solution contient 10^{-7} mole/L (ou 10^{-7} M) en protons. Une solution acide contient une concentration plus grande de protons, une solution basique contient une concentration plus faible de protons. Le vinaigre par exemple (de l'acide acétique : environ 0,1 mole par L) a un pH voisin de 3 c'est à dire qu'il y a 10 000 fois plus de protons (10^{-3} M) que dans l'eau pure (neutre).

ce pH les deux partenaires n'ont plus d'affinité. Un nouveau cycle peut recommencer. Le fer dans la cellule est mis en réserve dans une molécule appelée : ferritine et est utilisé pour synthétiser l'hémoglobine (l'hémoglobine, avec

Si le muscle n'est pas suffisamment oxygéné, le pyruvate peut-être réduit en lactate, lequel sera conservé jusqu'au moment où le muscle sera suffisamment oxygéné, alors le lactate sera oxydé en pyruvate. Le pyruvate peut aussi être transformé en alanine, l'un des 20 acides aminés

constituant les protéines. L'alanine, en perdant son groupement amine (sous l'effet d'une transaminase) redonne du pyruvate ; l'amine libérée est éliminée sous forme d'urée.

En ce qui concerne la production d'énergie, elle passe par l'oxydation et nous allons voir par quel mécanisme cette oxydation va permettre la synthèse de nombreuses molécules d'ATP. La molécule d'ATP fait partie des molécules qui ont des liaisons riches en énergie c'est-à-dire des liaisons susceptibles de réagir en libérant de l'énergie et ainsi de permettre la synthèse d'autres molécules.

La dégradation des molécules s'effectue dans la mitochondrie (Figure 8) : la mitochondrie est une organelle cellulaire très complexe ; elle contient des protéines produites dans la mitochondrie à partir de l'ADN mitochondrial, et des protéines produites par l'ADN nucléaire qui sont importées. La mitochondrie possède un système de double membrane qui permet de faire des échanges de protons, c'est grâce à ces membranes que la synthèse de l'ATP peut avoir lieu.

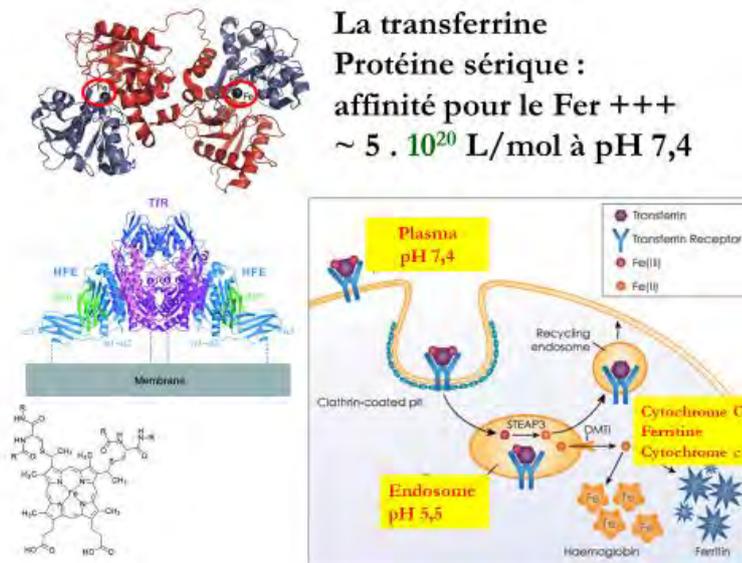


Figure 6. la transferrine avec ses deux lobes contenant chacun un atome de fer (entouré en rouge) se lie à son récepteur et l'ensemble va pouvoir migrer sous forme d'endosomes à l'intérieur de la cellule.

quatre atomes de fer, protéine qui transporte le di-oxygène O_2 et le CO_2), le cytochrome C (protéine clé dans l'oxydation des transporteurs d'hydrogène, voir plus loin), dans les hépatocytes et dans de nombreux types de cellules, etc.

5- Les Molécules riches en énergie

Le glucose dans le muscle est utilisé pour fournir de l'énergie ; il est dégradé en pyruvate

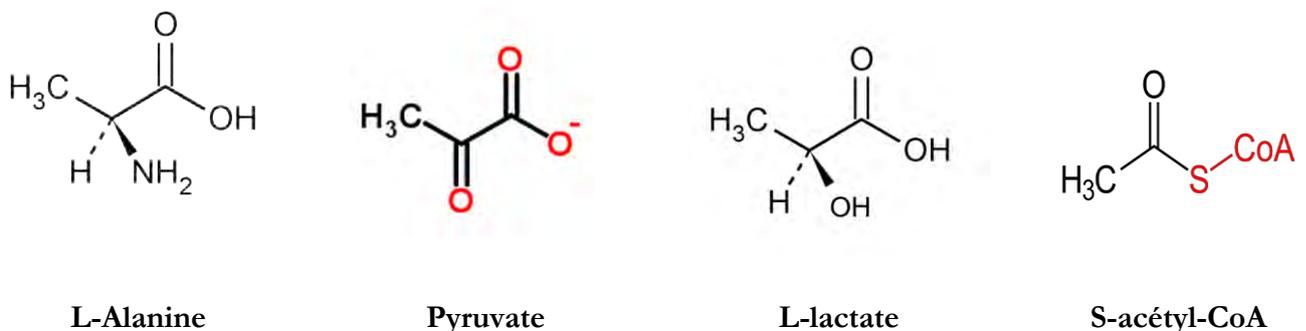


Figure 7. Structure des principales molécules liées au métabolisme du glucose (Figure 7), lequel sera ensuite dégradé en libérant du gaz carbonique CO_2 , de l'eau et de l'énergie.

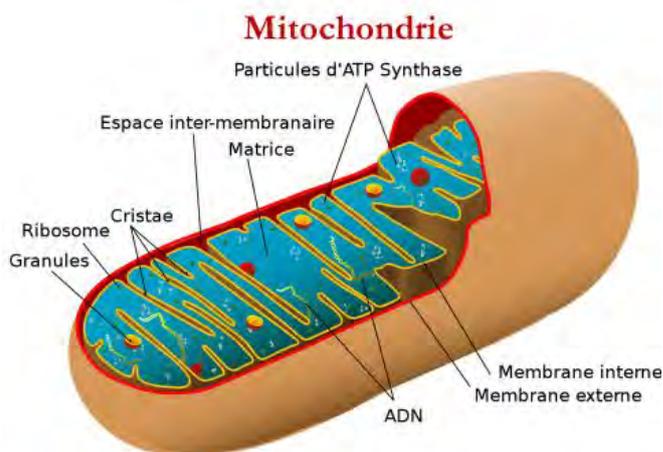


Figure 8. Schéma en coupe d'une mitochondrie

Le glucose est la molécule clé qui procure l'énergie à de nombreuses cellules, aux neurones (en particulier) ; c'est en effet l'aliment essentiel des cellules (neurones, cellules gliales, ...) de notre système nerveux. Le glucose est une molécule à six carbones présente dans le sucre bien sûr, mais aussi dans tous les féculents. Le glucose est oxydé progressivement en de multiples étapes (Figure 9) : dans un premier temps, le glucose est transformé en 2 molécules de pyruvate : le pyruvate est une molécule à trois atomes de carbone : un groupement carboxylique, une cétone et un groupement méthyle. Le passage du glucose au pyruvate se fait en une dizaine d'étapes donc avec une

	Molécules (nombre)	N enzymes	
Glucose C6	1 à 6 carbones		
↓	→	10	2 Pyruvates
2 Pyruvates en C3	2 à 3 carbones	1	2 L-lactates ou 2 L-Alanines
↓	→	1	2 CO ₂
2 Acétyl-CoA en C2	2 à 2 carbones		
↓	→	10	4 CO ₂

Figure 9. Modalités de dégradation d'une molécule de glucose avec le nombre d'enzymes impliquées à chaque étape.

dizaine d'enzymes différentes à petits pas successifs. Ceci permet de passer d'un composé à six atomes de carbone à deux composés à trois atomes de carbone. Il va y avoir libération de CO₂ à l'étape suivante : le passage du pyruvate à l'acétyl Co-enzyme A permet de libérer une première molécule de gaz carbonique CO₂ ; l'acétyl Co-enzyme A va ensuite entrer dans le cycle Krebs qui, en une dizaine d'étapes, va permettre de libérer les deux autres CO₂.

Il est à noter que le métabolisme peut changer d'un organe à l'autre (Figure 10) : par exemple dans le muscle le glucose est utilisé pour fabriquer du pyruvate et le pyruvate va être dégradé comme nous venons de le voir.

Dans le foie, le glucose sera mis en réserve sous forme de glycogène (un polymère du glucose, une sorte d'amidon). L'ensemble des molécules du vivant sont susceptibles d'être dégradées : les acides aminés des protéines, les acides gras des lipides, les sucres du saccharose ou des féculents, l'éthanol des boissons alcoolisées ... via le pyruvate et/ou l'acétyl-Co-enzyme A : ce sont donc des composés énergétiques.

Comment se produit l'oxydation ?

Pour satisfaire le besoin en énergie de la cellule, les molécules simples : (oses, acides aminés, acides gras, etc.) doivent être oxydés en libérant de l'énergie et de l'eau H₂O et du dioxyde de carbone CO₂. L'oxydation ne se passe pas (au niveau des molécules dont on vient de parler) par addition directe d'oxygène ; ceci est réservé aux étapes ultimes de la dégradation. Le groupement acétyle est transféré sur une molécule d'oxaloacétate (CO₂-CO-CH₂-CO₂). Pour produire une molécule de citrate. Le citrate est progressivement oxydé (Figure 11) pour donner du fumarate (acide fumarique). La double liaison du fumarate va d'abord être

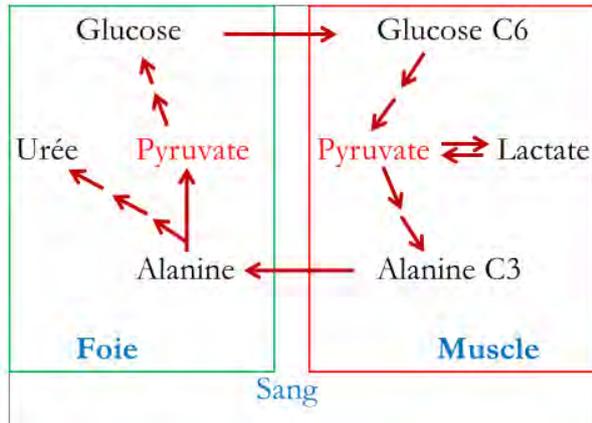


Figure 10. Conversion de molécules clé du métabolisme en fonction de la nature de l'organe (foie ou muscle) via le sang.



Figure 11. Un exemple d'oxydation des composés clés du cycle de Krebs ou cycle tricarboxylique ou cycle du citrate.

hydratée, c'est-à-dire, qu'une molécule d'eau H_2O sera ajoutée par une enzyme spécifique. Cette molécule d'eau va se retrouver en partie sous forme du groupe OH (alcool) sur un carbone et le deuxième (H) hydrogène se fixe sur l'autre carbone : $-CH=CH- \rightarrow -CH_2-CH_2OH-$; donc la double liaison disparaît au profit d'un alcool. L'alcool va à son tour être oxydé : l'oxydation de cet alcool se produit en éliminant l'hydrogène lié au carbone et l'hydrogène lié à l'oxygène ; les deux hydrogènes sont pris en charge par un transporteur d'hydrogène (le NAD) qui est réduit en $NADH, H^+$. Nous avons effectivement eu une oxydation de la double

liaison puisque nous sommes passés d'une double liaison à un alcool puis à une cétone passant de $-CH=CH-$ à $-CH_2-CO-$. Le transporteur $NADH, H^+$ va être oxydé au contact du cytochrome C pour libérer les deux hydrogènes qui vont être oxydés par le dioxygène pour libérer de l'eau H_2O : c'est à ce niveau seulement que l'oxygène intervient, dans la mitochondrie

L'ATP (adénosine triphosphate) est une molécule clé puisqu'elle est utilisée pratiquement dans toutes les réactions de synthèse de molécules simples ou complexes telles que les macromolécules (grosses molécules comme les protéines, les acides nucléiques, les polysides ...). L'ATP possède des liaisons riches en énergie, en particulier la liaison entre le phosphate extérieur et le phosphate intermédiaire. L'ATP réagit sur un alcool pour donner naissance à un ester phosphate : c'est le cas de la première étape de dégradation du glucose : le glucose est transformé en Glucose-6-phosphate et l'ATP en ADP, adénosine diphosphate.

L'ADP recevra un nouveau phosphate et sera transformé en ATP. L'ATP permet la synthèse de la plupart des molécules et en particulier du donneur de méthyle : l'addition d'un groupement méthyle sur les bases nucléiques de l'ADN ou sur les lysines des histones (protéines associées à l'ADN dans la chromatine) est très importante en particulier dans la régulation de l'expression des gènes. La réaction est relativement simple : il s'agit de l'un des vingt acides aminés : la méthionine qui a la particularité de contenir un atome de soufre : l'ATP fixe l'adénosyl directement sur le soufre de la méthionine en formant la S-adénosyl-méthionine et en libérant un groupement phosphate et un groupement diphosphate.

La liaison S-méthyle de l'adénosyl-méthionine est riche en énergie et permet le transfert du groupement méthyle soit sur une base nucléique de l'ADN soit sur un acide aminé

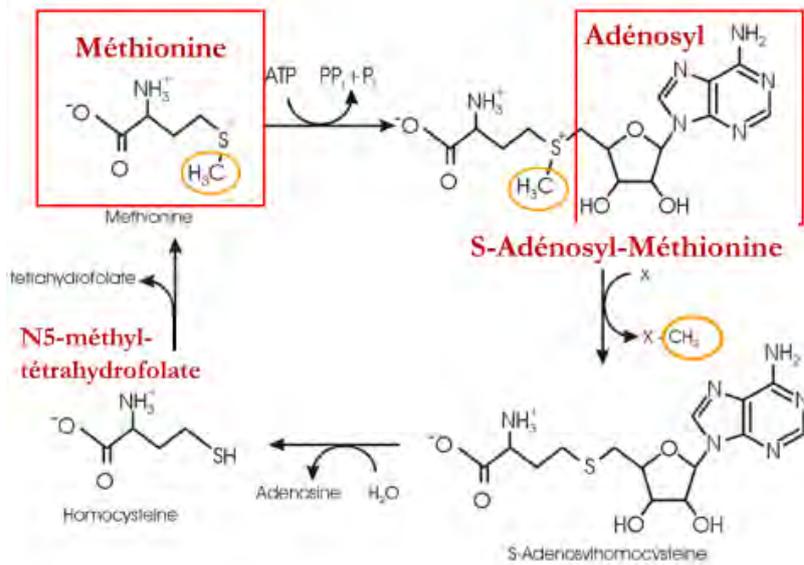


Figure 12. Synthèse de la S-adenosyl-méthionine, donneur du groupement méthyle à la base de processus de régulation de l'expression des gènes (épigénétique).

Grâce au gradient de concentration des protons (concentration élevée dans le compartiment bas), l'enzyme : l'ATP-synthase, (Figure 13) trouve l'énergie pour souder un ion phosphate à une molécule d'ADP (adénosyl diphosphate) pour former l'ATP (l'adénosyl triphosphate). Comme nous l'avons vu, la dégradation d'une molécule de glucose libère de nombreux hydrogènes (provenant entre autres de l'oxydation des $-CH_2-CHOH-$ par extraction d'hydrogène) qui sont utilisés pour alimenter le compartiment mitochondrial en protons. Les nombreuses étapes sont indispensables pour libérer l'énergie sous forme de petites quantités à la fois.

d'une histone¹⁴. Ayant donné le groupe méthyle, la S-adenosyl-méthionine (Figure 12) est devenue l'homocystéyl-adénosine qui va être dégradée en homocystéine et en adénosine ; cette dernière sera utilisée pour donner une nouvelle molécule d'ATP, l'homocystéine sera convertie en méthionine.

Le récepteur du $NADH, H^+$ est dans la mitochondrie : le $NADH, H^+$ libère ses 2 hydrogènes sous forme de protons dans un compartiment intérieur ce qui est à la base de l'acidité de ce comportement. C'est à ce niveau que les hydrogènes rencontrent l'oxygène pour produire l'eau H_2O grâce à une enzyme : la cytochrome C oxydase. Le bilan est donc 1 Glucose : $C_6H_{12}O_6$ donne 6 CO_2 et 6 H_2O en consommant 6 dioxygènes : 6 O_2 .

La synthèse d'ATP : l'ATP-synthase en action.

La synthèse des macromolécules ...

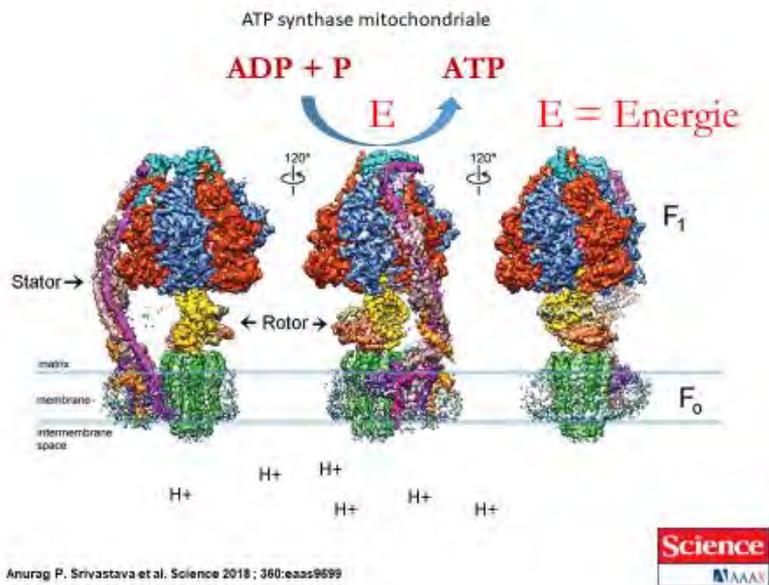


Figure 13. Mécanisme de production de l'ATP par l'ATP synthase mitochondriale (A.P. Srivastava *et al.* Science 2018 ; 360:eaas9699)

¹⁴ Les histones sont des protéines associées à l'ADN dans le noyau, elles sont à la base de la

structure en nucléosomes : un noyau d'histones encerclé par 2 tours d'ADN.

L'ADN du noyau est traduit en ARN messenger. Les ARN messagers quittent le noyau et sont utilisés dans le réticulum endoplasmique ou dans le cytosol. Chaque ARN messenger¹⁵ donne les informations (trinucléotides par trinucleotides) pour la synthèse de la protéine correspondante en utilisant les ARN de transfert chargés chacun selon sa spécificité de l'un des 20 acides aminés composant une protéine. La liaison entre l'ARN de transfert et l'acide aminé est une liaison riche en énergie : le groupe carboxylique de l'acide aminé lié au groupe phosphate terminal de l'ARN de transfert : NH₃⁺-CHR-CO-O-PO₂-O-ARN : liaison anhydride entre la fonction acide (carboxylique) de l'acide aminé et la fonction acide terminale (phosphoryle) de l'ARN. Le groupement carboxylique de l'acide aminé ainsi activé réagit avec le groupement amine du dernier acide aminé qui a été incorporé dans la protéine en cours de synthèse.

... et sa régulation

Les mécanismes de régulation appelés mécanismes épigénétiques sont très chimiques. Ce ne sont pas les gènes qui sont modifiés dans leur séquence, ce qui change c'est la modulation de leur capacité à être exprimés. Il faut se souvenir que l'ADN de chaque cellule a la capacité de synthétiser plus de 25 000 protéines. L'homme dispose de 220 types cellulaires : chaque type cellulaire n'utilise qu'une partie des gènes de son noyau parce qu'il y a des mécanismes de régulation épigénétique (Figure 14). Les mécanismes de régulation épigénétique reposent sur des réactions chimiques « simples ». Certaines parties de l'ADN sont méthylées à l'aide de la S-Adénosyl-méthionine. Le méthyle se fixe sur des séquences d'ADN très particulières, ce qui a pour effet d'interdire l'expression du gène correspondant. En outre, le méthyle se fixe aussi sur des histones,

protéines qui entourent l'ADN (le complexe ADN histones forme des structures appelées : nucléosomes).

Les nucléosomes sont compacts et doivent s'ouvrir pour permettre aux enzymes (ARN polymérase) de lire le gène et de synthétiser les ARN messagers. Lorsque l'ADN est méthylé et que les histones sont également méthylées les nucléosomes ne se déplient plus et la synthèse de l'ARN correspondant est impossible. Dans une paire de bases guanine-cytosine : l'un des atomes de carbone peut-être méthylé, ce qui donne la méthyl- cytosine. Les modifications chimiques, évoquées ci-dessus, produisent de signaux de reconnaissance pour des protéines spécialisées qui se fixent sélectivement sur les zones méthylées, cadennassant le gène sous-jacent.

6- La thérapie génique

La thérapie génique utilise des vecteurs viraux ou des vecteurs macromoléculaires ; je me contenterai de donner quelques indications sur

Gènes exprimés	Gènes silencieux
Acétylation des histones Acétyl-CoA	Désacétylation Acétylase
Déméthylation des histones Déméthylase	Méthylation (méthyl transférase + Méthyl TH-folate)



Figure 14. Mécanismes fondamentaux de la modulation de l'expression des gènes par méthylation et/ou acétylation

¹⁵ Les acides nucléiques sont composés de 4 nucléotides différant par leur base nucléique. Les ADN contiennent du désoxyribose lié à l'une des bases : ATGC. Les ARN contiennent du ribose lié à l'une des 4 bases AUGC. Les

codons correspondent à des trinucleotides : il y a donc 64 codons : 4³ ou 4 fois 4 fois 4. Les acides aminés correspondent à l'un des codons.

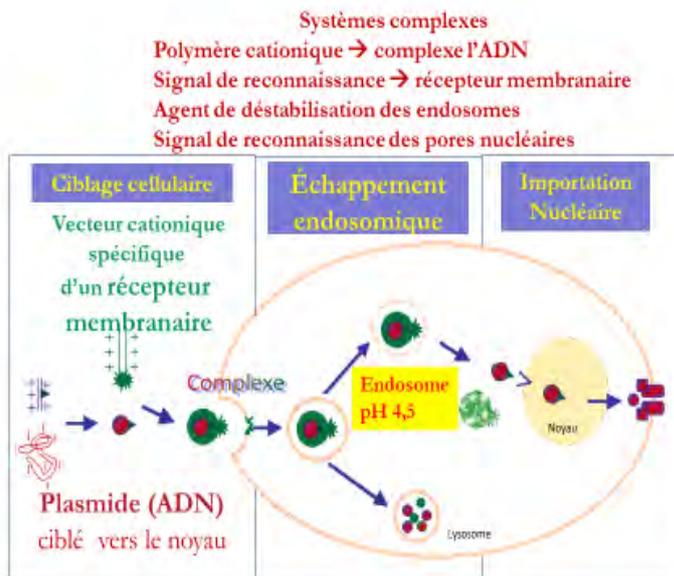


Figure 15. Schéma de la stratégie d'introduction de gènes dans la cellule en utilisant des macromolécules de transport

les vecteurs macromoléculaires (Figure 15) : ces vecteurs imitent certaines propriétés fondamentales des virus. L'ADN (qui est acide) contenant le gène à transférer doit être complexé à des macromolécules cationiques pour former des particules imitant un virus. En outre, les macromolécules permettent d'ajouter des signaux de reconnaissance pour conférer une sélectivité vis à vis des cellules et pour rendre plus efficaces la fixation à la surface des cellules cibles. Il faut en outre favoriser l'internalisation de la particule et la protéger des lysosomes qui sont des vésicules intracellulaires chargées de dégrader les macromolécules. Idéalement, la particule doit être libérée dans le cytosol pour lui permettre de rejoindre le noyau. Pour faciliter la pénétration dans le noyau il convient d'ajouter en outre des signaux spécifiques des pores nucléaires.

Depuis une vingtaine d'années de nombreuses équipes travaillent assidument sur chacune des étapes clés pour améliorer l'efficacité du

transfert de gènes : on peut constater de très grands progrès par rapport au système que l'on utilisait il y a 25 ans : l'efficacité a fait un bond de l'ordre de plusieurs millions même si ce n'est pas encore du niveau de l'efficacité obtenue avec des vecteurs viraux, les équipes s'en approchent.

La correction ultra spécifique de gènes défectueux

Il s'agit de la capacité que l'on a aujourd'hui de modifier un gène de façon très précise, voire de détruire un gène ou mieux de le remplacer : c'est le système bactérien (Figure 16) que l'on appelle CRISPR (crispeur), c'est un système de reconnaissance de l'ADN par un ARN particulier : « l'ARN guide » ce qui permet de reconnaître de façon sélective un point précis dans le génome de l'intéressé donc parmi les 3 milliards

de paires de base. Ce système permet de manipuler, de corriger, de modifier une séquence d'ADN : segment d'ADN unique dans notre génome. Ce système est très efficace et a déjà été appliqué sur des cellules embryonnaires. Chaque cellule embryonnaire (dite totipotente) peut donner un organisme entier. Des cellules

Crspir : *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*

Groupes de répétitions palindromiques courtes régulièrement espacées

Cas 9 : Enzyme qui hydrolyse l'ADN

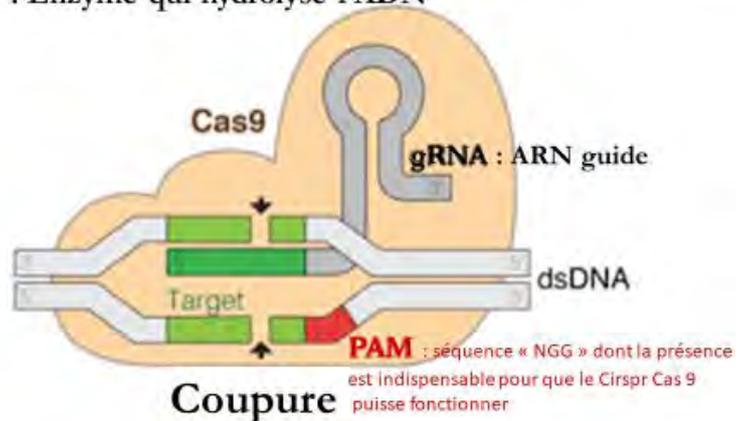


Figure 16. Schéma simplifié du fonctionnement de CRISPR Cas9, l'ARN guide reconnaît de façon quasi absolue une séquence de l'ADN appartenant au gène à corriger et seulement à ce gène.

embryonnaires totipotentes de primates ont été traitées à l'aide du CRISPR et ont donné naissance à cinq primates, résultats publiés en 2014. Les jeunes singes sont en parfaite santé. Cette expérience avait pour but de corriger un défaut génétique.

sont donc guéries. Cette expérience montre qu'il est envisageable, dans un avenir proche, de guérir les humains souffrant de l'hémophilie B en utilisant des cellules du sang du patient pour les transformer en hépatocytes transgéniques avant de les injecter au même patient.

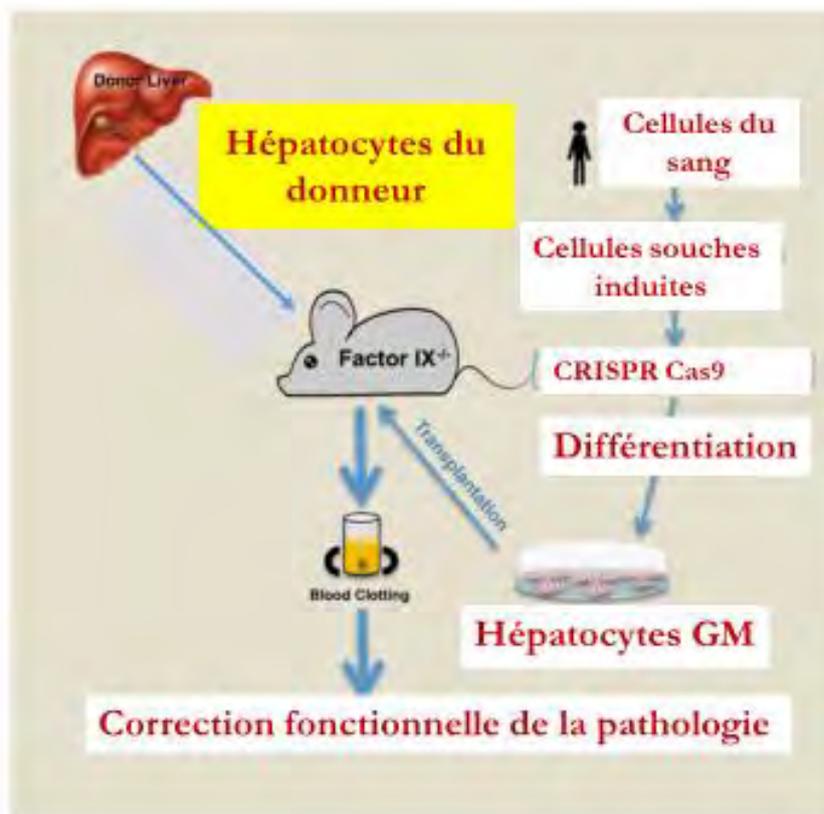


Figure 17. La faisabilité de la thérapie cellulaire autologue dans le traitement de l'hémophilie B. Ramaswamy S. *et al.* 2018, Cell Reports 23, 1565-80

Une expérience encore plus récente publiée en 2018 (Figure 17) montre qu'avec CRISPR-Cas9, il est possible de corriger l'hémophilie B¹⁶. Les auteurs ont utilisé des cellules souches induites à partir des cellules du sang périphérique d'un patient et ont utilisé le CRISPR Cas9 pour corriger le gène déficient du facteur IX. Ces cellules ont été différenciées en cellules souches ; puis les cellules souches ont été à leur tour différenciées en hépatocytes (cellules constitutives du foie). Ces hépatocytes génétiquement modifiés ont été injectés à des souris déficientes en facteur IX. Les souris traitées expriment un facteur IX fonctionnel et

En conclusion, ce tour d'horizon avait pour but de montrer quelques-unes des réactions chimiques qui permettent aux cellules de remplir leurs fonctions. Clairement, les cellules sont de véritables usines ultra miniaturisées qui utilisent des mécanismes bien connus des chimistes. Ainsi, on peut soutenir que dans la cellule tout est chimie.

Remerciements

Daniel Locker (professeur honoraire des Universités), et Annie-Claude Roche (directeur de recherche honoraire, Inserm) ont lu et corrigé cette communication, en ce qui concerne le fond et la forme, je leur en suis très reconnaissant.

Michel Monsigny

Professeur honoraire de biochimie,
CNRS et Université d'Orléans,
Membre titulaire de l'Académie

Communication du lundi 28 mai 2018

¹⁶ L'hémophilie B est une pathologie du sang due à une mutation d'un gène de coagulation : le facteur IX ; cette

mutation entraîne une inactivité de la protéine correspondante ce qui inhibe le processus de coagulation

La chimie des sucres

Olivier MARTIN¹

Les sucres sont des constituants essentiels des organismes vivants. Si leur contribution à la rigidité de matériaux tels que le bois ou la carapace des crustacés est connue depuis longtemps, de même que leur rôle comme source d'énergie pour l'alimentation humaine, leur implication comme marqueurs antigéniques dans les phénomènes de reconnaissance en biologie a été mis en évidence plus récemment.

Les bases de la structure des monosaccharides et de la formation de liaisons glycosidiques seront exposées de façon simplifiée afin que les auditeurs comprennent l'origine de l'immense richesse des structures glycanniques qui existent dans la Nature, et la diversité moléculaire qui peut être générée en combinant des unités saccharidiques, qui forme la base d'un 'Glycocode'.

Les grandes classes de composés glycanniques seront décrites en soulignant leur importance en biologie, mais aussi pour le développement durable: sucres libres, oligosaccharides, homopolysaccharides (cellulose, amidon, chitine), hétéro-polysaccharides (héparine par exemple), et glycoconjugués.

Des exemples de glycannes porteurs d'information seront donnés avec comme illustration les antigènes caractérisant les groupes sanguins.

Avec les acides aminés et les nucléotides, les sucres (monosaccharides) forment le troisième alphabet de la vie, et leur étude ne doit pas être négligée malgré que le domaine des glycoconjugués ait la réputation d'être bien plus complexe que celui des protéines et des acides nucléiques!

Références

- Lehmann J., *Carbohydrates: Structure and Biology*, Thieme 1998
 Gabius H.J., *The Sugar Code. Fundamentals of GlycoSciences*, Wiley-VCH, 2009

¹ Professeur de chimie, Université d'Orléans

Art et Chimie

Jean-Yves Mérour



Introduction

Les premiers hommes-artistes ont employé des techniques empiriques pour utiliser les oxydes de fer dans l'art pariétal; les peintres de la Renaissance, mettent en œuvre lors de leurs créations les connaissances scientifiques de leur époque. A Paris fin 17^{ème} le Louvre abrite l'académie des sciences et les artistes. Au 19^{ème} siècle la chimie se développe; ainsi Chaptal publie dès 1807 un ouvrage intitulé *la chimie appliquée aux arts*. Chevreul a décrit les contrastes des couleurs dans son *Mémoire sur l'influence que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre quand on les voit simultanément*, présenté en 1828 à l'Académie des Sciences. Pasteur délivre en 1860 à l'école des beaux-arts, nouvellement créée, un cours sur la lumière et les couleurs ainsi que sur le vieillissement des vernis. Les peintres suivent les lois de la physique (théorie de la couleur). Une grande découverte scientifique fut celle des rayons X par Roentgen en 1895; il était désormais possible de voir l'invisible.

Ce fut un signal pour la création des laboratoires des différents musées nationaux tels Londres en 1916 et Paris plus tardivement en 1931. Désormais, toute œuvre d'art allait être soumise à un certain nombre d'analyses scientifiques dont le but est de faire un constat sur l'état de conservation de l'œuvre, ses

restaurations éventuelles et d'apporter des informations sur l'artiste (technique picturale, choix des pigments, etc.)^{1,2,3,4}

Une expérience menée au musée du Louvre sur le tableau *l'Enfant en prière* du Maître de Moulins en décembre 1920, par le docteur André Chéron, démontre l'intérêt des rayons X pour la connaissance et la restauration des œuvres d'art ; un compte-rendu en est fait à l'Académie des sciences le 3 janvier 1921.



Fig. 1 - Suzanne de Bourbon dit aussi Enfant en prière Jean Hey, vers 1492-1493, Paris, musée du Louvre, département des peintures© C2RMF

L'analyse scientifique des œuvres d'arts a différents objectifs qui ont tous en commun de mieux connaître l'œuvre afin de mieux la conserver. Ainsi de façon non exhaustive quelques points sont indiqués ci-dessous: ⁵

- connaître la technique de l'artiste :
 - Mise en évidence de dessins préparatoires.
 - Évolution de ses intentions : repentirs, retouches.
 - Caractérisation des différents matériaux utilisés (provenance, composition)
- comprendre les techniques artistiques et redécouvrir les savoir-faire de l'époque.
- authentifier et attribuer l'œuvre à un artiste.
 - Signature
 - Datation du support (toile, bois, papier,...)
 - évaluer l'état de conservation
 - restaurations antérieures.

Composition stratigraphique d'un tableau :

Le support : bois ou toile parfois en cuivre (Flandres). L'essence du bois est parfois liée à la provenance de l'œuvre; les italiens peignent sur peuplier, les flamands sur chêne, les français sur chêne ou noyer, les espagnols sur pin sylvestre. Le bois est utilisé jusqu'à la fin du 15^e siècle avec un regain de faveur à la fin du 18^e siècle et au 19^e.

La toile est d'un usage important dès le 16^e.siècle. Les toiles fines sont en lin puis en chanvre puis en coton. Gauguin a peint sur des toiles de jute (toiles à sac). Tendue sur des planches pleines puis sur un châssis, la toile est encollée à la colle de peau (la colle de peau est une gélatine thixotrope fabriquée à partir de peau de lapin) qui protège la cellulose de son oxydation par l'air.

La couche de préparation : C'est une couche de peinture plus ou moins épaisse posée sur le support pour en régulariser l'état de surface et le rendre apte à recevoir la couche de couleurs. Elle est blanche, à la colle de peau chez les Primitifs, craie ou gypse selon les pays; au 16^{ème} siècle, une 2nde couche blanche (blanc de plomb à l'huile) est ajoutée pour accentuer la réflexion de la lumière. Aux 17 et 18^{ème} siècles

elle est à l'huile colorée en brun ou rouge puis au 19^{ème} siècle elle redevient blanche à l'huile.

On utilise le blanc de plomb, l'oxyde de zinc ou l'oxyde de titane pour cette préparation.

- *le blanc de plomb* employé depuis l'antiquité comme pigment blanc. 2PbCO_3 , $\text{Pb}(\text{OH})_2$

le carbonate naturel peu utilisé comme tel mais préparé dans les ateliers de peintre à partir de feuilles de plomb et de vinaigre en présence de chaleur et de CO_2 (décomposition de fumier). Il a l'avantage de s'associer avec de nombreux liants (huile ou œuf); il possède un indice de réfraction élevé et un grand pouvoir couvrant; peu affecté par la lumière dans les tableaux protégés par des vernis ce qui n'est pas le cas des aquarelles où la présence d' H_2S dans l'air entraîne un noircissement. En radiographie X le plomb est un atome lourd donc on aura des zones claires sur les clichés.⁶

Le blanc de zinc ZnO est dans la nature un minerai rouge (présence de Manganèse).

Purifié il est blanc et ne sera employé qu'à partir de 1830. Le blanc de zinc présente un indice de réfraction comparable à celui du blanc de plomb mais son pouvoir couvrant est moins bon. Ceci s'explique par le fait que le blanc de zinc demande une plus grande quantité d'huile que le blanc de plomb. L'oxyde de zinc offre donc une concentration de pigment inférieure dans la matière picturale.

Sous l'action des polluants industriels, le blanc de zinc se transforme en sulfure. Ce changement à une influence négligeable sur la couleur, contrairement au blanc de plomb, puisque le sulfure de zinc est blanc également. Dans une peinture, la présence de blanc de zinc peut être mise en évidence par ultraviolet (UV) qui provoque une fluorescence jaune du pigment. Une autre caractéristique du blanc de zinc est que son coefficient d'absorption des rayons X est environ deux fois moins important que celui du blanc de plomb. Pour des couches d'épaisseurs identiques, le blanc de zinc donnera une image radiographique faible et apparaîtra

donc plus sombre que le blanc de plomb. Ceci est très utile dans la détection de faux en permettant de situer la période d'exécution d'une œuvre.

Des tableaux attribués à des maîtres du 15^{ème} ou 16^{ème} siècle se révélèrent parfois être d'une exécution récente. La présence de zinc permit de les dater postérieurement à 1830.

- *Le dioxyde de titane (TiO₂).*

Il faut attendre le début du 20^{ème} siècle pour l'utilisation de cet oxyde comme pigment blanc. Deux formes *Anatase* 1918 et *Rutile* 1941 existent. Il possède un indice de réfraction le plus élevé de tous les pigments blancs avec un pouvoir couvrant très grand. Il peut être utilisé avec des liants aqueux, des émulsions acryliques (dans lesquelles les blancs de plomb et de zinc ne sont pas stables) ou encore avec des liants huileux. Il absorbe fortement les rayons UV et est actif photochimiquement. Identification du Ti par microfluorescence X. Les radiographies de peintures contenant du blanc de titane présentent des zones claires moins marquées que pour le blanc de plomb. L'image RX du TiO₂ peut se comparer avec celle du ZnO.

Une peinture des années 1920 n'a pu être considérée comme authentique après analyse du TiO₂ puisque celui-ci se présentait sous la forme rutile, disponible en Europe uniquement après la deuxième guerre mondiale.

La couche picturale est constituée de pigments et d'un liant (médium) incolore qui a pour rôle de fixer le pigment sur la couche de préparation.

Liants: depuis l'antiquité les artistes avaient remarqué les propriétés adhésives et émulsifiantes de liants organiques préparés à partir de peaux, d'os, de cartilages ou encore d'œufs.^{7,8}

On distingue a) les liants à l'eau (colles de peaux, caséine, chaux, œuf, gomme arabique,)

b) les liants à l'huile (lin, ricin, œillette, cire d'abeille),

Les propriétés émulsifiantes de la lécithine du jaune d'œuf (phosphatidylcholine) jointes aux propriétés transparentes des films à base de blanc d'œuf ont fait de la peinture à l'œuf dite *a tempera* une technique très employée en Italie jusqu'au milieu du XV^e. Fréquemment, ces liants, lorsqu'ils sont appelés « colles », sont d'une nature protéique dont l'origine peut être très diversifiée : caséine, gélatine, albumine et surtout colles d'esturgeon, d'os, de nerf, de sang de bœuf et de peau de lapin. Les propriétés physiques de ces différentes colles peuvent varier considérablement selon leur origine; c'est la raison pour laquelle il est souvent indispensable pour le restaurateur de pouvoir les distinguer.

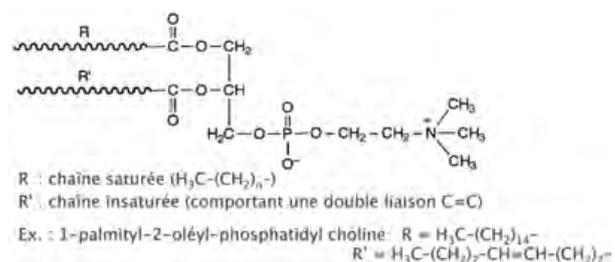


Fig. 2 - Composants de la lécithine 9

Les particules de pigments qui ont une affinité pour les têtes polaires se trouvent ainsi dispersés au sein de l'émulsion sans aucune tendance à s'agglomérer. La lécithine stabilise les émulsions. Ces matériaux sont constitués d'acides aminés libres ou sous forme d'enchaînement protéinique.

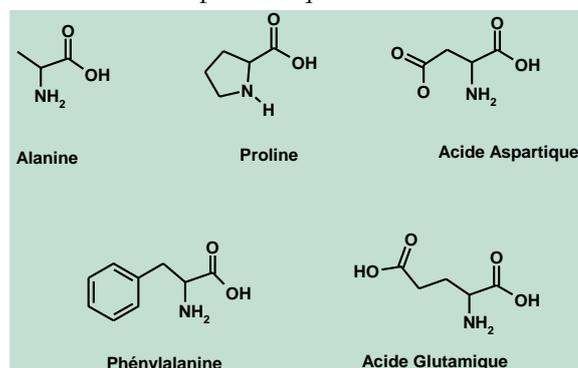


Fig. 3 – Quelques-uns des 20 acides aminés présents dans les protéines.

	A	G	V	L	I+S	T	P	D	M+OH-P	E	F	Y
Caséine	4,5	2,7	6,8	17,7	9,9	5,5	22,6	7,9	2,0	3,0	13,6	3,8
Albumine	4,3	1,8	6,8	18,5	10,9	6,2	13,1	4,4	4,3	5,3	20,0	4,4
Sang de bœuf	5,7	2,9	8,4	9,9	4,2	4,0	13,9	6,5	2,4	1,9	33,6	7,3
Gélatine	10,2	42,8	3,5	3,0	1,8	ND	26,0	6,3	0,8	1,0	4,3	0,3
Os	9,8	21,0	2,1	6,5	0,9	ND	42,1	3,5	0,4	0,9	10,9	1,9
Peau de lapin	8,4	18,3	4,9	4,9	7,4	ND	37,4	7,4	0,7	1,9	9,2	0,8
Esturgeon	9,2	27,3	5,1	7,0	4,1	1,5	20,4	8,2	1,0	4,8	9,9	1,5
Nerf	13,2	45,0	3,4	3,1	2,6	ND	21,5	2,9	0,8	1,4	3,4	0,8

Fig. 4 – Compositon en acides aminés de diverses protéines.

A: alanine; G: glycine; V: valine; L: leucine; I: isoleucine; S: serine; T: threonine; P: proline; D: aspartic acid; OH-P: hydroxyproline; M: methionine; E: glutamic acid; F: phenylalanine; Y: tyrosine.

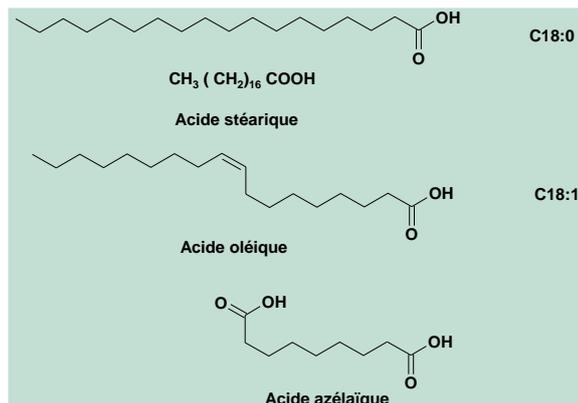


Fig. 5 - Acides gras saturé : acide stéarique, acide gras insaturé : acide oléique, acide dicarboxylique : acide azélaïque.

Acide gras	beurre	huile de lin	huile d'œillette
C14-0	8,2-14,5	0	0
C16-0	22-37	5,5-7,8	9,4-10,8
C16-1	1,9-2,6		
C18-0	6,6-13,5	4,7-7,1	1,5-2,3
C18-1	16-34	17-22	12-16
C18-2	1,3-2,9	14-18	69-73
C18-3	1-5	48-58	0,7-3,5

Fig. 6- Composition moyenne en acides gras de quelques matières grasses

Après hydrolyse et dérivation par le chloroformiate d'éthyle des huit colles protéiques de référence (caséine ...), les mélanges de dérivés d'acides aminés obtenus pour chacune d'entre elles ont été étudiés par couplage chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse à trappe d'ions. Les teneurs en différents aminoacides sont variables et selon les colles ainsi que leur composition.

Pourcentages d'amino acides

L'utilisation d'huile à la place du liant à l'œuf a été introduite par les frères Van Eyck en Europe du nord (Flandres, XV^e siècle). Chaque peintre avait sa propre technique pour préparer sa couleur, nature de l'huile, temps de cuisson, additifs pour le séchage, siccatif (oxydes de zinc), ce qui permet de connaître l'origine d'un tableau. Les huiles sont constituées d'acides gras saturés et insaturés dont le pourcentage dépend de l'origine de l'huile.

Lors du séchage sous l'action de la lumière, de l'air il y a une réticulation (polymérisation radicalaire) pour conduire à des acides saturés majoritairement. L'étude de ces huiles se fait par chromatographie en phase vapeur.

L'acide linoléique acide gras polyinsaturé (3 doubles liaisons) correspond à l'acide C18:3; l'acide linoléique C18-2 (2 doubles liaisons) et l'acide oléique C18-1, une double liaison).

Les pigments⁹

Particules solides et fines, insolubles en suspension dans un liant. Pendant longtemps, l'homme a utilisé des pigments naturels d'origine minérale (bleu outremer du lapis lazuli, cinabre vermillon HgS), animale (pourpre phénicienne du murex, carmin de cochenille) ou végétale (rouge garance, bleu indigo).

Les pigments minéraux et organiques sont souvent des sels et les oxydes de métaux, ainsi il existe le :

Vert émeraude : anhydride chromique hydraté plus de l'anhydride borique à l'état de traces.

Bleu de Prusse : ferrocyanure de fer

Bleu outremer : silicate de sodium et d'aluminium

Vermillon : Sulfure mercurique, HgS (cinabre, cher)

Jaune de cadmium : CdS

Ocres des oxydes de fer : (terre de Sienna)

Lapis lazuli : bleu outremer, minéral

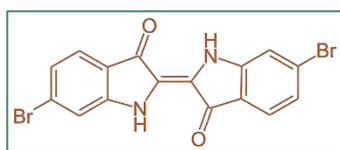


Fig. 7 - Pourpre de Tyr

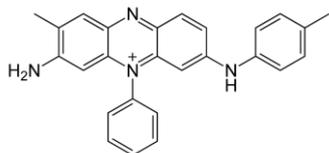


Fig. 9 - Mauvéine

Au XIX^e siècle, l'essor de l'industrie chimique entraîne la création de nouveaux et nombreux pigments: en 1856, un jeune chimiste, W. Perkin, découvre la mauvéine, un dérivée de l'aniline.

Parmi ces nombreux nouveaux pigments, on trouve :

* le jaune de chrome, le vert Véronèse, le bleu de cobalt,

* le vert émeraude, le bleu outremer artificiel (bleu de Guimet),

* les jaunes et rouges de cadmium, le jaune de baryum, le vermillon d'antimoine, le jaune de zinc, le bleu céruléum (bleu ciel).

Certains pigments sont ainsi remplacés, comme le blanc de plomb par l'oxyde de titane, ou la garance par l'alizarine. L'apparition des

colorants de synthèse (*alixarine*) a ruiné les cultures traditionnelles de garance et d'indigotier.

Un peu d'histoire des pigments ¹⁰

Préhistoire : Les principaux pigments utilisés à cette époque sont les pigments minéraux : terres d'ocres, argiles rouges et jaunes, oxydes de fer, craie, et des pigments organiques (à base de carbone) animaux, noir d'os calcinés, ou végétaux, noir de charbon de bois. Le blanc était à base de kaolin (argile pure) ou de craie. L'analyse des peintures rupestres (Lascaux) montre ainsi que la diversité des

couleurs obtenues avec les ocres naturelles était liée à la maîtrise du feu. Les oxydes de fer passaient progressivement du jaune de la goethite (FeOOH) au rouge de l'hématite (Fe₂O₃) lorsqu'ils étaient

chauffés à plus haute température.¹¹ Le minerai naturel ne contient que de la goethite jaune. Il faut la déshydrater pour obtenir de l'hématite rouge. C'est le principe de la cuisson des ocres.

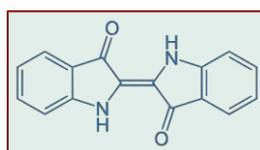


Fig. 8 - Indigo

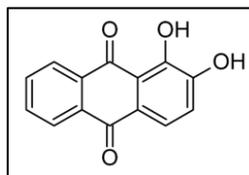


Fig. 10 - Alizarine

Tableau 1 – Couleurs obtenues en fonction de la température de cuisson de l'hydroxyde ferrique :
 $2 \text{FeO}(\text{OH}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$

cuisson à x °C		300	950	1250
couleur	Jaune	Orange	Rouge	Violet

L'addition de bois vert dans le foyer engendrait une atmosphère réductrice qui transformait l'oxyde en magnétite noire (Fe₃O₄). Cette technique a connu son apogée avec les Grecs anciens comme le montrent les vases exposés dans les musées.

Egypte : Les Egyptiens utilisaient l'orpiment, (As₂S₃ jaune) un minéral contenant de l'arsenic.

Il était trouvé à l'état naturel dans le Sinaï. Il sera utilisé jusqu'au XIX^{ème} son usage sera interdit en raison du danger pour la santé qu'il représente. Le vert était issu de la malachite broyée; mélangée avec de la graisse, elle pouvait servir de fard. *malachite* $Cu_2(OH)_2CO_3$

Le pigment le plus connu est le bleu égyptien¹², que l'on pense être le premier pigment synthétique. Le bleu égyptien est un matériau composite associant de la cuprorivaïte ($CaCuSi_4O_{10}$), des espèces siliceuses polymorphes (quartz et/ou tridymite) et des résidus de fabrication dans une phase silicatée amorphe plus ou moins abondante. Le pigment s'obtient par cuisson en atmosphère oxydante entre 870° et 1100°C (température de stabilité de la cuprorivaïte) suivie d'un refroidissement lent dans le four, d'un mélange contenant environ 19% de cuivre et environ 1% de sodium. L'augmentation de la proportion de fondant le natron (sesquicarbonate de sodium naturel, $Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$). fait croître la quantité de phase amorphe. Le vert égyptien (couleur turquoise) est obtenu de façon voisine (plus riche en calcium et pauvre en cuivre). Les autres bleus étaient à base de lapis-lazuli.

Grecs et Romains : Les Phéniciens et les Grecs inventèrent : le blanc de céruse (ou blanc de plomb), très toxique. La pourpre de Tyr obtenue à partir de mollusques marins (*Murex brandaris*) est très estimée. Le vert était principalement des terres vertes (argiles colorées). Etrusques, grecs et romains connaissaient le sépia, extrait de la poche des seiches, ainsi que le cinabre (vermillon).

Moyen-Age : Les pigments minéraux comme les terres vertes ou organiques comme le jaune Indien (venu des Indes vers l'Europe par le canal des Perses), le vert-de-gris, le bitume (brun), l'or et l'argent, complètent la palette des anciens. On retrouve, entre autres, le lapis-lazuli et l'indigo.

A partir du XV^e siècle : les recettes de fabrication des pigments sont de plus en plus

élaborées (voir les peintres flamands),. Le début du XVII^{ème} siècle est marqué par la découverte d'un des premiers véritables pigments de synthèse : le bleu de Prusse est inventé par les allemands Dippel et Diesbach aux environs de 1700. Il était constitué d'un mélange de fer et de cyanure. $(Fe^{+++})_4 [Fe^{II} (CN)_6]_3$

Vers 1740 apparaît le jaune de Naples (antimoine de plomb). En 1778, Sheele crée le vert de Scheele (arséniat de cuivre). En 1826 est synthétisé le bleu Guimet qui remplace le lapis lazuli. On continue à créer de nos jours des nouvelles couleurs comme le bleu IKB (International Klein Blue, 1960) ou le liant n'est ni de l'huile, ni de l'eau, mais une pâte fluide originale sur laquelle du pigment bleu outremer est fixé.

La date de création des pigments sert pour l'authentification des tableaux. Si le bleu original dans la robe de la Vierge d'un primitif italien s'avère être du bleu de Prusse découvert en 1704, le Primitif aura été peint après cette date. De même un jaune de chrome préparé industriellement au début du 19^{ème} siècle ne doit pas se trouver dans un tableau du 17^{ème} siècle.

Les principaux pigments jaunes qui ont été employés sont indiqués dans le tableau 2, avec leur dates approximatives d'utilisation.

Les gisements d'Afghanistan seule source de lapis au Moyen Age et à la Renaissance contiennent une impureté à base de soufre dont le rapport isotopique est différent de celui du lapis extrait des gisements du Chili dans les temps modernes.

Les vernis : jusqu'en 1850 les peintres ont verni leurs œuvres puis ont arrêté pour recommencer depuis une soixantaine d'années. Les premiers vernis ont été obtenus en portant à ébullition des

Tableau 2 - Colorants		
Epoque	Nom	Formule
Pré 1300	orpiment	(As ₂ S ₃),
Pré 1300	massicot	(PbO)
1300-1650:	jaune de plomb/étain type II	(PbSn _{1-x} Si _x O ₃)
1450-1750:	jaune de plomb/étain type I	(Pb ₂ SnO ₄)
1700-1850:	jaune de Naples	(Pb ₂ Sb ₂ O ₇)
1800-	chromate de plomb	(PbCrO ₄)
1850 -	sulfure de cadmium	(CdS),
1850 -	jaune de cobalt	(K ₃ [Co(NO ₂) ₆])

mélanges de résines naturelles comme le sandaraque (résine récoltée sur des thuyas du Maroc), le mastic ou la colophane dans de l'huile de lin ou de noix. Du carbonate de plomb ou de la litharge (oxyde de plomb), y sont ajoutés pour diminuer le temps de séchage. Les vernis à l'huile sont les plus courants mais il existe aussi le blanc d'œuf mélangé à du miel et à la gomme arabique. Les huiles ont été remplacées par des composés plus volatils comme l'essence de térébenthine.

Les résines utilisées sont le Dammar, résine de pin d'Indonésie de type *dipterocarpaceae*. Il donne une peinture brillante; il est aussi souvent dilué avec de l'essence de térébenthine pour donner un médium maigre. La gomme arabique, polysaccharide très ramifié, soluble dans l'eau obtenue par exsudation de tiges d'acacia sert aussi de liant en peinture.

Les constituants primaires du Dammar sont des triterpènes; une petite quantité de polymère est présent. Les terpènes sont une classe d'hydrocarbures, produits par de nombreuses plantes. Ceux sont des composants majeurs de la

résine et de l'essence de térébenthine produite à partir de résine. Les terpènes sont des dérivés de l'isoprène C₅H₈ et ont pour formule de base des multiples de celle-ci, c'est-à-dire (C₅H₈)_n.

Les vernis synthétiques :
Espoir de trouver des vernis qui ne jaunissent pas qui soient soluble dans des solvants non polaires. Dans

les années 1930 le polyvinylacétate PVA est testé mais il se dégrade avec le temps et collecte les poussières et saletés sur le tableau; le meilleur compromis est l'acrylique B72. Comme ceux sont des produits industriels leur fabrication peut s'arrêter au cours du temps.

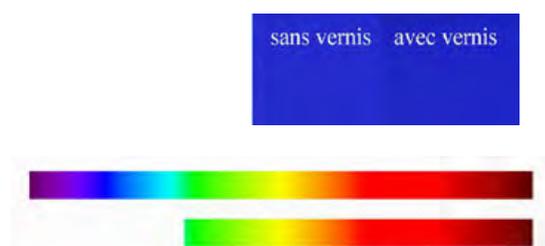
*Influence d'un vernis:*¹³

Indice de réfraction

. Effet de lissage de la surface du tableau

Un tableau est donc constitué par une superposition de différentes couches de mélanges de composés organiques tels les liants, les vernis, les colorants et composés inorganiques (pigments, épaississants, stabilisants, desséchants) et diluants. Ces différents matériaux interagissent et sont soumis à différents agents extérieurs (lumière, humidité, conditions hydrométriques).

Les composants naturels organiques utilisés comme liants (lait, caséine, colle animale, huile de lin, cire d'abeille, résines de plantes) sont souvent des mélanges complexes de protéines,



Vernis neuf

Vernis ancien

Absorption aux basses longueurs d'ondes
(dans le bleu, jaunissement)¹³

Fig. 11 –Influence du vieillissement

de triglycérides, de terpènes, de stérols, d'hydrocarbures, d'esters aliphatiques, d'acides gras, de polysaccharides qui en vieillissant sont sujets à l'oxydation, l'hydrolyse, la polymérisation.

Outils et méthodes: les techniques d'examen, d'analyse et de datation^{3,4}

Les contraintes :

La connaissance approfondie d'une oeuvre d'art sous ses divers aspects comme la structure ou la composition chimique des matériaux constitutifs, est un préalable à toute recherche en histoire de l'art, ainsi qu'à toute intervention en conservation-restauration.

Des moyens techniques sont utilisés à cette fin et tout particulièrement la plupart des méthodes de chimie analytique. Une méthode unique ne peut évidemment fournir une documentation complète de l'oeuvre et généralement plusieurs méthodes d'examen et d'analyse sont associées. Le choix des méthodes dépend du type d'oeuvre, de la nature des matériaux et du contexte de l'étude. La nécessité de préserver l'intégrité de l'oeuvre a conduit à privilégier les méthodes non destructives et tout spécialement celles ne nécessitant que d'infimes prélèvements ou mieux encore celles permettant une analyse *in situ* sans prélèvement.¹⁴ *En outre dans de nombreux cas, il est fait appel à des instruments mobiles, de préférence peu encombrants et portables.*

La première étape de toute étude systématique des oeuvres consiste à une description morphologique complète à l'aide de plusieurs techniques d'examen principalement la radiographie X.¹⁵

et la photographie sous divers modes d'éclairage (lumière visible directe ou rasante, UV, infrarouge, Raman)^{16,17}

La radiographie des tableaux

Les rayons X sont d'autant plus absorbés que la

matière traversée est lourde, c'est-à-dire formée d'atomes de numéro atomique élevé dans la classification périodique. On verra en *blanc* les zones où il y a des atomes lourds, comme le plomb par exemple, et en *sombre*, les zones qui laissent passer les rayons X, là où la matière est plus légère. Le rayonnement est d'autant plus pénétrant que la longueur d'onde est petite. La radiographie X est la technique la plus ancienne pour l'investigation des peintures. Elle a été utilisée dès l'année qui a suivi la découverte des rayons X, à la fin du XIXe siècle. Contrairement aux techniques photographiques qui enregistrent la lumière réfléchiée, la radiographie X mesure les rayonnements transmis à travers l'objet.

Elle permet ainsi l'exploration de l'intérieur de l'oeuvre, afin d'établir un diagnostic sur son état de conservation ou de déterminer les différents assemblages qui la composent. Pour les peintures, on obtient des informations sur le support (type de bois, tissage de la toile, réparations) et sur les différentes couches picturales (repentirs, changements dans la composition, réutilisation des supports).

Les rayonnements transmis sont enregistrés par des capteurs numériques ou sur des films. L'avantage de ces derniers est la très bonne résolution latérale. Pour une même épaisseur, on pourra discriminer des pigments à base de plomb ou de mercure comme le blanc de plomb ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$) ou le vermillon (HgS), qui absorbent beaucoup plus les rayons X que les pigments composés d'atomes plus légers comme le blanc de zinc (ZnO) ou le blanc de titane (TiO_2).

En revanche, l'interprétation des clichés se complique quand de fortes épaisseurs compensent de faibles absorptions ou quand un matériau très absorbant recouvre l'ensemble de la peinture. Ce dernier cas est rencontré pour *La Joconde*, où une couche épaisse de blanc de plomb a été utilisée pour aplanir la planche servant de



Fig. 12 - Les Noces de Cana¹⁸

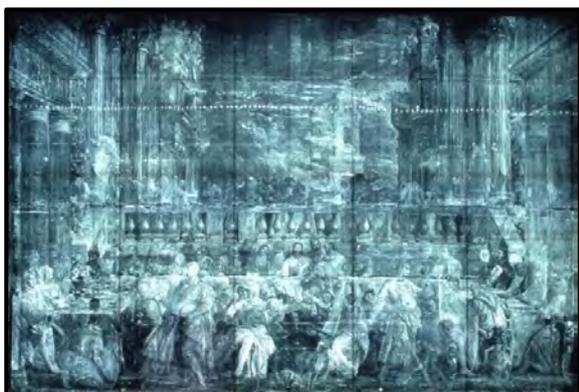


Fig 13 - La plus grande radiographie (RX) réalisée au Louvre, 70 m² © C2RMF



Fig. 14 – Les gouteur de vin © C2RMF



Fig. 15 – Radiographie du tableau

support. On distingue des plages blanches caractéristiques des couches épaisses de préparation qui comblent les irrégularités, mais

qui masquent les contours du modèle. La radiographie met cependant en évidence le fil du bois, notamment les cernes du panneau de bouleau. Ce diagnostic de l'état de conservation permet de suivre une évolution éventuelle du support, en comparant la radiographie avec les clichés réalisés lors d'examen précédents.

*Les Noces de Cana*¹⁸ réalisées par Paolo Caliari dit Véronèse, Hauteur 6,77 m Largeur 9,44 m, Peint en 1652-1653 pour le réfectoire des bénédictins de San Giorgio Maggiore à Venise, Tableau entré au Louvre en 1798.

La radiographie¹⁹ du goûteur de vin (frère de Véronèse) révèle qu'en une première attitude, l'homme tendait le bras en direction du contrebassiste; puis le coude se plie, le poignet prend appui sur la hanche.

La radiographie montre parfois le réemploi par les artistes de toiles déjà employées. L'atelier de la rue Condamine de Bazille recouvre un nu féminin de Renoir ami de Bazille; le jeune Titus, fils de Rembrandt est peint sur un berceau d'enfant avec sa mère; une résurrection du Christ se retrouve sous le tableau des « Vieilles femmes » de Goya; Courbet et sa maîtresse V. Binet; elle sera effacée du tableau 'homme blessé. après leur rupture, 10 ans après.

Le spectre électromagnétique

Même si les RX sont énergétiques, pour traverser le corps des statues il faut encore plus d'énergie on fait appel aux rayons gamma.²⁰ La Vénus de Milo devait être déplacée, pour rénover la salle qui lui est consacrée. Pour savoir si l'assemblage des deux blocs de marbre qui la constituent était solide et si la statue ne présentait pas des zones fragilisées en profondeur, le Louvre s'est adressé au CEA pour faire subir à la statue une radiographie du bassin. On a réalisé

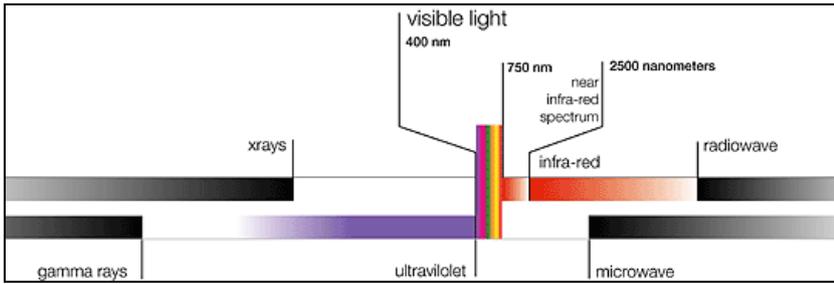


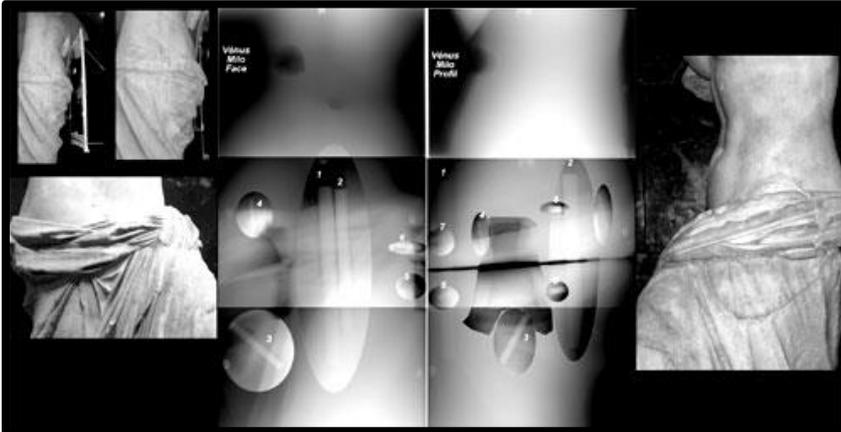
Fig 15 – Spectre électromagnétique

Forte énergie

Faible longueur d'onde

Faible énergie

Grande longueur d'onde



Vue de face

Vue de profil

Fig. 16 -

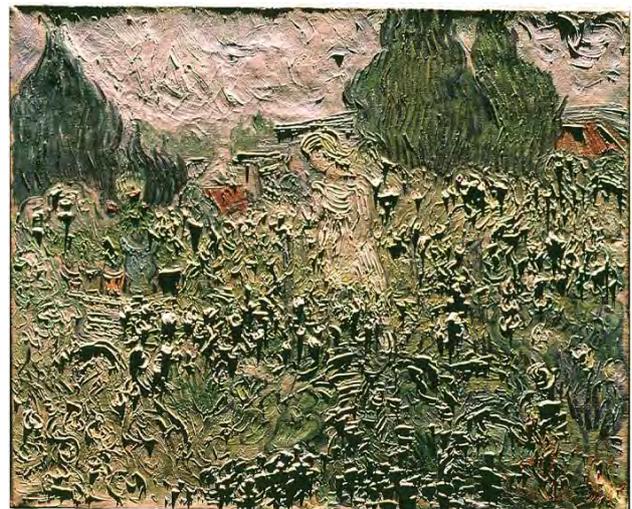
une gammagraphie, 9 heures durant, pendant deux nuits consécutives pour visualiser l'intérieur de la statue. La source radioactive de

XIX^{ème} siècle, pour consolider la jonction entre les deux blocs de marbre

L'étude d'une œuvre d'art commence aussi généralement par une observation et des



Fig. 17 - Mademoiselle Gachet. Vincent Van Gogh (1853-1890) 0,458 m x 0,550 m C2RMF



Mademoiselle Gachet en lumière rasante

clichés photographiques en lumière directe, lumière rasante, sous rayonnements ultraviolet et/ou infrarouge. L'examen d'un tableau de van Gogh *Mademoiselle Gachet* est très révélateur.

Fait marquant chez les artistes de la deuxième moitié du XIX^e siècle et ceux du XX^e siècle, la



Fig. 18 - Mise en évidence d'un réseau de craquelures en lumière rasante. © C2RMF/E.Lambert

lumière rasante permet de découvrir, comme dans ce tableau de Van Gogh, non seulement la qualité de la matière picturale mais aussi l'empreinte et l'écriture du peintre. Cette lumière souligne la direction de la brosse et le sillon de la spatule spécifique de l'artiste.

La réflectographie infrarouge : La photographie IR en réflexion dans la zone 800-1000nm et la réflectographie IR sensible jusqu'à 1700 nm sont basées sur le même principe mais utilisent un système de détection différent, (caméra infrarouge équipée d'un détecteur InGaAs (indium/gallium/arsenic), sensible de 900 nanomètre à 1700 nm) ; elles permettent de traverser les couleurs les plus opaques. Le rayonnement infrarouge traverse les couches picturales et les glacis en s'arrêtant à la couche de préparation. On peut ainsi mettre en évidence un dessin sous-jacent réalisé au noir de carbone sur un fond clair.

La réflectographie infrarouge est employée, par exemple, pour déterminer le dessin préparatoire, les indications de mise en couleur, et éventuellement d'attribuer une œuvre par la mise en évidence d'une signature. Les rayonnements infrarouges (IR) ont la capacité de traverser les couches picturales pour atteindre les tracés sous-jacents sur la couche de préparation. En effet, dans ce domaine de longueurs d'onde (1 à 2 μm), la plupart des pigments sont transparents alors que les matériaux à base d'un composé noir – carbone pour le fusain ou oxyde de manganèse – sont fortement absorbants. Les infrarouges (IR) pénètrent jusqu'à la couche de préparation, sur laquelle se trouve le dessin préparatoire. Elle permet de visualiser des *repentirs*.

Photographies en réflectométrie infrarouge mettant en évidence de légers repentirs dans l'emplacement des doigts de la main droite de *La Joconde*. La même partie en photographie visible permet de le comparer avec l'œuvre finale par l'artiste avant l'exécution picturale, et dissimulé sous la peinture dès lors que les esquisses ont été exécutées en noir sur fond blanc.

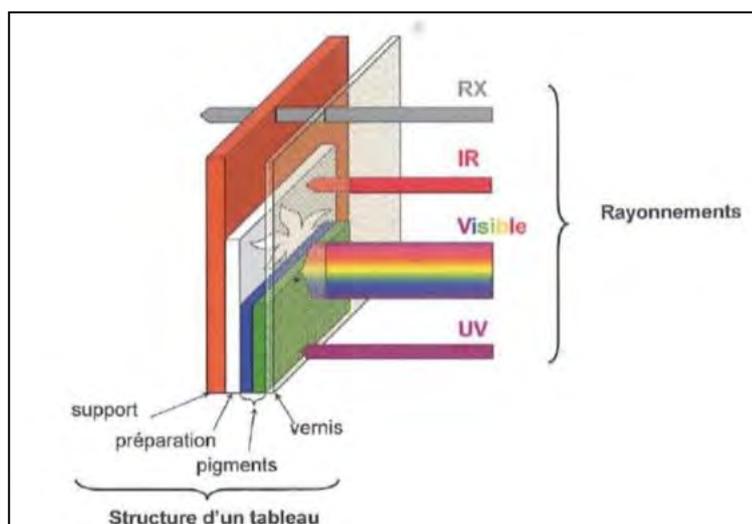


Fig. 19 -



Fig. 20 – Photographie en réflectométrie



Fig. 21 -



Fig. 22 - © C2RMF/ E. Lambert

C2RMF Photographies en réflectométrie infrarouge mettant en évidence de légers repentirs dans l'emplacement des doigts. Détail

de la main droite de La Joconde. La même partie en photographie visible permet de le comparer avec l'œuvre finale.¹⁶

La photographie sous fluorescence ultraviolette fournit des informations sur les repeints : ils apparaissent sous forme de larges plages ou zones de taches sombres. *Lorsqu'ils ne sont pas posés sur un vernis, il est difficile de les distinguer de la couleur originale (sauf souvent en photo couleur).*

les vernis : ils peuvent prendre un aspect laiteux mais légèrement transparent sur lesquels les moindres altérations, essais partiels de dévernissage, repeints locaux, repiquages donnent des taches plus ou moins sombres. La photographie en fluorescence U.V. révèle et souligne non seulement les traitements subis mais également les maquillages et les reprises plus ou moins récentes.



Fig. 23 - Les trois tableaux suivants St Jean Baptiste, la Joconde (L. Vinci), et Dame priant ont été examinés tout d'abord en en lumière visible.¹⁶

St Jean Baptiste, la Joconde (L. Vinci), et Dame priant en lumière visible ; tableaux à l'échelle. Elsa Lambert, © C2RMF / E. Lambert puis en photographie sous éclairage ultraviolet ($\lambda = 365 \text{ nm}$). Les restaurations effectuées sur le vernis apparaissent sous forme de taches

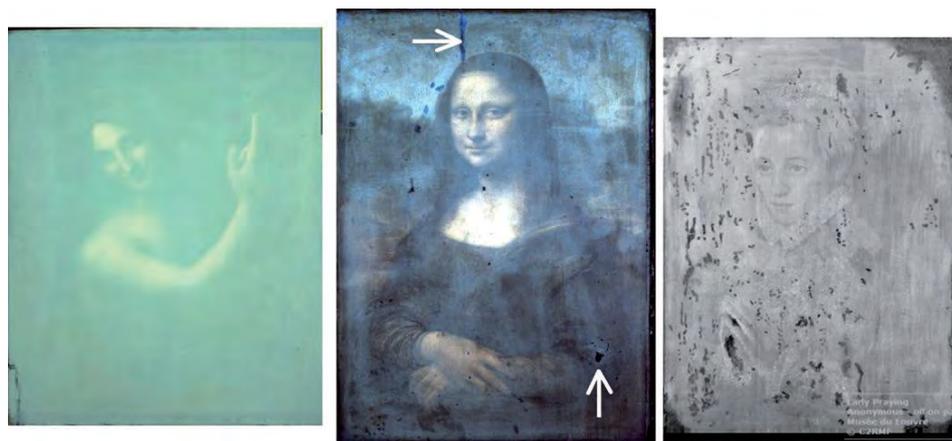


Fig. 24 - Lambert, © C2RMF / E. Lambert

sombres contrastant avec la fluorescence « laiteuse » du vernis. Deux d'entre elles sont indiquées par des flèches sur le tableau de *La Joconde*.©

La figure précédente illustre trois cas très différents d'état de surface de tableaux éclairés en lumière UV. On reconnaît, à l'intensité et l'uniformité de la fluorescence du tableau représentant Saint Jean-Baptiste, un vernis homogène et épais. En revanche, de nombreuses hétérogénéités sont observées pour les deux autres peintures. Ces hétérogénéités sont dues, d'une part, à l'épaisseur irrégulière du vernis et, d'autre part, à la présence de restaurations qui ont été apposées sur le vernis plus ancien.

On peut distinguer en bas, à droite une restauration moderne du tableau *La Joconde*. Sur le haut du tableau, ce sont des repeints plus anciens qui sont mis présents; ceux-ci correspondent à une fissure du panneau de bois, qui a entraîné une altération de la couche picturale.

Sur le tableau *Dame priant*, des retouches postérieures encore plus nombreuses sont visibles, témoignant de nombreuses restaurations.

La microscopie Raman est une technique qui se révèle adaptée à l'analyse des objets du patrimoine. Elle permet l'identification avec ou sans prélèvement d'une large gamme de matériaux. La spectrométrie Raman est une technique d'analyse structurale

reposant sur l'interaction lumière-matière, comme la spectrométrie infrarouge qui lui est complémentaire. Cette technique d'analyse vibrationnelle permet de caractériser les fonctions chimiques de substances organiques ou inorganiques, cristallisées ou amorphes. L'identification d'un produit pur ou de mélanges est effectuée par comparaison avec des produits connus de référence.^{21,22} Les spectres Raman des 2 formes d'oxyde de titane pigment blanc se différencient aisément : l'anatase a une bande très forte (vs) à 143 cm^{-1} qui n'existe pas pour le rutile (w faible à 144 cm^{-1}); ce dernier par contre a 2 fortes bandes (s) à 447 et 639 cm^{-1} . *Anatase*, TiO_2 **143vs**, 396w, 516w, 639m; *Rutile*, TiO_2 144w, 232m(br), 447s, **609s**.

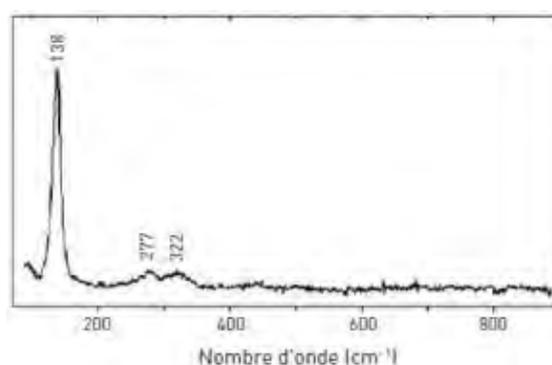


Fig. 25 - Spectre Raman du jaune de plomb de type II.

Le jaune de plomb et d'étain de type I a une bande d'absorption très forte à 129 cm^{-1} ²³ tandis que pour le jaune de plomb et d'étain de type II la bande d'absorption très forte est à 138 cm^{-1} , ²⁴

Microfluorescence X : les rayons X ne sont pas employés seulement pour la radiographie. Ils sont aussi utilisés pour des techniques d'analyses élémentaire et structurale, comme la diffraction des rayons X et la fluorescence X. De récents développements ont permis de miniaturiser les appareils pour les déplacer au musée ou les emporter auprès des monuments ou sites naturels.

La spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF) est une technique d'analyse élémentaire quantitative basée sur l'émission de rayons X, dits secondaires, consécutive à une excitation des couches atomiques profondes par un faisceau de rayons X, dit primaire. Le rayonnement émis est caractéristique de la nature et de l'abondance des éléments présents. Il s'agit d'une méthode simple, rapide et non destructive, qui est à ce titre très utilisée pour l'analyse des matériaux du patrimoine.

L'imagerie par fluorescence des rayons X permet de mesurer la distribution des pigments présents à la surface mais aussi dans les couches sous-jacentes, suivant la profondeur de pénétration des rayons X. Il s'agit d'imager la surface de l'échantillon en le balayant par un faisceau de rayons X de dimensions millimétriques, et d'analyser ensuite le rayonnement de fluorescence émis.

La Princesse d'Este de Pisanello a été étudiée au laboratoire. Ne pouvant pas faire de prélèvements, on a eu recours à l'analyse par micro-fluorescence X, analyse s'effectuant à 1 cm de la surface analysée. Sur l'image, un code de couleurs arbitraire, représente la composition de chacun des points analysés. Cela met en évidence la présence inattendue de l'élément mercure, caractéristique du vermillon, dans le

ciel. Mélangé à du noir, ce pigment jouait un rôle important pour assombrir la partie supérieure du ciel.

Musée du Louvre

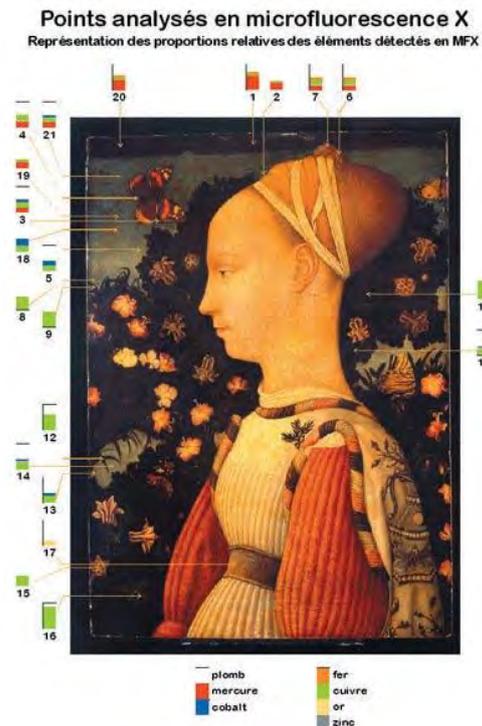


Fig. 26 - Portrait d'Une Princesse d'Este, Pisanello (1441) Musée du Louvre, Analyse par micro-fluorescence X montrant la diversité des pigments utilisés par l'artiste E. Laval (© C2RMF)

Les freins au développement des méthodes X ont été d'ordre technique.¹⁵ De nos jours, des progrès considérables ont été réalisés. En particulier, les nouvelles optiques X permettent d'obtenir des faisceaux micrométriques, voire nanométriques; les détecteurs sont sans cesse améliorés en termes de sensibilité et de rapidité et sont désormais associés à des ordinateurs aux capacités de calcul indispensables à l'imagerie multidimensionnelle.

L'ensemble de ces nouvelles possibilités permet d'exploiter les propriétés uniques des sources X synchrotrons qui apportent, en chimie, un avantage décisif par rapport aux sources de laboratoire. Plus particulièrement, la brillance et l'étendue spectrale des sources

améliorent considérablement les performances en termes de résolutions spatiale et temporelle, de limites de détection et richesse de l'information chimique. Sur source de laboratoire classique, l'analyse par fluorescence X se limite souvent à une série de mesures ponctuelles. Avec un synchrotron, des temps d'acquisition inférieurs à la seconde permettent des mesures en balayage continu, permettant des cartographies de composition élémentaire, pour tous les éléments. C'est ainsi qu'un portrait peint par Van Gogh pendant l'hiver 1884-85, et recouvert par le peintre lui-même depuis 1887 par un paysage, a pu être « re-découvert » en mesurant grâce à un synchrotron la fluorescence X émise par certains pigments spécifiques. La résolution spatiale peut être inférieure à 1000 nm, voire même à 100 nm. ce qui est primordial car, *les tableaux ont une composition chimique très complexe, résultat du mélange de nombreux ingrédients pendant leur exécution, puis de la formation de produits de dégradation.* On a développé de nouvelles techniques comme le XANES, qui signifie X-ray Absorption Near Edge Structure (soit en français Spectroscopie de structure près du front d'absorption de rayons X) qui est une méthode d'analyse spectroscopique par absorption de rayons X, qui utilise le rayonnement synchrotron.

Le XANES étudie l'absorption des

RX, d'un matériau au *voisinage proche* de son front d'absorption, c'est-à-dire sur un intervalle

d'énergie d'environ 100 eV de part et d'autre du front d'absorption. Il apporte des informations sur l'ordre local des composés, contrairement à des méthodes telles que la diffractométrie de rayons X (XRD) qui nécessitent une structure régulière du matériau (comme les cristaux). Le XANES renseigne sur l'état d'oxydation de l'élément chimique étudié. Il permet donc de dégager des informations à la fois structurales (coordination, distances métal-ligand) et électroniques (état d'oxydation d'un composé).

Au cours de sa carrière, le style de Vincent Van Gogh a évolué de manière radicale. Débutant comme peintre conventionnel dans son village natal de Nuenen aux Pays-Bas, il a évolué, vers un style personnel. On constate par exemple qu'à partir de son séjour à Paris, il a commencé à utiliser les mêmes couleurs que les peintres impressionnistes, comme le jaune de cadmium. À certains moments de sa vie, Van Gogh a probablement considéré ses précédentes oeuvres comme obsolètes, et choisi de les recouvrir par de nouvelles compositions. C'est ce qui s'est passé avec *Un coin d'herbe*, petite toile peinte pendant sa période parisienne 1887 et actuellement conservée au musée de Kröller-Müller (Otterlo, Pays-Bas).²⁵

Ce tableau a été étudié par microfluorescence X avec un synchrotron.²⁶ Les spectres obtenus par fluorescence X (synchrotron), attestent de la



Fig. 27 - Vincent Van Gogh, *Un coin d'herbe*, 1887, Otterlo, Kröller-Müller Museum.

présence de nombreux éléments tels que le cuivre (Cu), intervenant dans le vert émeraude, ou le cobalt (Co) contenu dans divers pigments bleus, dont Van Gogh s'était déjà servi pour ses précédents tableaux; mais témoignent également de la présence plus inhabituelle d'antimoine (Sb), entrant dans la composition d'un nombre limité de pigments, que l'on ne soupçonnait pas être utilisés par Van Gogh ! les analyses ont duré trois secondes par position... mais pour pas loin de 90 000 positions ! Cela correspond à plusieurs jours d'analyse. Le pigment à base d'antimoine est passé au spectromètre d'absorption des rayons X (synchrotron), afin de savoir sous quelle forme se trouve l'antimoine. L'analyse a révélé qu'il s'agit d'un antimonate de plomb Pb(SbO), le jaune de Naples. On a ainsi prouvé que ce pigment était utilisé par Van Gogh.

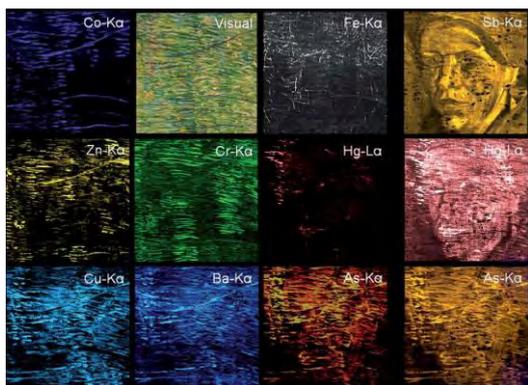


Fig. 28 -

Le portrait de la paysanne date probablement de la période néerlandaise de Van Gogh. Le style de cette peinture se rapproche par exemple des Mangeurs de pommes de terre, datant de la même période. On remarque trois ans après – ce qui est beaucoup sur les dix ans de carrière de Van Gogh – un tournant flagrant au niveau du style et des couleurs

Des cartographies par XANES du *Coin d'herbe* ont été réalisées pour les différents éléments chimiques décelés et permettent de déterminer pour quel dessin, l'herbe ou le portrait, les pigments contenant ces divers

éléments ont été utilisés. Il est apparu que l'antimoine, au même titre que le mercure et l'arsenic, sont des composants des pigments utilisés pour peindre le portrait caché alors que le chrome (Cr) et le cobalt (Co) composaient ceux du *Coin d'herbe*.^{24,25}

Les différentes techniques d'analyse présentées sont aussi mises en oeuvre pour connaître l'évolution des tableaux au cours du temps

Vieillessement des tableaux

Vieillessement du vernis : Le jaunissement des vernis les plus anciens résulte d'une oxydation de la résine naturelle ou de l'huile utilisée. En effet l'oxydation des huiles peut entraîner la création au sein du réseau tridimensionnel de triglycérides, des cétones conjuguées absorbant fortement dans le bleu. Ainsi le jaunissement est favorisé dans les huiles où prévalent les acides gras les plus fortement insaturés. L'huile de noix jaunit donc moins que l'huile de lin qui, elle-même, jaunit moins que l'huile d'oeillette. En vieillissant, les vernis s'assombrissent et se colorent par évolution de certains corps en décomposition: la résine se polymérise sous l'action de la lumière et de l'oxygène de l'air. Des corps colorés de décomposition se forment, retenus par le réseau de macromolécules. Le vernis jauni a tendance à assombrir le tableau : les bleus deviennent verts, les rouges, orangés et les blancs, jaunes. Il rajoute du doré aux teintes ; la clarté et la saturation diminuent, ce phénomène équivaut à regarder l'œuvre à travers un filtre transparent doré. En fait, le retrait du filtre orangé formé par le vernis vieilli permet surtout de retrouver les bleus

Le vieillissement se traduit aussi par l'apparition de craquelures de plusieurs types : craquelures d'âges dites naturelles qui peuvent évoluer en écaillage (exemples : faïençage), craquelures prématurées (naturelles ou non, elles



Fig. 29 - Le joueur de fifre ; E. Manet (à la manière de Vélasquez) ; allègement du vernis

viennent de la technique picturale). Les dommages augmentent si il y a apparition de boursofflures, d'écaillage et de soulèvement pour finir par la lacune avec perte de matière picturale. C'est le stade ultime d'une rupture adhésive du film de peinture.

En dissolvant la couche supérieure de vernis (allègement) avec divers solvants en commençant par le moins polaire pour ne pas altérer l'œuvre on retrouve les couleurs originelles

Allègement du vernis avec du white spirit et l'éthoxyethanol.

Les chancis de vernis et de couche picturale des peintures ²⁷

Le terme « chanci » correspond à une altération opacifiante fréquente qui affecte les vernis et les couches picturales des peintures à l'huile. Selon le degré, la composition picturale peut être partiellement ou totalement dissimulée par un voile blanchâtre. La principale cause d'apparition des chancis est



Fig. 30 - Allègement de la robe de la mariée des Noces de Cana



Fig. 31 -

l'humidité : dégâts des eaux, conservation en milieu humide ou opérations de restauration nécessitant un apport aqueux.

On a mis en évidence que le blanchiment n'était pas accompagné d'un changement de la chromaticité (de la couleur), ce qui suggère qu'il n'est pas lié à une décoloration de pigments mais à la formation d'une structure poreuse dans les couches

altérées (aussi bien les vernis que les couches picturales), avec des pores de 20 nm à 4 µm de diamètre environ.

Le suivi de l'altération à partir d'échantillons modèles démontre son caractère évolutif : les couches deviennent d'abord légèrement bleutées, puis blanches avec une augmentation significative de la taille des pores. En effet, la différence d'indice de réfraction entre le vernis/le liant ($n=1,53-1,55$) et les pores probablement remplis d'air ($n=1$) induit une forte diffusion de la lumière dans les couches altérées. Les pores qui ont une taille comprise entre 20 à 100 nm induisent un léger bleuissement (diffusion de Rayleigh). Le blanchiment observé sur les peintures est, quant à lui, provoqué par les pores de 100 nm à 2 µm (diffusion de Mie).

Les chancis de vernis ne présentent pas de problème majeur en restauration et peuvent être résorbés par des solvants volatils. En revanche, pour les chancis de couche picturale, les solvants volatils sont rarement efficaces. Le recours à des solvants lourds (moins volatils) semble visuellement satisfaisant. Cependant les analyses effectuées par nanotomographie un an après restauration révèlent que les pores ne sont ni comblés ni résorbés. L'évaporation du solvant entraîne une progressive réapparition de la diffusion et donc du blanchiment.



Fig. 32 - Mona Lisa restaurée dans ses couleurs d'origine

matière du tableau, en particulier dans la zone des carnations, qui est peinte de façon extrêmement délicate.

Restauration avec de l'oxygène monoatomique

Un autre cas extrême de vieillissement accéléré concerne les œuvres qui ont subi un incendie.

A la suite d'un incendie une peinture (St. Alban's Episcopal Church à Cleveland USA) avait été gravement endommagée; on ne savait pas enlever la suie et les matières carbonisées à la surface. En soumettant le tableau au gaz (O·) ce dernier entre en contact uniquement avec la surface de la peinture et attaque peu les couches sous-jacentes. La plupart

Allègement virtuel des vernis certaines

œuvres très anciennes ne peuvent subir de traitement physico-chimique sans dommage. En octobre 2004 on doit déménager la Joconde lors de l'aménagement d'une salle du Louvre; on avait l'intention de le déplacer dans une vitrine climatisée. on dispose de 36 h. La « photographie » du tableau a été effectuée grâce à une caméra multi-spectrale (de l'UV à l'IR) permettant de mesurer cent millions de spectres lumineux en autant de points du tableau.^{28,29} Ces mêmes mesures ont parallèlement été réalisées avec de nombreux pigments références utilisés dans les peintures du XVI^{ème} siècle, recouverts ou non de vernis vieillis artificiellement. C'est la comparaison des spectres de la Joconde et de ces spectres de référence qui a alors permis d'ôter numériquement le vernis de Mona Lisa, puis d'identifier les pigments de la couche superficielle du visage



Fig. 33 - ©Sharon Miller

des pigments sont des oxydes et ne sont donc pas altérées par le procédé. Après 230 h de traitement avec de l'oxygène atomique le tableau noirci et couvert de débris

carbonisés est récupéré presque identique. Les couleurs ne sont pas altérés si ce n'est que le liant organique a été partiellement ôté et nécessite donc l'ajout de liant. Le carbone est transformé en CO et CO₂ volatils et les composés hydrogénés en vapeur d'eau.³⁰ Cette technique a été utilisée pour restaurer une peinture "Bathtub" de 1961 d'Andy Warhol qui avait une trace de rouge à lèvres appliquée en 1997 par une invitée lors d'une exposition sponsorisée par une firme de cosmétiques. La peinture était sans vernis ce qui rendait le nettoyage avec des solvants très aléatoire quant aux résultats.

Un tel dévernissage serait inconcevable dans la réalité, étant donné l'hypothèse de grande fragilité qui pèse sur la

Vieillesse des laques

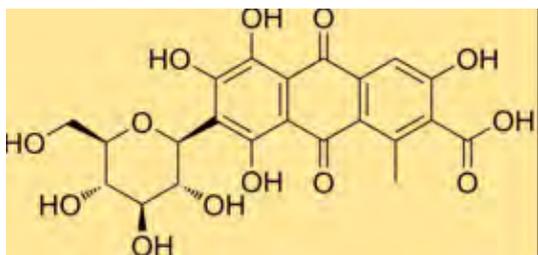


Fig. 34 - Acide carminique

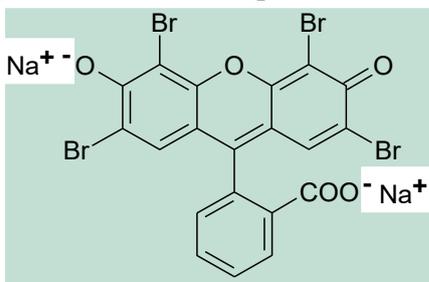


Fig. 35 - Eosine

Les Laques rouges : elles sont brillantes mais passent rapidement. Le pigment rouge qui les compose est sensible à la lumière. C'est le cas de l'éosine synthétique ou du rouge cochenille extrait de l'insecte cochenille. (La femelle *Dactylopius coccus* est utilisée pour produire différentes teintes de rouges, d'orange et d'écarlate. Cette coloration provient de l'acide carminique).

L'éosine du Dr Gachet

Les fleurs de digitale sont bleues au lieu d'être pourpres comme sur la copie, aquarelle, de Blanche Derousse réalisée 11 ans après la mort de Van Gogh. Un prélèvement montre au *microscope optique* une couche blanche avec des grains bleus en surface et en couche interne une matière rouge sombre avec des grains bleus et blancs. Le rouge sombre en MEB/EDX (EDX spectroscopie dispersive en énergie de photons X; MEB microscopie à balayage électronique) montre la présence de Br, Al, Pb; le brome indique l'utilisation d'éosine (laque géranium) qui est le seul colorant à en posséder à l'époque.

L'éosine est photodégradable tandis que le bleu outremer et le blanc de Pb ne le sont pas. (Van Gogh a ajouté du bleu et du blanc de plomb à la laque pour avoir un rouge nuancé).

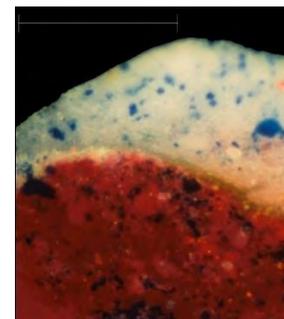


Fig. 36- Prélèvement laque non dégradée épaisseur de 200 micromètres : ©C2RMF

La Chambre de Van Gogh à Arles est une peinture à l'huile sur toile de 72 × 90 cm. Elle a été réalisée en 1888. Il en fera 3 versions dont la dernière est à Orsay. Une étude approfondie des lignes de fuite montre que l'artiste joue avec les règles traditionnelles de la perspective. Au cours du temps les couleurs rouge se sont fanées aussi on a restitué de façon numérique l'aspect original du tableau.³¹



Etat actuel

Etat initial reconstitué

Fig 36 - La chambre de Van Gogh à Arles

Reconstruction numérisée des couleurs de *La chambre à coucher*, réalisée en collaboration avec Roy S. Berns, Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, U.S.A. Photograph: Art Institute of Chicago/PA

Les murs lilas pâle, le sol d'un rouge rompu et fané, les chaises et lit jaune de chrome, les oreillers et le drap citron vert très pâle, la couverture rouge sang, la table à toilette orangée, la cuvette bleue, la fenêtre verte. J'avais

voulu exprimer un repos absolu par tous ces tons divers.", nous dit Van Gogh. Les pigments rouge utilisés se sont dégradés avec le temps de sorte que les murs bleu pourpre (lilas pâle, emploi de rouge cochenille) initiaux ont évolué vers un bleu et que le plancher rose-brun (utilisation d'éosine) est devenu brun. Les conservateurs ont décidé de réduire de 50% l'intensité lumineuse lors de la présentation des tableaux au public

Dégradation des pigments

a) Dégradation du jaune de chrome chez Vincent Van Gogh. ^{32,33,34,35}

Dès le début du 19^{ème} siècle de nombreux pigments industriels ont été développés comme le jaune de chrome (PbCrO_4), le jaune de cadmium (CdS), le vert émeraude [$\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$], le vert viridien (vert bleuté) ou vert Guignet ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), et le blanc lithopone ($\text{BaSO}_4 \cdot \text{ZnS}$). qui pouvaient remplacer d'anciens pigments avec des couleurs plus brillantes et offrant de nouvelles possibilités artistiques. Le jaune de chrome par son opacité et sa brillance prit une position dominante; les autres jaunes existants comme le jaune de Naples ($\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$), l'orpiment (As_2S_3), l'ocre jaune (un mélange d'oxydes et d'hydroxydes de fer) furent délaissés. Le jaune de chrome fut utilisé par de nombreux artistes tels V. Van Gogh (1853-1890), G. Seurat (1859-1891), J. M.W. Turner (1775-1851)

Dans les tableaux de Van Gogh et d'autres artistes de la fin du 19^{ème}, les aires peintes avec du jaune de chrome noircissent par suite de la dégradation de ce pigment. Le noircissement du jaune de chrome avait été signalé assez rapidement mais ce n'est qu'au 20^{ème} siècle que la dégradation du jaune de plomb a été systématiquement étudiée. Plusieurs études sur les altérations du PbCrO_4 sous l'action de la lumière, la chaleur, les gaz atmosphériques comme le SO_2 et H_2S , entraînent la réaction de réduction du Cr(VI) état d'oxydation du chrome dans le jaune de chrome PbCrO_4 en Cr(III). En

fait le jaune de chrome appartient à une classe de pigments contenant soit du chromate de plomb (PbCrO_4 , jaune et existant dans la nature sous forme minérale) soit un mélange chromate de plomb et d'oxyde de plomb ($\text{PbCrO}_4 \cdot x\text{PbO}$, jaune orange, minéral naturel) qui donne des nuances rougeâtres soit un mélange chromate et sulfate de plomb ($\text{PbCrO}_4 \cdot x\text{PbSO}_4$) où le sulfate apporte des nuances jaunes. PbCrO_4 et PbSO_4 ont respectivement une structure cristalline monoclinique et orthorhombique qui sont les formes cristallines les plus stables. Si le pourcentage de sulfate est supérieur à 40% dans $\text{PbCrO}_4 \cdot x\text{PbSO}_4$, un changement de la forme monoclinique vers la forme cristalline orthorhombique est observé.

Le coût très élevé du PbCrO_4 a fait qu'il est souvent dilué par addition de divers composés blancs comme des sulfates tels [BaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, PbSO_4], du talc, du carbonate de calcium du kaolin ou avec d'autres pigments jaune à base de chrome comme CaCrO_4 et BaCrO_4 . En outre la synthèse du jaune de chrome a évolué au cours des années car on s'est aperçu que sa stabilité dépendait du procédé de fabrication. Afin d'améliorer la stabilité à la lumière de PbCrO_4 , l'acétate de plomb utilisé comme produit de départ est remplacé par des solutions ou suspension d'autres sources de plomb comme le nitrate ou le chlorure de plomb pour être mis en réaction avec des (bi)chromates de potassium ou de sodium.

Le noircissement à la surface correspond à la présence de 2/3 du chrome sous forme de Cr(III) résultant de la réduction du Cr(VI). Les spectres de μ -XANES sont en accord avec la formation de $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (viridien, Cr(III)) à la surface. En outre comme démontré par la μ -XANES, la présence d'un autre composant du Cr(III) comme le $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ou $(\text{CH}_3\text{CO}_2)_7\text{Cr}_3(\text{OH})_2$ [chromium(III) acetate hydroxyde], est probable. La concentration de Cr(III) oxydé (produit de dégradation) décroît de

la surface brune où il est présent à 60-70% vers l'intérieur de la couche picturale; à 8 micromètres de profondeur il est encore voisin de 30-40%. Dans le jaune de surface dégradée le Cr(VI) du jaune originel n'y est présent qu'à 30-40% pour s'accroître à l'intérieur de la couche. Une combinaison de $PbCrO_4$ (jaune pur) $Cr_2O_3 \cdot 2H_2O$, et de $Cr_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ ou $(CH_3COO)_7Cr_3(OH)_2$, explique le spectre Cr K-edge XANES pour la surface noircie. Le spectre montre que la couche de jaune dégradée est constituée des 3 espèces de Cr (III) en quantités à peu près égales. On a une corrélation entre le noircissement et l'abondance de Cr(III). La réduction du chrome (VI) se produit uniquement dans les zones riches en sulfates et/ou de composés aluminum silicates. Seuls les échantillons riches en sulfate de plomb ($PbSO_4$: $PbCrO_4$ sup à 1) et où le chromate de plomb est présent sous forme de grains très fins amorphes conduisent à la formation d'une couche brune (1–3 μm d'épaisseur) après vieillissement. Le vernis ne protégé pas contre la photoréduction du chrome des pigments de jaune de chrome ³⁴; ainsi trois microéchantillons de deux peintures vernies de Van Gogh (qui originellement n'étaient pas vernie) et une de Gauguin. *Falling Leaves* (Les Alysamps) (KMM), *Berges de la seine* (Van Gogh Museum) et (*Soyez Mystérieuses*) de Gauguin (Musée d'Orsay) ont été étudiés par les mêmes techniques. Dans tous les échantillons, les produits altérés à base de Cr(III) sont présents sous forme de grains (souvent riche en soufre) à l'intérieur du vernis et aussi réparti de façon homogène dans toute la couche picturale superficielle.

Hypothèses sur les causes de la réduction du Cr(VI):

Les tableaux où $PbCrO_4$ est présent sous forme cristalline pure ne s'assombrissent pas. la présence de chrome réduit est observée notamment dans les endroits où Ba+S sont présents. Ces derniers jouent le rôle de catalyseur pour la réduction des chromates; il a été montré

que les ions sulfures S^{2-} qui sont présents dans le pigment blanc lithopone ($BaSO_4 \cdot ZnS$) ou qui sont générés à partir de $BaSO_4$ ou d'autres sulfates jouent un rôle essentiel dans la réduction.

Les Tournesols est le nom attribué à chacun des sept tableaux peints à Arles par Vincent Van Gogh en août 1888 pour les quatre premiers tableaux qui composent la série proprement dite et en janvier 1889 pour les trois derniers, appelés *les Répétitions*. Les peintures montrent des tournesols dans toutes les étapes de leur vie, de la pleine floraison jusqu'au flétrissement. Les tableaux étaient novateurs pour l'époque par l'utilisation d'un large spectre de jaunes rendue possible par l'invention de nouveaux colorants. Dans la 4^{ème} version de la série peinte le 23 et 24 août 1888 Van Gogh remplace le fond (arrière-plan) bleu des 1^{ères} compositions par un fond jaune expérimentant des combinaisons de jaune. de chrome qui aujourd'hui sont sujet au noircissement du à la photoréduction des chromates Cr(VI) en Cr(III) avec le Cr(V) intermédiaire formé par interaction avec le liant sous l'effet de la chaleur. ³⁶

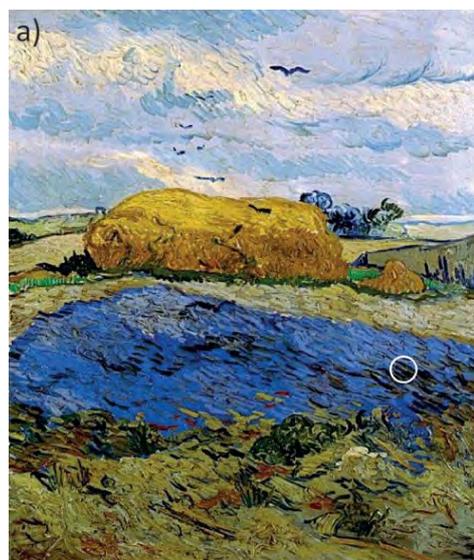


Fig. 37 - Meules de foin sous un ciel pluvieux de Van Gogh (Octobre 1889, huile sur toile Kröller-Müller Museum, NL).

b) Dégradation du minium³⁷

V. Van Gogh a utilisé du minium, Pb_3O_4 un oxyde de plomb servant de pigment rouge depuis l'Antiquité pour représenter les feuilles mortes rouge à la surface de la mare qui s'est décoloré jusqu'à prendre une teinte blanchâtre par endroit. Le minium est un oxyde de plomb composé de Pb_3O_4 ; il est utilisé en association avec de la litharge (tetragonal, PbO) ou du massicot (orthorhombique, PbO). Il est connu pour être instable dans le temps. Il joue un rôle

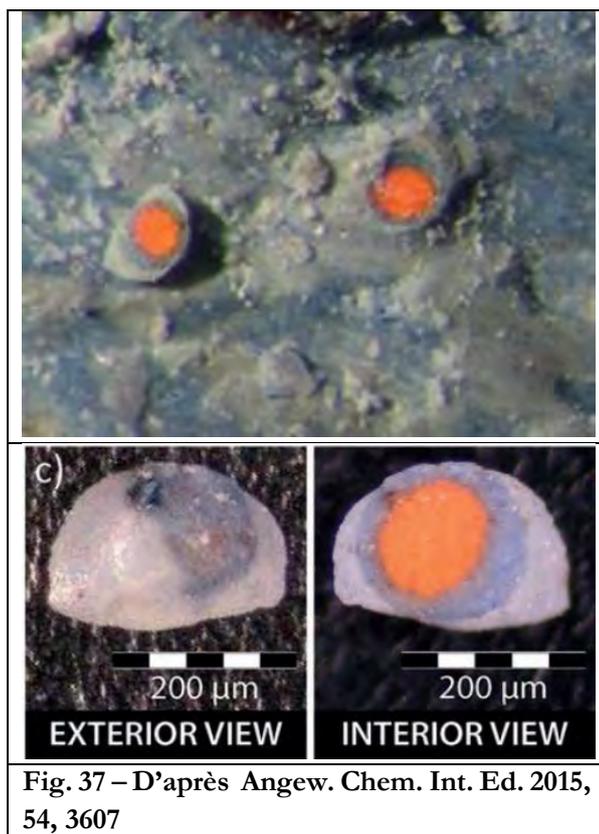


Fig. 37 – D'après *Angew. Chem. Int. Ed.* 2015, 54, 3607

dans la formation de soupe au plomb. (La soupe au plomb (protubérances) est formée par réaction du minium avec les acides gras du liant en générant aussi du carbonate de plomb). Le plus souvent, le minium noircit avec le temps, soit parce qu'il se transforme en plattnérite, un autre oxyde de plomb, (PbO_2) soit parce qu'il se change en galène (un sulfure de plomb PbS). Il arrive également que le minium, comme c'est le cas avec ce fragment de peinture, blanchisse, par suite de formation de $(PbSO_4)$ ou d'(hydro)cérusite ($2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$). L'examen

de la surface montre des *pustules* de 300 μm de diamètre qui ont un cœur rouge (100 μm de diamètre) qui est du minium Pb_3O_4 original entouré par une couche fine bleue léger et la couche extérieure grise.

Les techniques combinées de micro fluorescence X et de micro diffraction de poudre (mXRF/ mXRPD) ont été utilisées pour connaître la composition des différentes couches de la gangue entourant les pustules; la fine couche bleue est constituée de céruse, ($PbCO_3$) neutre et de carbonate de plomb basique (hydrocéruse, $PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$); la couleur bleu provient de cobalt comme indiqué par XRF. Entre la couche bleue et le coeur rouge il y a un espace vacant qui contient une 4^{ème} espèce de plomb, le plombonacrite $3PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2 \cdot PbO$. Ce plombonacrite est identifié par diffraction de poudre par tomographie aux rayons X; c'est un chaînon manquant dans la dégradation du minium chez Van Gogh.

En fixant le gaz carbonique le minium se transforme d'abord en un carbonate de plomb, le plombonacrite, une molécule très rarement retrouvée dans les peintures. La réaction ne s'arrête pas là car le plombonacrite va continuer à évoluer en fonction de la concentration en CO_2 vers la formation de hydrocéruse et au final vers la céruse. Au bout du compte, le grain de minium finit prisonnier, encapsulé dans ses propres produits de dégradation.

c) Vieillessement de l'oxyde de zinc^{38,39}

Le ZnO blanc subit des dégradations dans le temps comme des efflorescences, boursouflures, délaminations dues à la formation de carboxylates de zinc (soupe) résultants de l'interaction du ZnO avec les hydrolysats des triglycérides des huiles du liant. En utilisant

l'infrarouge la peinture Alchemy de J. Pollock (1947) a été examinée. Un agent gélifiant $\text{AlSt}(\text{OH})_2$ ajouté au 20^{ème} siècle dans la formulation des tubes de peinture joue un rôle primordial dans la formation de soupe au stéarate (St) de zinc (ZnSt_2). Ces soupes se forment d'abord au niveau des particules du gélifiant $\text{AlSt}(\text{OH})_2$ puis progressent dans tout le tableau sous forme de particules de formes irrégulières. D'importants agglomérats de ZnSt_2 croissant du support du tableau sont observés et sont les précurseurs de futures boursouflures internes. Alchemy (1947, Peggy Guggenheim Collection, Venise) est un tableau avec de très nombreuses couleurs allant du blanc au jaune, rouge, vert, violet, bleu. Chaque couche de couleur est située sur une couche séchée préalablement ce qui donne une stratigraphie très complexe.



Fig. 38 - Alchemy de J. Pollock (1947)

d) Vieillesse du jaune de cadmium ⁴⁰

Le jaune de cadmium a été utilisé notamment quand on s'est aperçu de la mauvaise tenue dans le temps du jaune de chrome. Sur les tableaux de James Ensor (1860-1949) *Nature morte au chou*, tableau non verni on observe que le jaune de cadmium (CdS) qui était initialement brillant s'est terni. En outre de petits globules blancs à la surface sont apparus résultant d'une transformation chimique.

En utilisant les techniques de (μ -XANES) il a été montré que le soufre S^{2-} du CdS du jaune de cadmium est oxydé en sulfate SO_4^{2-} de degré d'oxydation 6. Grâce à une spectroscopie d'absorption des rayons X, on a pu d'une part confirmer que le soufre contenu dans la partie

jaune est toujours bien sous la forme de sulfure (CdS) et d'autre part on a trouvé que celui contenu dans la partie blanche se trouve sous la forme de sulfate (CdSO_4), ce qui correspond à la forme oxydée du soufre.

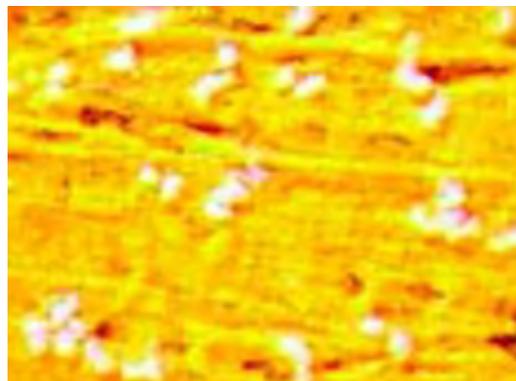


Fig. 39 - Détail de la couche jaune ($\times 40$) montrant des globules blancs avec un diamètre d'environ 10–20 μm

Le sulfure du pigment jaune a été oxydé par l'oxygène de l'air en sulfate, formant alors les taches blanches. Le sulfate de cadmium très soluble est transporté à la surface en solution et reprécipite à ce niveau formant des globules blanchâtres. La présence de $(\text{CdSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ et d'ammonium cadmium sulfate $[(\text{NH}_4)_2\text{Cd}(\text{SO}_4)_2]$ est confirmée. Le sel d'ammonium résulte d'une transformation du sulfate de cadmium avec l'ammoniaque. Ces dégradations sont observées là où la peinture est exposée à la lumière et l'humidité; le CdSO_4 étant très soluble dans l'eau des cycles humidité:séchage entraîne la dissolution et précipitation et donc formation de ces globules. Le cadmium sulfate ammonium $[(\text{NH}_4)_2\text{Cd}(\text{SO}_4)_2]$ dans la peinture dégradée provient-il de nettoyage du tableau avec de l'ammoniaque diluée? si cela se vérifie les conservateurs devront proscrire l'ammoniaque pour nettoyer des tableaux contenant du CdS.

Les mesures sur une coupe montre que le front d'oxydation a pénétré dans la couche jaune du CdS jusqu'à 1–2 μm en 100 ans.

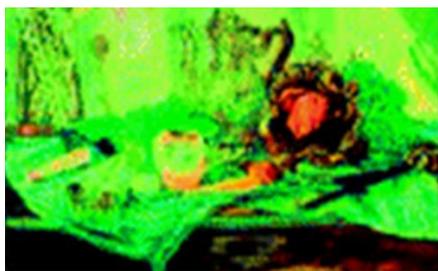


Fig 40 - Fluorescence UV du tableau *Nature morte au chou* .

Le CdS dégradé apparaît en brun, le CdS non-dégradé apparaît en orange; la couleur verte correspond à de l'oxyde de zinc blanc.



Fig. 41 - Fleurs dans un vase bleu, Van Gogh Kröller-Müller Museum

Vincent Van Gogh dans le tableau , “Fleurs dans un vase bleu” Kröller-Müller Museum, Pays Bas a aussi utilisé du jaune de cadmium.⁴¹

Entre les 2 tableaux (Ensor et Van Gogh) la morphologie de la dégradation est différente. On passe de discrets globules blanchâtres de sulfate de cadmium chez Ensor qui ternissent le tableau à une couche épaisse et très craquelée gris-

orange chez Van Gogh qui affecte la cohésion de la toile toute entière avec apparition de lacunes. Aux endroits où la couche de dégradation a disparu on retrouve en sous-jacent le jaune d'or initial. Le vernis est mat aux endroits de la dégradation.

Les échantillons sont analysés au European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) à Grenoble, et à Hambourg. Dans le tableau de Van Gogh “*Fleurs dans un vase bleu*” le tableau a été verni lorsqu’il commençait à se dégrader; la zone contenant le CdS est entièrement recouverte par une croûte opaque montrant un stade plus avancé de dégradation. Bien qu’aucun composé cristallin de sulfate de cadmium ne soit identifié dans le Van Gogh on envisage que la dégradation soit néanmoins due à une oxydation du CdS. La couche de vernis contient des composés à base de plomb comme desséchant ainsi que des ions oxalates. Les ions cadmium reprécipitent à l’interface couche picturale/vernis par formation d’oxalate de cadmium en une fine couche de $<10 \mu\text{m}$.

Les anions sulfates SO_4^{2-} réagissent avec Pb^{2+} qui provient du siccatif ajouté au vernis pour faciliter son séchage conduisent à la formation de sulfate de plomb PbSO_4 qui opacifie le vernis. L’ensemble donnant une croûte orangée déformant le tableau; la formation de film de cadmium oxalate à l’interface peinture/vernis combinée à la cristallisation de sulfate de plomb opaque entraîne la formation d’une croûte grise au niveau macroscopique.

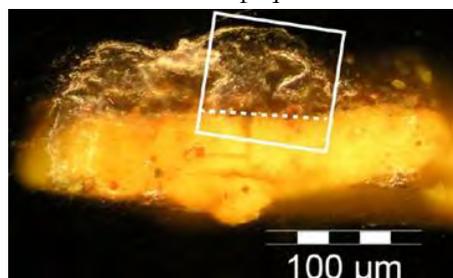


Fig. 42 - Micrographie en lumière visible de l'échantillon. On distingue une couche de vernis semi-transparente de $50 \mu\text{m}$ au-dessus de la couche jaune.

e) Décoloration du smalt ⁴²

Le pigment bleu, le smalt, est un verre au potassium dont la couleur bleue est donnée par des ions cobalt; très utilisé par les peintres du 16 au 18^{ème} siècle pour ne pas utiliser du lapis lazuli onéreux. Il est obtenu à partir de minerai de cobalt, de silice (sable), et de potasse par calcination; le verre obtenu est broyé; la couleur bleue dépend de la teneur en cobalt et de la taille des particules du broyat. Les particules de smalt au cours du temps deviennent incolores ou grises. Dans la peinture à l'huile le médium est affecté surtout si on n'utilise pas du blanc de plomb; il devient brun jaune donnant une apparence de brun au tableau. Mais il peut aussi se fragmenter de sorte que la lumière est plus dispersée entraînant un aspect blanchâtre.

Récemment l'analyse SEM-EDX a montré que la perte de potassium du smalt est impliquée dans sa détérioration mais a aussi montré que la teneur en cobalt variait peu lors de la perte de couleur.

le potassium relargué s'associe à l'huile du médium pour réagir avec ses acides gras conduisant à une soupe qui peut migrer à la surface et subir de nouvelles réactions avec les polluants atmosphériques. Le résultat final est une croûte à la surface contenant des sels de potassium insolubles.

La perte de la couleur est corrélée à la diminution de la teneur en potassium qui passe de 12–16 % à 1–2 %. Dans le smalt dégradé dans *Les Dieux de l'Olympe* (Véronèse) le potassium passe d'une teneur de 16%, à 0,9 % en masse. La couleur bleue est associée avec des espèces du cobalt sous forme tétraédrique tandis que la couleur rose est associée avec du cobalt sous forme octaédrique. Dans les silicates alcalins (potassium, sodium) le cobalt est toujours sous forme tétraédrique bleue plus stable que la forme octaédrique. Le potassium stabilisant mieux la structure tétraédrique que le sodium en donnant un bleu plus intense. Dans la

décoloration du smalt le degré d'oxydation du cobalt n'est pas modifié (II). Les études XANES montrent que la perte de couleur du smalt est associée avec une modification (augmentation) de la coordination du cobalt qui passe de l'état tétraédrique à octaédrique.

Conclusion

Les peintures sont des ensembles très complexes contenant des matériaux d'origines très diverses dont l'agencement entraîne des interactions (couleur, brillance, profondeur, ...) désirées par l'artiste qui sont l'essence même de l'oeuvre d'art. Néanmoins l'épreuve du temps a montré la fragilité de ces peintures. Les techniques modernes d'analyse permettent une meilleure connaissance de la technique du peintre et du comportement des pigments seuls ou en association avec les autres composants du tableau. Les conservateurs peuvent ainsi suivre le vieillissement des tableaux et prendre des mesures préventives pour ralentir ou stopper cette dégradation.

Références

- 1 <http://c2rmf.fr/art-et-science>
- 2 C. Amatore, A. Bouquillon, S. Descamps-Lequime, R. A. Jacquesy, K. Janssens, J.-C. Lehmann, M. Menu, M.A. Thebault, B. Valeur, P. Walter, *La chimie et l'art, le génie au service de l'homme* EDP Sciences (2010).
- 3 *L'actualité chimique* 2008, 318, numéro consacré à *Chimie et patrimoine culturel*.
- 4 *L'actualité chimique* 2007, 312, numéro consacré à *Chimie et patrimoine culturel*.
- 5 J.P. Mohen, *Les sciences du patrimoine : identifier, conserver, restaurer*, Odile Jacob (1999).
- 6 V. Gonzalez *Caractérisation micro-structurale et luminescence des carbonates de plomb : apport à la discrimination des pigments blancs de plomb des oeuvres peintes*, Thèse soutenue le 21 octobre 2016 à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris).
- 7 A. Derieux, S. Rochut, M.-C. Papillon, C. Pepe, *Comptes Rendus Acad. Sc. Sér. 2C Chimie* 2001, 4, 295. Pour une étude plus générale voir Sophie Dallongeville *Etude des protéines dans les échantillons du Patrimoine Culturel*

- par spectrométrie Raman et analyse Protéomique Thèse soutenue le 21 novembre **2011** à l'Université de Lille 1.
- 8 C. Solazzo, C. Rolando, C. Tokarski, *Protéomique dans l'art et l'archéologie* Actualité Chimique **2008**, n° 318.
 - 9 B. Valeur, *La chimie crée sa couleur...sur la palette du peintre* Page 129 dans *La chimie et l'art, le génie au service de l'homme* EDP Sciences **2010** voir aussi le texte sur www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie_art_129.pdf
 - 10 F. Delamare, B. Guineau, *Les matériaux de la couleur*. Découvertes Gallimard **1999**.
 - 11 http://www.cnrs.fr/cn/dossiers/doschim/decouv/couleurs/loupe_ocres_roussilon.html
 - 12 S. Pagès-Camagna, www.cnrs.fr/cn/dossiers/doschim/decouv/couleurs/loupe_pigments3.html
 - 13 M. Elias, Université Paris 7, CNRS www.edu.upmc.fr/conferences/2007/leonard
 - 14 I. Reiche, E. Chalmin, *De Lascaux à Van Gogh : de l'analyse de prélèvements à l'imagerie chimique non-invasive des peintures* Chimie Nouvelle, **2014**, 117, chimienouvelle.be/CN117%20flip/Article%20Reiche.pdf
 - 15 M. Cotte, J. Susini, *Art, spectres et rayons X* l'actualité chimique - octobre-novembre **2011** - n° 356-357, 113.
 - 16 L. Beck, *Lumière et art, ou comment (perce)voir l'invisible*, *Reflets de la Physique* **2016** n°47 – 48, p 100.
 - 17 L. de Viguierie, M. Alfeld, P. Walter, *La lumière pour une imagerie chimique des peintures* *Reflets de la Physique* **2016** n°47-48 p. 106.
 - 18 *Les Noces de Cana de Véronèse une œuvre et sa restauration* Edition Réunion des Musées Nationaux **1993** p 24.
 - 19 *Les Noces de Cana de Véronèse une œuvre et sa restauration* Edition Réunion des Musées Nationaux **1993** p 121-121.
 - 20 *Journal du CEA Saclay* **2006**, 32, 17.
 - 21 C. Scherrer, N. S. Zumbuehl, F. Delavy, A. Fritsch, R. Kuehnen, *Synthetic organic pigments of the 20th and 21st century relevant to artist's paints: Raman spectra reference collection*, *Spectrochimica Acta Part A* **2009**, 57 505.
 - 22 L. Burgio, R. J. H. Clark, *Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation*, *Spectrochimica Acta Part A* **2001**, 57 1491.
 - 23 S. Ruiz-Moreno, R. Pérez-Pueyo, A. Gabaldón, M.-J. Soneira, C. Sandalinas, *Raman laser fibre optic strategy for non-destructive pigment analysis. Identification of a new yellow pigment (Pb, Sn, Sb) from the Italian XVII century painting*, *J. Cultural Heritage* **2003**, 4, 309.
 - 24 B. Valeur, *La chimie crée sa couleur...sur la palette du peintre* page 129 dans *La chimie et l'art, le génie au service de l'homme* EDP Sciences **2010**.
 - 25 K. Janssens, *Matériaux du patrimoine et altération. Analyses par rayonnement synchrotron. La chimie et l'art, le génie au service de l'homme* EDP Sciences (**2010**) p 97-114.
 - 26 J. Dik, K. Janssens, G. Van Der Snickt, L. van der Loeff, K. Rickers, | et M. Cotte, *Visualization of a Lost Painting by Vincent van Gogh Using Synchrotron Radiation Based X-ray Fluorescence Elemental Mapping*, *Anal. Chem.*, **2008**, 80, 6436.
 - 27 A. Genty-Vincent, *les chances des vernis et des couches picturales des peintures de chevalet à l'huile*, juin **2017**, Thèse Université Cergy-Pontoise.
 - 28 M. Elias, P. Cotte, *Multispectral camera and radiative transfer equation used to depict Leonardo's sfumato in Mona Lisa*, *Applied Optics*, **2008**, 47, No. 16.
 - 29 M. Elias, P. Cotte, *La Joconde analysée à l'aide d'une caméra multispectrale*, *Techniques de l'ingénieur*, **2010**, 140, p. 1-10.
 - 30 B. Halford, *Oxygen Gives New Life To Art*, *Chem. Eng News* **2005**, 83,17 janvier.
 - 31 S. Everts, *Chem. Eng. News*, **2016**, 94, 1^{er} février, | p. 32.
 - 32 L. Monico, G. Van der Snickt, K. Janssens, W. De Nolf, C. Miliani, J. Verbeeck, H. Tian, H. Tan, J. Dik, M. Radepont, et M. Cotte, *Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Synchrotron X-ray Spectromicroscopy and Related Methods. 1. Artificially Aged Model Samples*, *Anal. Chem.* **2011**, 83, 1214.
 - 31 L. Monico, G. Van der Snickt, K. Janssens, W. De Nolf, C. Miliani, Joris Dik, M. Radepont, E. Hendriks, M. Geldof, et M. Cotte, *Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Synchrotron X-ray Spectromicroscopy and Related Methods. 2. Original Paint Layer Samples*, *Anal. Chem.* **2011**, 83, 1224.
 - 32 L. Monico, K. Janssens, C. Miliani, B. G. Brunetti, M. Vagnini, F. Vanmeert, G. Falkenberg, A. Abakumov, Y. Lu, H. Tian, J. Verbeeck, M. Radepont, M. Cotte, E. Hendriks, M. Geldof, L. van der Loeff, J. Salvant, et M. Menu, *Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Spectromicroscopic Methods. 3. Synthesis, Characterization, and Detection of Different Crystal Forms of the Chrome Yellow Pigment*, *Anal. Chem.* **2013**, 85, 851.
 - 33 L. Monico, K. Janssens, C. Miliani, Geert Van der Snickt, B. G.. Brunetti, M. C. Guidi, M. Radepont, et M. Cotte, *Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Spectromicroscopic Methods. 4. Artificial Aging of Model Samples of Co-Precipitates of Lead Chromate and Lead Sulfate*, *Anal. Chem.* **2013**, 85, 860.

- 34 L. Monico, K. Janssens, F. Vanmeert, M. Cotte, B. G. Brunetti, G. Van der Snickt, M. Leeuwestein, J. Salvant Plisson, M. Menu, et C. Miliani |, *Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Spectromicroscopic Methods. Part 5. Effects of Nonoriginal Surface Coatings into the Nature and Distribution of Chromium and Sulfur Species in Chrome Yellow Paints*, Anal. Chem. **2014**, 86, 10804.
- 35 G. Van der Snickt, J. Dik, M. Cotte, K. Janssens, J. Jaroszewicz, W. De Nolf, J. Groenewegen et L. Van der Loeff, *Characterization of a Degraded Cadmium Yellow (CdS) Pigment in an Oil Painting by Means of Synchrotron Radiation Based X-ray Techniques*, Anal. Chem., **2009**, 81, 2600.
- 36 L. Monico, K. Janssens, E. Hendriks, F. Vanmeert, G. Van der Snickt, M. Cotte, G. Falkenberg, B. G. Brunetti, and C. Miliani, *Evidence for Degradation of the Chrome Yellows in Van Gogh's Sunflowers: A Study Using Noninvasive In Situ Methods and Synchrotron-Radiation-Based X-ray Techniques*, Angew. Chem. Int. Ed. **2015**, 54, 13923.
- 37 F. Vanmeert, G. Van der Snickt, and K. Janssens, *Plumbonacrite Identified by X-ray Powder Diffraction Tomography as a Missing Link during Degradation of Red Lead in a Van Gogh Painting*, Angew. Chem. Int. Ed. **2015**, 54, 3607.
- 38 F. Gabrieli, F. Rosi, A. Vichi, L. Cartechini, L. Pensabene Buemi, S. G. Kazarian, and C. Miliani, *Revealing the Nature and Distribution of Metal Carboxylates in Jackson Pollock's Alchemy (1947) by Micro-Attenuated Total Reflection FT-IR Spectroscopic Imaging*, Anal. Chem. **2017**, 89, 1283.
- 39 F. Rosi, C. Grazia, R. Fontana, F. Gabrieli, L. Pensabene Buemi, E. Pampaloni, A. Romani, C. Stringari, C. Miliani, *Disclosing Jackson Pollock's palette in Alchemy (1947) by non-invasive spectroscopies*, C. Heritage Sci. **2016**, 4, 18.
- 40 G. Van der Snickt, J. Dik, M. Cotte, K. Janssens, J. Jaroszewicz, W. De Nolf, J. Groenewegen and L. Van der Loeff, *Characterization of a Degraded Cadmium Yellow (CdS) Pigment in an Oil Painting by Means of Synchrotron Radiation Based X-ray Techniques*, Anal. Chem., **2009**, 81 (7), 2600.
- 41 G. Van der Snickt, K. Janssens, J. Dik, W. De Nolf, F. Vanmeert, J. Jaroszewicz, M. Cotte, G. Falkenberg, and L. Van der Loeff, *Combined use of Synchrotron Radiation Based Micro-X-ray Fluorescence, Micro-X-ray Diffraction, Micro-X-ray Absorption Near-Edge, and Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopies for Revealing an Alternative Degradation Pathway of the Pigment Cadmium Yellow in a Painting by Van Gogh*, Anal. Chem. **2012**, 84, 10221.
- 41 L. Robinet, M. Spring, S. Pages-Camagna, D. Vantelon, et N. Trcera, *Investigation of the Discoloration of Smalt Pigment in Historic Paintings by Micro-X-ray Absorption Spectroscopy at the Co K-Edge*, Anal. Chem. **2011**, 83, 5145.

Jean-Yves Mérour

**Professeur émérite, Université d'Orléans
Membre titulaire de l'Académie d'Orléans**

Chimie et transition énergétique

Jean-Claude Bernier



1. Introduction

Les diverses réunions internationales soit sur le climat soit sur la transition écologique ont envahi la grande presse et les media en popularisant la notion de transition énergétique. On passe souvent sous silence les nécessités de recherche et d'innovation y compris en chimie que cette transition sous-entend. A chaque transition les conséquences ont été spectaculaires. Au Neandertal, avant la maîtrise du feu, la population sur terre ne dépassait pas un million, puis quelques milliers d'années après la maîtrise de la photosynthèse et l'agriculture ont multiplié cette population. Le milliard fut atteint grâce à la maîtrise de la vapeur. Le charbon, puis le pétrole et enfin le nucléaire ont conduit aux 7 milliards d'humains du XXI^e siècle. Car à chaque fois l'apport d'une énergie nouvelle maîtrisée permet de mieux nourrir, mieux soigner, mieux fabriquer, mieux vendre ... Mais la transition énergétique de ce siècle pose un défi totalement nouveau ; celui de passer d'un système où l'énergie était peu coûteuse et les ressources inépuisables à un système contraint de gestion d'une énergie chère et d'une économie des ressources. Lors de la COP 23, on a pu constater la difficulté de passer d'un monde énergétique basé à 80% sur les

ressources fossiles à un monde d'énergie durable avec une gestion parcimonieuse de ces ressources. Pour la France, la loi pour la transition énergétique et la croissance verte (LTECV) et le décret de 2015 sur la stratégie nationale bas carbone (SNBC) pris dans un moment d'enthousiasme, prévoyaient que 32 % de l'énergie consommée serait renouvelable en 2030 et que la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) serait de 40% par rapport aux émissions de 1990.

Les efforts pour parvenir à ces objectifs ne sont pas faciles. Les secteurs les plus gloutons sont les transports, le tertiaire et résidentiel, l'industrie et la production d'électricité. Dans ces secteurs, la part de la chimie et de l'innovation dans la recherche de solutions thermodynamiquement et économiquement acceptables est essentielle. Passons-les en revue.

2. Le Mix Electrique

C'est médiatiquement le point le plus discuté alors qu'il ne représente en France que 6% des émissions de gaz à effet de serre, loin derrière le transport et le résidentiel, il est vrai qu'il alimente la polémique sur la décision de baisser à 50% le nucléaire et de monter à 32 % la part des énergies renouvelables.

L'exemple allemand devrait pouvoir cependant nous servir ; « *L'Energiewende* » a été initiée en 2011 après la catastrophe de Fukushima au Japon avec la décision d'abandonner le nucléaire en 2022. Quelles en sont les conséquences Outre - Rhin ? En 2016 la production électrique a été de 620 TWh (milliards de KWh), la puissance nucléaire est passée de 22% en 2000 à moins de 6% mais représente encore 14% de la production. Le solaire installé est maintenant à 21,3% mais ne fournit que 5,3% de la production, l'éolien est monté à 23,5% mais ne produit que 13% de l'électricité. Cela tient au faible taux de charges des énergies renouvelables de l'ordre de 10 à 15%, qui sont intermittentes et nécessitent donc en relais le recours aux centrales thermiques (71 chez nos voisins) avec le plus mauvais charbon, le lignite très polluant, et qui émettent 250 millions de tonnes (MT) eqCO₂. Les conséquences pour le consommateur ne sont guère brillantes : le prix du KWh est l'un des plus élevés d'Europe 30 centimes d'euro (14c€ en France) et le rapport CO₂/ KWh est de l'ordre de 560g/KWh (contre 60g/KWh en France). Du point de vue économique, c'est plus de 156

milliards d'euros de subventions qui ont été distribuées et la taxe pour soutenir les énergies renouvelables est de 6,1c€ par KWh pour le particulier. Le Bundestag et plusieurs économistes ont pointé du doigt en 2016 et 2017 ces dépenses gargantuesques sur des technologies matures au

détriment d'investissements en recherche et innovations de ruptures. Ils ont aussi souligné le manque d'infrastructures entre le nord-est du pays peuplé d'éoliennes et le sud-ouest consommateur qui exigerait plus de 40 milliards

d'euros de lignes de transports qui perdent déjà 10 TWh/an par effet joules.

La France a un mix électrique particulier. En 2016, la production électrique de 531 TWh a été majoritairement décarbonée à 85% grâce au nucléaire (72%), à l'hydraulique (12%) et aux énergies renouvelables (5%). L'objectif de passer à 50% du nucléaire et à la fermeture de 17 réacteurs en 2025 aurait conduit à une situation similaire à celle de l'Allemagne, ce qu'avait compris l'ex Ministre de la transition écologique et solidaire en reportant cette échéance au-delà de 2030. On verra si cet objectif sera repris dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie fin 2018 accompagné d'une recherche qui peut d'ici là faire sauter quelques verrous technologiques.

2.1. Sur le nucléaire

La maîtrise des procédés de forgeage sur les aciers faiblement alliés (de type 16 MND5 ou 16-20 MND5) ainsi que la modélisation du vieillissement sous radiations sont essentiels pour la sûreté et la durée de vie des nouveaux EPR. La recherche sur les réacteurs à neutrons rapides (RNR) fait appel à la fabrication de pastilles frittées de UO₂/PuO₂ du combustible et



Fig. 1 – Centrale électronucléaire

l'obtention industrielle de sodium fondu et azote de très hautes puretés pour les échangeurs. Des avancées en chimie sur la corrosion et l'analyse de traces en milieu extrême permettent de progresser dans ce domaine. Le réacteur ASTRID de 600 millions de watts (MW) va servir de démonstrateur

pour un parc de nouveaux réacteurs qui doivent permettre de recycler un stock de combustible U/Pu pour une durée de 1000 ans. Une autre voie de recherche est celle des réacteurs au thorium où l'essentiel des voies de recherche

concerne la chimie des radio-isotopes et la corrosion des aciers aux sels ou alliages fondus. La fusion nucléaire représente une troisième voie : une fois maîtrisée, cette véritable rupture technologique donnera une énergie quasi inépuisable sans émissions de gaz à effet de serre et moins de déchets radioactifs. Le projet mondial ITER dont le chantier a débuté à Cadarache devrait démontrer techniquement et scientifiquement que la fusion peut devenir une nouvelle source d'énergie à l'échelle industrielle à l'horizon 2030-2040. Quelques ruptures technologiques, et non les moindres, se situent au niveau des alliages métalliques réfractaires internes, du système de chauffage du plasma, de la maîtrise de sa stabilité dans la durée et de la récupération et du stockage des cendres radioactives tritiées.

2.2. Sur les énergies renouvelables

L'éolien et le solaire représentaient en 2017 environ 20% de la puissance installée mais moins de 6% de la production électrique, ce qui correspond à un taux de charge global de l'ordre de 0,20. Pour réduire le nucléaire à 50%, il faut remplacer les 125 TWh manquants en installant des puissances de l'ordre de 25 à 30 milliards de watts (GW) pour l'éolien et 20 GW pour le solaire, ce qui revient à multiplier par trois le nombre d'éoliennes, soit 21 000 nouvelles implantations, et pour le solaire multiplier par quatre les surfaces des parcs photovoltaïques, soit environ 25 000 hectares et 250 millions de panneaux. L'innovation dans les champs éoliens reste modeste, les progrès dans la fabrication des pales de plus de 60m tiennent aux nouveaux composites à fibres de carbone.



Fig. 2 – Panneaux solaires : énergie photovoltaïque

Les moteurs de moulins à entraînement direct économisent la quantité de terres rares qui redeviennent stratégiques. De nouveaux revêtements furtifs sont à initier pour éviter les perturbations radioélectriques qui gênent les réceptions radio et le fonctionnement des radars d'aéroports ou de la défense.

Pour le photovoltaïque, les labos du CNRS sont bien placés pour développer d'autres filières dont les cellules à couches minces CIGS (Cu,In,Ga,Se) avec un rendement qui atteint plus de 22%. Le procédé attend néanmoins un développement industriel. Les cellules CZTS (Cu,Zn,Sn,Se,S). Celles aux pérovskites de type (CH₃NH₃) PbI₂ présentent une vraie rupture à condition de résoudre leurs faible tenue thermique. La voie des multi-jonctions et des cellules tandem suivie pour améliorer les rendements n'est pas à proprement parlé une rupture mais un développement courageux répondant à la feuille de route des « 30-30-30 » : en 2030, 30% de rendement panneau-voltaïque et un prix de 30 centimes par watt crête ! Même si le prix du watt crête (Wc) a été divisé par 3 en

5 ans, et que le MWh (million de watt heure) est proche de celui du MWh nucléaire, l'extension de « l'électricité verte » est liée à de fortes subventions d'Etat qui ont été la cible de la cour des comptes en 2017. Les freins sont à la fois technologiques et économiques.

Technologiques - les producteurs d'énergie renouvelable injectent les électrons dans le réseau de façon aléatoire. Pour garder le réseau en équilibre et éviter les « black-out », les opérateurs doivent maintenir l'équilibre consommation-production instantané à la milliseconde près, ce qui exige des algorithmes

sophistiqués et des plates-formes informatiques gérant des millions de données. Du fait de l'intermittence de production, il faut un tampon de réserve à l'échelle de plusieurs mégawatt que les batteries électrochimiques ion-lithium ou à flux, ne savent pas encore fournir pour un prix concurrentiel du MWh.

Economique - les géants de l'éolienne en Europe, tels Siemens-Gamesa issu de la fusion allemande-espagnole des deux concurrents Vestas et Nordex, ne sont pas à la fête et annoncent des milliers de licenciements et des marges opérationnelles déclinantes. Ils sont victimes des baisses des subventions mais aussi de la concurrence chinoise dont Goldwind est le champion. L'histoire du photovoltaïque est comparable après le rachat de la quasi-totalité des européens Q-Cells, Solarword, SMA Solar, Solarwatt, qui n'ont pas résisté au dumping chinois des panneaux solaires.

3. Les transports

Si la France est le bon élève de l'Europe avec ses faibles émissions de CO₂ pour la production électrique (France 60 g/KWh, Allemagne 560 g/KWh), elle reste un bon émetteur pour les transports ; 130 à 170 MT éqCO₂ pour les 38 millions de véhicules particuliers et autres utilitaires ou poids lourds.

On rappellera utilement que 1000 km en automobile émet 210 Kg de CO₂, en avion 310 Kg, en train 70 Kg grâce à notre mix électrique. La mobilité individuelle est à 97% dépendante du pétrole soit l'équivalent de 50 mégatonnes équivalent



Fig. 3 – Automobile à moteur électrique en charge rapide

pétrole (MTEP) qui grèvent notre balance commerciale.

La recherche et l'innovation technologique usent de plusieurs leviers pour réduire ces émissions :

- *L'allègement des structures par des alliages légers et les composites.*

Les nouveaux Airbus A 350 par exemple contiennent 52% de composites. Les moteurs automobiles ont réduit leur taille et sont en alliage d'aluminium. Les composites polymères ont conquis l'intérieur de la voiture mais font maintenant aussi partie des éléments de carrosserie grâce aux nouvelles colles pour l'automobile. Les progrès de la mise en œuvre des composites à fibres de carbone sont aussi passés par là.

- *Les véhicules propres.*

Les électro-chimistes ont fait des prouesses ces dernières années. Les batteries Ion-lithium sont de plus en plus fiables et augmentent leurs capacités massiques. Les moteurs électriques de propulsion ont également perdu du poids. Les véhicules à pile à combustion d'hydrogène ne sont plus un rêve, leur commercialisation débute mais elle s'accélérera comme, pour les véhicules électriques, avec la mise en place de station de recharges en hydrogène. Les réseaux français RS2E pour l'électro chimie et AFHYPAC pour l'hydrogène autour du CNRS, du CEA, de PME

et d'entreprises européennes sont très en pointe sur ces sujets.

- *La catalyse post émission*

Elle réduit les traces de CO, NO_x¹ et de particules fines, un moyen de réduire la pollution en ville et les émissions de gaz à effet de serre. En ce domaine les

¹ CO : monoxyde de carbone ; NO_x : divers oxydes d'azote

chimistes de la catalyse ont remarquablement travaillé pour que les motoristes puissent respecter les normes Euro 5 et Euro 6 ainsi que la nouvelle norme de validation la WLTD à partir de septembre 2018. Que ce soit pour les dispositifs LNT (Lean NOx Trap) ou SCR (Selective catalytic reaction), les catalyseurs base de PtPd/Rh ou de Pt-Rh-Ba/Al₂O₃ associés à des capteurs de PO₂ et de nouveaux filtres à particules sont de plus en plus sophistiqués et efficaces. Le réseau français des laboratoires de catalyse est de réputation internationale.

- Les biocarburants

Après la mise au point des biocarburants de première génération comme les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) et le bioéthanol issu des cultures sucrières, leur concurrence avec les cultures vivrières leur fait marquer le pas ainsi que les récents rapports de l'union européenne sur le très faible gain en matière de réduction des gaz à effet de serre. Ce sont maintenant les algaes carburants issus des huiles de micro-algues et le bioéthanol de seconde génération obtenu à partir de la cellulose des tiges et des feuilles des végétaux qui font l'objet de développements. Le projet français Futurol, développé dans plusieurs laboratoires de l'INRA, du CNRS, l'IFPEN et d'entreprises, arrive maintenant à la production pilote.

Dans ce domaine, deux conditions sont à remplir i) l'énergie pour les produire ne doit pas dépasser le gain procuré par le renouvelable ii) le prix de revient doit rester économiquement viable.

4. Le tertiaire et le résidentiel

Le chauffage et l'éclairage de nos habitations, des bureaux et magasins sont aussi des secteurs dévorateurs d'énergie et d'émissions de CO₂, de l'ordre de 112 MT éqCO₂.

Les taux de déperdition de chaleur d'une maison d'habitation

La mise au point des diodes électroluminescentes (LED), dont le nitrure de gallium et d'indium (InGaN) a permis de reconstituer la lumière blanche, a conquis l'éclairage domestique. Aujourd'hui, les LED remplacent les lampes à filament avec une économie énergétique d'un facteur 5. Les OLED dispositif à semi-conducteurs organiques encore plus économiques vont aussi attaquer ce marché.

Pour le chauffage, deux chantiers sont nécessaires, l'isolation et l'efficacité énergétique des bâtiments qui doivent progressivement respecter les normes RT2012 ou BBC (moins de 50 KWh/m²/an ou énergie positive). Pour l'isolation des bâtiments, les matériaux à faible coefficient de conduction thermique (λ) ont été largement développés : fibres de verre, fibres minérales, fibres végétales, où la chimie de synthèse et des revêtements a trouvé place. De même, les procédés de fabrication des polystyrènes expansés (PSE) ou extrudés, des couches de polyéthylène ou de la ouate de cellulose sont bien maîtrisés et confortent un secteur commercial important.

Pour les vitrages, les doubles lames de verre séparées par de l'air sec ou de l'argon à plus faible coefficient λ dotées d'un revêtement intérieur micro métallique réfléchissant le rayonnement infrarouge, se généralisent pour les ouvertures



Fig. 4 – Déperdition d'énergie d'une maison d'habitation

vitrées. Pour le gros œuvre les briques céramique monoblocs à structure alvéolaire, les multi-parois isolantes et les ossatures bois se partagent le marché de la construction. La rénovation thermique des bâtiments anciens est bien plus problématique, malgré les dispositions du crédit d'impôt, des emprunts à taux zéro et des subventions diverses. Le point noir est sans doute la formation des entreprises et artisans à ces aménagements car souvent après travaux, le rapport coût/efficacité énergétique est loin d'être satisfaisant. L'objectif de 400 000 rénovations thermiques annuelles visé par le gouvernement ne sera pas facile à réaliser.

Le crédit d'impôt de 30% cumulable avec l'éco-prêt, la possibilité du CEE (certificat d'économie d'énergie) pouvant être obtenu par le biais de grandes sociétés (ENGIE, TOTAL, etc.) ne suffisent pas. Le coût d'investissement

comparé aux bénéfices d'économies attendus a déçu nombre de particuliers et de sociétés qui avaient franchi le pas. Cela ne va pas s'améliorer. En juillet 2017, le

conseil d'Etat a suspendu l'application aux collectivités locales du décret sur la rénovation thermique à usage tertiaire. Par ailleurs, les ponctions financières imposées par l'Etat aux bailleurs sociaux (HLM) en 2018 vont diminuer leurs possibilités d'investissements et donc la rénovation du parc qui comporte 4,5 millions de logements. On ne peut s'empêcher de penser que les 122 milliards d'euros de subvention aux énergies renouvelables auraient pu être mieux employés en permettant pour le même prix la rénovation thermique de 400 000 logements par an pendant 10 ans, ce qui aurait divisé par 5 les

émissions de CO₂ du secteur en 2025 !

5. L'Industrie

Les émissions de gaz à effet de serre par l'industrie représentaient 85 MT éqCO₂ en 2016 alors qu'en 1990 elles étaient de 147 MT, c'est dire que le chemin de réduction de 30% est déjà fait. Il faut voir aussi que dans cette même période la part de l'industrie dans le PIB est passée de 18 à 11% !

La chimie, pour sa part, a suivi une démarche vertueuse conformément au programme européen « Responsible Care ». Les économies d'énergie et d'émission ont fait passer de 55 MT éq CO₂ en 1990 à 22 MT éqCO₂ en 2016, soit une réduction proche de 60%. Cette évolution a pu être obtenue par des investissements en génie des procédés économes en énergie, des

catalyseurs performants et la récupération thermique des émissions fatales.

Quelques prototypes de séparation et récupération du CO₂ pour en faire la matière



Fig. 5 – L'énergie pour l'industrie

première de molécules organiques sont en développement. La métallurgie a suivi le même chemin avec des contraintes inhérentes aux procédés. La production primaire de l'aluminium a été de 400 MT, et celle de l'aluminium secondaire de refusion de 460 MT, avec un bilan total de l'ordre de 2 MT de CO₂. Les essais de remplacement des électrodes de carbone dans le procédé cryolithique d'électrolyse Hall-Héroult par des électrodes inertes supprimant les émissions de CO₂ étaient jusqu'en août 2018 en stand-by avant que Alcoa et Tinto annoncent la réussite conjointe

de nouvelles électrodes. Pour l'acier, la production a été de 16 MT, dont 5,5 MT d'acier recyclé, ayant entraîné l'émission de 20 MT de CO₂ à comparer aux 30 MT en 1990. Avec déjà 33% de réduction, obtenus par des programmes d'innovation dans la réduction des minerais et de récupération de chaleur tels que ceux pratiqués dans le consortium européen ULCOS (Ultra Low Carbon dioxide Steelmaking), mais aussi hélas par la disparition d'un certain nombre de centres de productions qui ont fait passer la France du 8^o au 15^o rang mondial, soumis à la concurrence sauvage des pays d'Asie.

6. Conclusions

La transition énergétique pose un véritable défi aux chimistes. La chimie intervient dans le nucléaire, la séparation des actinides, les matériaux, les études de corrosion en milieu ionisant. Elle intervient aussi dans les énergies renouvelables :

- trouver de nouveaux photovoltaïques à fort rendement sans trop d'éléments rares ou stratégiques
- retrouver pour les moteurs des éoliennes des matériaux d'aimantation à faible concentration de terres rares
- résoudre le verrou technologique du stockage de l'électricité à l'échelle du GWh
- recycler les composants des batteries (Li, Co, Ni) avec des procédés rentables économiquement
- trouver des procédés de biosynthèses de transformation de la biomasse pour obtenir des molécules pour la chimie fine ou des biocarburants 2.0 pouvant concurrencer les produits issus du pétrole
- développer la chaîne des transports propres soit en trouvant les batteries à un rapport capacité/poids supérieur à 1KWh/kg ou des membranes et catalyseurs économiques pour les piles à hydrogène

- développer la chimie du CO₂, initier les nouveaux isolants nano structurés, innover sur les procédés de moulage des composites carbone compatibles avec une production automobile de masse
- trouver des méthodes chimiques de recyclage des métaux stratégiques pour l'énergie, compatibles économiquement avec le marché
- ... etc. J'oublie probablement de nombreux secteurs où la chimie est indispensable

Dans les émissions grand public et dans les journaux nationaux on oublie souvent quelques aspects importants en se basant essentiellement sur la nécessité de cette transition pour agir sur le réchauffement de la planète. Et si ce changement climatique était plus complexe et ne dépendait pas seulement de la teneur atmosphérique en CO₂ ? Le plus urgent pour les scientifiques paraît alors être l'épuisement des ressources naturelles et l'obligation forte d'y faire face en économisant les ressources fossiles carbonées et les ressources minérales. C'est une nouvelle chimie verte imaginative qui est en route, c'est une nouvelle chimie de l'énergie qui devient incontournable.

N'oublions pas cependant qu'une telle rupture repose aussi sur une évolution industrielle, sur une nouvelle politique publique, une transformation des infrastructures, une évolution sociétale, l'adoption de nouveaux comportements et l'acceptation d'un large public malgré les contraintes et les coûts économiques pénalisants et indispensables mais souvent passés sous silence dans les media.

La résistance du public à la transition énergétique est mesurable :

- au réflexe anti-nucléaire, alors que le nucléaire permet à la France une production électrique non carbonée
- à la grogne sur les prix du gazole et de l'essence alors qu'une diminution des consommations est indispensable

- aux recours administratifs sur l'implantation des champs d'éoliennes
- aux refus des constructions innovantes de type BBC
- aux bonnets rouges devenus jaunes opposés à la taxe carbone

Une information scientifique et économique hélas peu dispensée par les media serait nécessaire. Oui, l'énergie et les matières premières se feront plus rares et plus chères et cela va nous toucher au portefeuille y sommes-nous conscients ?

Pour en savoir plus :

- Chimie et enjeux énergétiques. EdP Sciences 273 P – 2013
- Chimie et changement climatique. EdP Sciences 253 p - 2016
- La transition énergétique quel chantier L'actualité chimique, juillet 2017 N° 420 P 7
- La baisse des émissions de CO₂ : quel chantier ! L'actualité chimique, septembre 2017 P 3
- Transition énergétique : la recherche, quel chantier ! L'actualité chimique, novembre 2017

Jean-Claude Bernier

**Professeur émérite de l'université de
Strasbourg**

**Ancien Directeur scientifique du
département des sciences chimiques du CNRS**

La biodiversité : mythe ou réalité ?

Gérard Tendron



La diversité biologique est une notion ancienne, bien connue des forestiers, mais le terme « biodiversité » n'a fait florès que depuis la convention sur la biodiversité adoptée au Sommet de la terre à Rio, en 1992, qui stipulait : « **La biodiversité désigne la variabilité des organismes vivants de toute origine et des écosystèmes dont ils font partie ; cela comprend la diversité des espèces ainsi que celle des écosystèmes** ».

Elle se décline en « *diversité écosystémique* » caractérisée par le nombre et abondance des habitats et des communautés, « *diversité interspécifique* » caractérisée par la diversité des espèces rencontrées dans une zone déterminée, « *diversité génétique* » qui permet aux espèces d'évoluer et de survivre en s'adaptant à des environnements changeants.

La complexité scientifique du sujet a été largement occultée et les médias se sont surtout intéressés à ce qu'on a appelé « *l'érosion de la diversité des espèces* », et ont stigmatisé les activités humaines considérées comme la cause principale de ce phénomène.

La définition d'une stratégie nationale pour la biodiversité et l'adoption d'une loi pour la reconquête de la biodiversité en 2016 ont marqué ces dernières années une volonté politique nouvelle en la matière et contribué à une prise de conscience par l'opinion publique des enjeux de la préservation de la biodiversité pour continuer à bénéficier des biens et des services fournis par l'agriculture et la sylviculture, limiter l'ampleur des maladies et des attaques de ravageurs, favoriser la résilience des écosystèmes aux changements climatiques, notamment.

1 - L'homme et la nature

Une opinion largement répandue est que **l'âge d'or de la biodiversité dans notre pays se situait au début du XX^e siècle**, avant la révolution agricole d'après guerre qui avec le remembrement, l'assainissement des terres, la mécanisation, le recours aux engrais et aux produits phytosanitaires a permis d'entrer dans l'agriculture intensive et l'augmentation spectaculaire des rendements, indispensable à la satisfaction des besoins alimentaires d'une population en forte croissance.

Cela ne doit pas faire oublier que les paysages agricoles et forestiers du siècle dernier résultaient d'interventions humaines majeures pratiquées au cours des siècles, commençant par les défrichements massifs commencés au Moyen-âge, l'assainissement des zones humides, les reboisements, la sylviculture, l'acclimatation puis l'introduction sur de grandes surfaces de nouvelles et nombreuses espèces cultivées comme la pomme de terre, le maïs, la tomate, la sélection de variétés plus productives tant pour la culture que pour l'élevage, avec la sélection de races laitières et de races à viande. **La grande richesse en espèces était due à ces nombreuses introductions, au morcellement des territoires à cause de l'émiettement des structures de production, de moyens limités de lutte contre les ravageurs.** L'abondance des effectifs de nombreuses espèces était également possible grâce à la grande disponibilité des ressources alimentaires, soustraites aux agriculteurs avant les récoltes par les prédateurs.

Cet âge d'or ne correspond donc pas à une nature spontanément riche et diversifiée, mais à des activités humaines qui façonnaient différemment les paysages agricoles et forestiers, les écosystèmes et les biocénoses, grâce notamment à la polyculture et à l'élevage, développés dans toutes les régions françaises, y compris en montagne, aujourd'hui désertées par les agriculteurs. Ce sont bien les pratiques agricoles qui ont accru la biomasse produite pour l'offre alimentaire et par le jeu des chaînes alimentaires, la richesse en espèces des différents prédateurs.

2 - L'érosion de la biodiversité

Le comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et le Muséum national d'histoire naturelle publient périodiquement depuis 50 ans **une liste rouge des espèces menacées en France**, établie à partir de constats réalisés sur le terrain par un réseau d'experts qui s'intéressent notamment aux évolutions des populations des principales espèces de la faune et de la flore. Ce réseau associe des établissements comme l'ONCFS et l'ONEMA et des associations comme les conservatoires botaniques, la Ligue de protection des oiseaux...

Les dernières publications de 2016 et 2017 font état pour la France métropolitaine de chiffres alarmants : 14 % des mammifères, 24 % des reptiles, 23 % des amphibiens, 32 % des oiseaux nicheurs sont menacés de disparition, tout comme 22 % des poissons d'eau douce, 28 % des crustacés d'eau douce et 17 % des espèces d'orchidées.

Si on prend le cas particulier des mammifères terrestres, sur 125 espèces recensées, 17 sont menacées et 24 autres quasi menacées, et leur situation s'est dégradée par rapport à l'inventaire précédent il y a 8 ans. Le vison et le putois d'Europe sont victimes de l'assèchement et de la mise en culture des zones humides. La dégradation des berges des cours d'eau dues aux opérations d'artificialisation affectent des espèces comme le campagnol amphibie ou le desman des Pyrénées. L'intensification des pratiques agricoles avec la destruction du bocage et des haies est évoquée dans la perte des habitats pour des

espèces comme le lapin de garenne et le putois, voire la perdrix grise. Le développement d'infrastructures routières représente une menace pour l'habitat d'espèces à aire de répartition restreinte comme le grand hamster. L'isolation et la rénovation des bâtiments fait disparaître les habitats de nombreuses espèces de chauves-souris. L'usage des pesticides réduit les ressources alimentaires des musaraignes.

Le deuxième exemple est celui des oiseaux. Huit ans après la première évaluation, l'actualisation de la liste rouge des oiseaux nicheurs montre une situation préoccupante et aggravée. Sur les 284 espèces se reproduisant sur le territoire métropolitain, 92 sont menacées soit 32 % contre 26 % en 2008. L'intensification des pratiques agricoles et la régression des prairies naturelles ont entraîné le déclin de nombreux oiseaux nicheurs, notamment les passereaux comme l'alouette, le bouvreuil, le chardonneret, le serin, mais aussi la bécassine des marais, l'outarde canepetière. L'artificialisation des berges des cours d'eau et leur pollution seraient à l'origine de la raréfaction du martin-pêcheur. Les rapaces sont menacés par l'électrocution sur les lignes à haute tension et le dérangement sur leurs sites de reproduction du fait des activités de loisirs, cas du gypaète barbu, souvent évoqué.

Pour ce qui est de la flore, l'utilisation massive d'herbicides et de fongicides dans les grandes cultures, tout comme dans l'arboriculture et le maraîchage se traduit par un appauvrissement de la flore spontanée. Sur les 6000 espèces recensées, plus de 500 seraient menacées de disparition.

Ainsi, il ne fait pas de doute que la diversité des espèces tend à diminuer, sous l'effet des activités humaines et des modifications des habitats de la faune et de la flore.

Encore convient-il de distinguer, ce qui est rarement fait, **la disparition d'espèces, phénomène assez rare, et réduction d'abondance, phénomène beaucoup plus fréquent et qui est le plus souvent réversible sous réserve de pratiques adaptées.** Faut-il alors évoquer, comme de nombreux médias le font, une sixième grande vague d'extinction des espèces, qui menacerait l'avenir de notre planète, et le rôle systématiquement nuisible de l'homme dans ces évolutions ? C'est de cela dont nous allons parler maintenant.

3 - L'évolution des milieux et des pratiques agricoles et sylvicoles

Depuis la dernière guerre les milieux agricoles et forestiers de notre pays ont considérablement évolué et ces évolutions, contrastées selon les zones géographiques, ont eu des impacts sur la faune et la flore, certains négatifs, d'autres positifs.

Un des constats majeurs de ces soixante dernières années est la contraction de l'espace agricole, et **la progression des espaces artificialisés et des forêts. Les terres non agricoles ont progressé de 2,5 millions d'hectares (Mha) et les forêts de 3,8 Mha, la surface agricole utile qui est de 29 Mha aujourd'hui, a régressé de 4,4 Mha. Les terres labourées couvrent 15 Mha, les surfaces en herbe 11 Mha les vignes et vergers 1,2 Mha.**

Au cours de la même période, **le foncier agricole a radicalement changé.** Alors qu'en 1960 la France comptait 2 millions d'exploitations agricoles, il en reste 300 000 et les agriculteurs sont passés de 4 millions à 600 000. Le remembrement qui a concerné 15 Mha s'est traduit par une augmentation sensible des parcelles, favorable à la mécanisation des travaux et des récoltes et à l'augmentation des rendements, lié également au drainage des terres humides (3 Mha), et à l'irrigation sur 2,6 Mha. Si les rendements agricoles ont cru de manière spectaculaire, le revenu agricole n'a pas toujours suivi, la chaîne de production et de distribution tirant les prix vers le bas sous l'effet de la mondialisation et du pouvoir majeur de l'aval dans la formation des prix au consommateur et la répartition de la valeur.

La disparition massive des haies, bosquets, arbres isolés, la rectification des cours d'eau et la régression générale des lisières se sont traduits par une régression globale de la diversité floristique et faunistique, accentués par l'utilisation de fertilisants, d'herbicides et d'insecticides, mais aussi d'engins lourds pour les labours qui tassent les sols.

Cependant, depuis les années 1990, des changements majeurs dans les pratiques agricoles ont été engagés. **Les agriculteurs sont appelés dorénavant à intégrer dans leur systèmes de cultures des préoccupations de protection et**

d'amélioration de l'environnement, favorables à la biodiversité.

Depuis 1992, la politique agricole commune (PAC) a permis la mise en œuvre de mesures agri-environnementales : l'entretien des haies, des fossés, des prairies et des chargements d'animaux contrôlés donnent droit à une aide à l'hectare d'herbage ; les actions en faveur de biotopes sensibles et la lutte contre la déprise sont également soutenues ; 2 Mha sont concernés par ces mesures.

Depuis 2003 a été institué le principe de conditionnalité des aides PAC, consistant à subordonner le versement des aides directes à l'agriculture au respect d'exigences en matière d'environnement, notamment. Le plan de développement rural hexagonal a donné la priorité aux moyens de faire fonctionner le réseau Natura 2000 qui couvre 12 % du territoire et d'appliquer la directive-cadre sur l'eau. Ce dispositif repose sur la contractualisation avec les exploitants pour faire évoluer leurs pratiques.

Depuis 2004 certaines mesures sont devenues obligatoires pour percevoir les aides normales : dans les zones soumises à érosion, maintien de surfaces en herbe, de haies, de talus, de murets, création de fossés, de haies ; protection systématique de la bordure des cours d'eau au moyen d'une bande herbeuse de 5 mètres, diversification minimale des cultures ; couvert végétal hivernal des sols ou enfouissement des résidus de culture obligatoires, en zone de monoculture ; zones non traitées en bordure de points d'eau.

Ainsi, de nombreux agriculteurs se sont engagés, individuellement ou collectivement dans une démarche de développement durable conduisant à prendre davantage en compte l'environnement, la sauvegarde ou la restauration de la biodiversité dans la gestion de leur exploitation. La promotion de l'agriculture raisonnée et de l'agriculture biologique, avec l'aide d'associations ou de structures socioprofessionnelles, a permis des progrès sensibles. Des initiatives individuelles exemplaires ont permis d'améliorer très sensiblement la qualité du milieu et de restaurer des populations naturelles de lièvres ou de bécasses. Des actions collectives comme « le plan d'action pour la conservation des territoires et de

l'environnement » en Loir-et-Cher, « le programme gestions de territoire » de Picardie, les « opérations groupées d'agriculture plus respectueuse de l'environnement » en Eure-et-Loir, le « réseau Agrifaune », visent, à partir de diagnostics de territoire, à adopter en commun et à mettre en œuvre des mesures favorables à la biodiversité. Parmi celles-ci, on peut citer : le maintien des zones humides, le travail du sol simplifié sans labour, favorable à la microfaune du sol, mais nécessitant l'emploi herbicides comme le glyphosate, le maintien de zones refuge en bord de champ, des dispositifs d'effarouchement de la faune pendant les récoltes, afin de préserver les jeunes (levrauts), l'absence d'irrigation des bords de champ pour préserver les nids, l'extension des cultures de légumineuses dans les assolements, favorables aux insectes donc aux oiseaux, la diminution des intrants (fertilisants, produits phytopharmaceutiques) et la création de bandes enherbées pour limiter les transferts de ces produits, le développement de la protection intégrée des cultures, le recours au piégeage plutôt qu'aux produits chimiques pour réguler les prédateurs, la restauration et l'entretien des haies, la conservation des talus et des banquettes herbeuses, la limitation des broyages ou des fauchages de printemps pour préserver la faune en période de nidification...

Cependant, il faut aussi souligner la poursuite de l'exode rural et de la déprise agricole au rythme de 40 000 ha par an, qui se traduit par le développement des friches et pré-bois et la fermeture des milieux ouverts et donc des changements des cortèges floristiques et faunistiques.

Par ailleurs, l'étalement urbain (constructions pavillonnaires, zones artisanales, entrepôts, parkings de surface) et les grands équipements structurants (TGV, autoroutes, canaux à grand gabarit), sont à l'origine de la fragmentation des habitats et de la diminution de la biodiversité, sans oublier les effets des changements climatiques qui se traduisent par des migrations d'espèces en latitude et en altitude. La pollution de l'air et de l'eau est nuisible au maintien de certaines espèces.

Pour ce qui est de la forêt, avec un taux de boisement de 31% et 16,9 Mha de forêts, (12,6 Mha privées, 2,7 Mha communales, 1,5 Mha

domaniales) la France a doublé sa surface forestière depuis le début du XIX^e siècle, grâce notamment à une politique volontariste de reboisement pour stabiliser les pentes (restauration des terrains en montagne), assainir les zones insalubres (landes de Gascogne), valoriser les terrains les plus pauvres (savarts de Champagne), mettre en valeur des territoires (Sologne) ou dévastés par la guerre (zone rouge de Verdun). Après la seconde guerre mondiale, les besoins en forte croissance de l'industrie (bois de construction et d'ameublement, bois de manutention, emballage, papiers et cartons) ont justifié une ambitieuse politique de reboisement ou de boisement de friches qui a porté sur plus de 2 Mha, grâce au Fonds forestier national (supprimé en 2001), initialement réservé aux plantations résineuses, aux peupleraies et ultérieurement aux feuillus.

L'extension de la surface de la forêt et son émiettement s'accompagnent souvent d'une augmentation des surfaces non gérées.

Les formations boisées de production s'accroissent régulièrement en volume sous les effets conjugués de l'accroissement du volume sur pied des reboisements réalisés depuis 50 ans et de la sous-exploitation des peuplements mal desservis pour la récolte, difficiles d'accès, éloignés des centres de transformation des industries du bois, de surfaces unitaires trop petites, de l'hétérogénéité des produits dont certains de qualité médiocre, en l'absence de sylviculture. Ainsi **la récolte annuelle est aujourd'hui limitée à 45 millions de m³ pour un accroissement biologique de 92 millions de m³, ce qui se traduit localement par des peuplements vieillis, insuffisamment éclaircis et régénérés, la fermeture du milieu et la raréfaction de certains biotopes.**

Cependant, étant feuillue pour 72 % des surfaces et résineuse pour 28 %, la forêt française conserve une forte diversité biologique qui tient à la variété biogéographique des territoires, des essences cultivées, souvent en mélange, et des modes de culture et notamment à la dynamisation de la sylviculture dans les massifs productifs et au développement des traitements irréguliers, favorables à la biodiversité.

Elle comprend 138 espèces d'arbres forestiers, 73 espèces de mammifères, 120 espèces d'oiseaux et 72 % des espèces de la flore métropolitaine.

On ne saurait passer sous silence les évolutions des grands mammifères **qui vivent souvent en forêt, même si ils peuvent se nourrir en plaine, et qui ont connu une expansion et un accroissement spectaculaires**. En cinquante ans, les populations de cerfs, de sangliers et de chevreuils ont été multipliées par quatre, six, voire dix selon les départements.

Le cerf, autrefois cantonné dans les grands massifs forestiers du centre et de l'est de la France est présent dans presque tous les départements, y compris de montagne. Les populations peuvent être estimées à près de 180 000 individus, les prélèvements étant de près de 60 000 animaux par an (pour 10 000 il y a 30 ans). Cette progression est forte dans les Alpes, le Massif central et les Pyrénées, et plus généralement dans le sud de la France.

Le chevreuil, absent de nombreux départements dans les années soixante, occupe dorénavant tous les types de milieux. Traditionnellement présent dans les forêts feuillues de plaine, on le trouve jusqu'à 2 000 m d'altitude. Il colonise les plaines cultivées, les landes, la garrigue. Ses effectifs atteignent probablement près de 2 millions d'individus et les prélèvements atteignent 600 000 animaux, pour 50 000 il y a 50 ans. Sa croissance se ralentit et certaines populations commencent à baisser, notamment par le développement de maladies sur des populations affaiblies, ayant saturé les capacités nourricières du milieu.

Le sanglier, présent dans tous les départements, a largement bénéficié de l'extension de la culture du maïs et des cultures spécialisées qu'il apprécie beaucoup. Il est à l'origine de 80% des dégâts occasionnés aux cultures agricoles et d'une forte proportion des collisions avec les automobiles. Le sanglier, autrefois nomade, est devenu sédentaire. Les effectifs de population fluctuent selon les conditions climatiques (les jeunes sont sensibles au froid, à l'humidité, à la sécheresse) et les possibilités de nourriture en forêt (fruits forestiers). Les prélèvements atteignent près de 700 000 individus par an, avec des fluctuations notables.

L'augmentation spectaculaire des populations de grands animaux s'explique par les évolutions des milieux: l'extension des surfaces forestières et la fermeture des grands massifs à la circulation automobile ont permis l'augmentation des zones de tranquillité et de nourriture pour les cervidés; le renouvellement plus rapide des vieux peuplements forestiers, indispensable pour dynamiser la sylviculture et augmenter les récoltes, a offert davantage de recrues pour les ongulés; le développement de la culture du maïs et des cultures spécialisées a largement profité au développement du sanglier. Mais les mesures de gestion mises en œuvre par les chasseurs ont aussi beaucoup contribué à ces augmentations: la mise en place du plan de chasse pour le cerf en 1963, étendu au chevreuil, a conduit à limiter les prélèvements, à sauvegarder les classes d'âge d'animaux participant au succès reproducteur; l'obligation du tir à balles au détriment de la chevrotine, s' est traduite par une moindre efficacité du tir et la diminution des animaux blessés; l'agrainage en forêt, à l'origine limité dans le temps pour protéger les cultures lors de périodes de vulnérabilité (semis, épiaison, maturité des grains) est devenu systématique, toute l'année, dans certaines forêts, générant des concentrations d'animaux et un succès reproducteur meilleur; la reconstitution de populations à partir de lâchers d'animaux sauvages capturés dans des réserves nationales entre 1955 et 1985 (4 800 cerfs et biches, 6 200 chevreuils, 2 600 sangliers); l'extension des réserves de chasse qui atteignent 2 500 000 ha et constituent des zones de refuge pour la grande faune.

On ne saurait terminer ce tableau sans évoquer les espèces protégées les plus emblématiques (sans oublier les programmes de conservation ou les mesures spécifiques concernant les tétraonidés, le grand hamster, le lynx, le vison d'Europe, les chiroptères...)

L'ours brun des Pyrénées dont la population en voie d'extinction a été renforcée par des lâchers d'animaux de 1993 à 1996, puis en 2006, et encore en 2018 avec deux lâchers d'ourses slovènes, et a nécessité un plan de restauration piloté par l'Etat, accompagné d'un programme de soutien à l'activité sylvo-pastorale, afin de réduire l'hostilité des éleveurs face aux dégâts occasionnés aux troupeaux ovins. La population d'ours estimée à

moins de 40 animaux n'atteint pas encore un seuil qui permet d'assurer sa pérennité.

Le retour naturel du loup dans l'arc alpin à partir des populations naturelles des Abruzzes, constaté depuis une vingtaine d'années, alors qu'il avait disparu depuis un siècle, éradiqué par les populations locales, pose également le problème de sa cohabitation avec les éleveurs locaux qui paient un réel tribut à sa prédation sur le mouton et à ses incidences sur la gestion des troupeaux. Des aides pour la prévention et l'indemnisation des dégâts n'ont pas suffi à garantir une cohabitation sereine et des autorisations de tir d'un nombre limité de loups (40 en 2018) se sont révélées utiles, prémices à des mesures de gestion certainement nécessaires, compte tenu de l'extension continue du front de colonisation.

Enfin, le développement des échanges internationaux des marchandises et du trafic international de voyageurs est à l'origine d'introduction dans notre pays de nombreuses **espèces allochtones, dont beaucoup se sont acclimatées et pour certaines sont devenues invasives** et menacent les populations autochtones. C'est le cas du frelon asiatique importé accidentellement dans des poteries venant de Chine et qui décime les populations d'abeilles, ou de la pyrale importée avec des buis produits en Chine et qui décime les buis autochtones en l'absence de prédateurs. C'est aussi le cas du ragondin, de l'écrevisse de Louisiane, de la grenouille taureau, de l'ambrosie, du phytolaque, de la jussie, de la tortue de Floride. Cette biodiversité nouvelle n'apparaît pas comme un réel progrès !

4 - L'homme et la nature en coévolution

Les constats qui viennent d'être rappelés montrent à l'évidence que **la biodiversité que nous cherchons à protéger ou à reconquérir n'a rien de spontané dans notre pays de vieille civilisation puisqu'elle est en grande partie le produit des activités humaines**, au premier chef l'agriculture et la sylviculture, qui se sont adaptées dans leurs pratiques aux différentes conditions pédoclimatiques rencontrées dans les régions afin de satisfaire les différents besoins des populations.

Les politiques publiques en faveur de la biodiversité, se sont considérablement

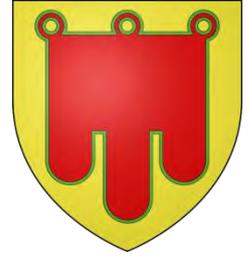
renforcées depuis la loi de 1976 sur la protection de la nature et la loi de 1993 sur la mise en valeur des paysages. La loi de 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages a pour ambition de protéger et de valoriser notre patrimoine naturel pour faire de la France le pays de l'excellence environnementale ! Elle crée l'Agence française pour la biodiversité, chargée de mettre en œuvre ces politiques, notamment dans ce qu'on appelle la nature ordinaire, par opposition aux espaces naturels protégés de longue date comme les parcs nationaux, les parcs naturels régionaux, les réserves biologiques forestières, les réserves de chasse et de faune sauvage, les conservatoires d'espaces naturels, les réserves naturelles, les terrains du Conservatoire du littoral et des rivages lacustres, les aires marines protégées, le réseau de la trame verte et bleue créé à la suite du Grenelle de l'environnement afin d'assurer des continuités écologiques, le réseau Natura 2000 pour la protection des biotopes et des écosystèmes d'intérêt communautaire. Dans leur majorité, ces espaces protégés constituent des réservoirs de biodiversité.

Enfin, on ne saurait oublier que la richesse en espèces dans un territoire donné dépend à la fois des pratiques antérieures, de la diversité des habitats naturels caractérisés par la nature des sols et les conditions climatiques locales, mais aussi de la variabilité des conditions environnementales. Concernant ce dernier facteur, on peut penser que **les changements climatiques majeurs, auxquels nous sommes déjà confrontés et qui risquent fort de s'amplifier, auront un impact essentiel sur les évolutions de la biodiversité, bien supérieur à celui des pratiques culturelles.**

Gérard Tendron

**Secrétaire perpétuel
de l'Académie d'agriculture de France**

*Dîner-débat de l'Académie d'Orléans
du 29 novembre 2018*



Voyage dans le nord de l'Auvergne

les 12 et 13 juin 2018

André Brack, Michel Deck et Christian Froissart.

Pour son voyage de 2018, l'Académie d'Orléans a choisi l'Auvergne qui, depuis l'achèvement de l'autoroute A71, est devenue une destination accessible d'Orléans pour une visite de deux jours.

Notre premier arrêt se fit aux portes de l'Auvergne, presque à la frontière du Bourbonnais, où nous visitâmes le château d'Effiat, dont le propriétaire, Hubert de Moroges, nous fit découvrir longuement, avec moult détails, ses richesses (architecture, mobilier, livres précieux et objets anciens). Le château a été construit de 1626 à 1628 par Antoine Coëffier de Ruzé d'Effiat, (Figure 1) ami de Richelieu et conseiller du roi en 1625, dont les terres furent érigées en marquisat en 1627 et qui devint maréchal de France en 1631. Il adopta Cinq-Mars à la mort du père de ce dernier en 1632. Sous l'Ancien Régime, le château hébergeait l'école royale militaire d'Effiat, tenue par les oratoriens et dont l'un de ses illustres élèves fut le général Louis Charles Antoine Desaix. Le château d'Effiat fut classé monument historique le 16 avril 1942. Le château est situé au

milieu d'une enceinte rectangulaire limitée par un canal formant douves. L'entrée se fait par un pont-levis et une porte monumentale, dont le décor sculpté est l'œuvre de Jean Languille, de Riom. Le château est actuellement constitué d'un corps de logis d'ordonnance classique encadré de deux pavillons saillants. La façade est ornée de pilastres doriques et de placages rectangulaires en roche volcanique.



Fig. 1. Hubert de Moroges nous accueille au château d'Effiat



Fig 2. La basilique Notre-Dame-du-Port

Histoire oblige, un déjeuner au restaurant le Cinq-Mars à Effiat compléta la matinée. En contournant la jolie ville de Riom, le car nous conduisit dans le centre de Clermont-Ferrand pour une visite libre de la magnifique basilique Notre-Dame-du-Port (Figure 2) construite entre les années 1120-1130 et la fin du XIIe siècle. La pierre utilisée est de l'arkose blonde, un grès feldspathique qui provient des carrières de Montpeyroux, village situé au bord de l'Allier, à environ 20 km au sud de Clermont-Ferrand.

Les chapiteaux, parmi les plus beaux d'Auvergne, avec un décor ornemental à base de feuillages pour les uns, narratif pour les autres, développent une pédagogie (Figure 3) destinée à enseigner la foi chrétienne, l'Ancien et le Nouveau Testament, opposant la Rédemption à la Chute.

Après une brève visite du vieux Clermont et de quelques hôtels en pierre de Volvic, le car nous amena à la gare d'Orcine où nous prîmes « le Panoramique des Dômes » afin d'atteindre facilement le sommet du Puy de Dôme à 1 465 m. De là, malgré une météo hésitante, nous pûmes admirer (Figure 4) les volcans presque neufs (moins de 12 000 ans) de



Fig 3. Châtiment de l'usurier

la chaîne des Puys et apercevoir, au loin, côté sud, le massif volcanique des monts Dore, beaucoup plus ancien (quelques millions d'années). On voyait bien aussi, côté est, le fossé d'effondrement de la Limagne, le tout soulevé aux altitudes actuelles par la montée relativement récente des Alpes. Des explications sur ces différentes formations nous furent données par notre confrère Michel Deck.

Les bagages déposés à l'hôtel Campanile, nous nous rendîmes à pied au restaurant *The Oval*, rendez-vous des supporters de l'équipe de rugby AS Montferrand. Si la plupart des participants rejoignirent l'hôtel directement, quelques intrépides firent



Fig. 4. Panorama depuis le Puy de Dôme

une visite nocturne de vieux hôtels de Montferrand.

Après une nuit réparatrice et un petit déjeuner pris au coude à coude, le car nous déposa à proximité du centre historique de Clermont pour une visite guidée de la cathédrale (Figure 5) dominée par son arbre de Jessé original. Même si la pierre de Volvic, gris très foncé, dérouta et masqua en partie la délicatesse de l'architecture,



Fig 5. Cathédrale de l'Assomption de Clermont

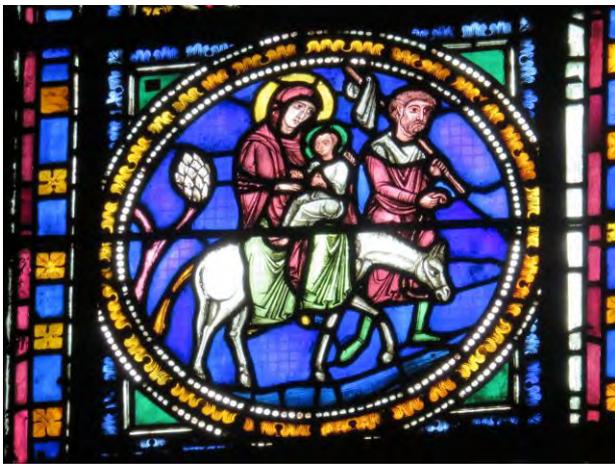


Fig 6. La fuite en Egypte (vitraux du XIIIème siècle)



Fig 7. Eglise de Saint Nectaire

c'est un très bel édifice dont la construction a débuté en 1262. Les vitraux (Figure 6) du

déambulatoire, en majorité du XIIIe siècle, furent particulièrement admirés.

En fin de visite, c'est sur la célèbre place de Jaude, où cavalcade Vercingétorix sur sa monture de bronze, que nous reprîmes le car à destination de la basilique de Saint-Nectaire, (Figure 7) un des plus célèbres édifices romans de la région. Le car emprunta des petites routes pour nous permettre de bénéficier d'une vue plongeante sur la basilique construite en trachyte (roche volcanique de couleur claire, riche en silice).

La façade est toute simple, sans aucune décoration, mais le chevet et la tour-lanterne sont remarquables. Les magnifiques chapiteaux du rond-point (Figure 8) représentant les saintes femmes au tombeau, la Passion du Christ, la descente aux limbes et la Transfiguration, furent expliqués par notre consœur Claude Baconnet.



Fig 8. Chapiteaux du rond-point

Après être passé sous les fortifications majestueuses du château de Murol juché sur son piton basaltique, le car nous déposa à l'entrée de la vallée glaciaire de Chaudesfour (Figure 9). Tandis qu'une majorité dégustait une excellente « truffade au jambon », quatre courageux marcheurs accompagnés de Guillaume, notre chauffeur, « dégustèrent » un sandwich lors d'une marche de deux heures dans un cadre géologique exceptionnel.

De là, le car nous conduisit au lac Pavin, (Figure 10) le dernier-né des lacs auvergnats (il y a environ 6 000 ans). Le lac, un maar résultant d'une explosion phréatomagmatique, aux eaux vert foncé, est entouré d'un talus circulaire, vestige de l'anneau de débris initiaux, maintenant

boisé, à part quelques escarpements restés rocheux.

Faute de temps, nous ne pûmes que traverser le petit bourg de Besse-en-Chandesse, avec ses ruelles anciennes, ses remparts, ses multiples « maisons de la reine Margot » avant de rejoindre

Orléans que nous atteignîmes un peu avant 21 heures.

Ce voyage a réuni quarante-cinq participants dont seize membres de l'Académie et huit conjoints.



Fig 9. La vallée glaciaire de Chaudefour et ses dykes volcaniques dégagés par l'érosion glaciaire



Fig 10. Au bord du lac Pavin