

**Épigénétique : Etude de la tectonique des gènes**  
D. Locker



Des souris au pelage différent suivant le régime alimentaire

Des vraies jumelles pas vraiment identiques

Molecular and cellular Biology 2003, 5293-9300

Nature vol 421 february 2003

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Plan

L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes

Introduction

- Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
- Une brève histoire de l'épigénétique

La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine

- La chromatine et sa structure
- Les remaniements de la chromatine
  - Méthylation de l'ADN
  - Remodelage de la chromatine
  - Code histone
  - Rôle des ARNs

Quelques phénomènes liés à l'épigénétique

- Les différences entre les jumeaux
- L'inactivation du chromosome X
- L'empreinte parentale

Nutrition et épigénétique

Cancer et épigénétique

Conclusion

Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Il y a cinquante ans naissait l'ère du «tout génétique». La séquence de l'ADN représentait l'unique support de l'hérédité. Les gènes furent alors considérés comme les maîtres de notre destin.

On s'aperçoit actuellement que l'ADN n'est pas cette entité magique dotée de tous les pouvoirs et qui déterminerait seule l'identité et le fonctionnement des êtres vivants

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Plan

L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes

Introduction

- Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
- Une brève histoire de l'épigénétique

La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine

- La chromatine et sa structure
- Les remaniements de la chromatine
  - Méthylation de l'ADN
  - Remodelage de la chromatine
  - Code histone
  - Rôle des ARNs

Quelques phénomènes liés à l'épigénétique

- Les différences entre les jumeaux
- L'inactivation du chromosome X
- L'empreinte parentale

Nutrition et épigénétique

Cancer et épigénétique

Conclusion

Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Des effets spectaculaires de l'épigénétique !**

Tous semblables ces clones? Non !  
Pourtant, ils ont bien tous la même identité génétique !



conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Des effets spectaculaires de l'épigénétique !**

Les jumeaux monozygotes sont génétiquement identiques



Avec l'age des différences phénotypiques apparaissent

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Des effets spectaculaires de l'épigénétique !**  
Des chats « calico » par inactivation du chromosome X.



conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Des effets spectaculaires de l'épigénétique !**  
Si l'on change la régulation épigénétique on change la destinée des cellules



conférence LACADO du 3 novembre 2011

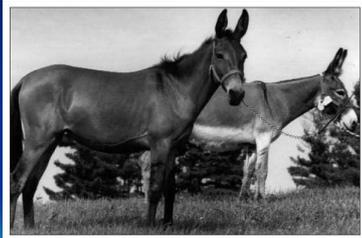
### Des effets spectaculaires de l'épigénétique ! tout est dans les gènes?

Croisement entre une jument et un âne

→ mule

Croisement entre un étalon et une ânesse

→ bardeau



Pourtant même identité génétique !

Science (2001) 293:1075

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Alors, comment définir l'épigénétique?

conférence LACADO du 3 novembre 2011

#### Définition

L'épigénétique décrit toutes les modifications transmissibles et réversibles de l'expression des gènes non codées par la séquence d'ADN.

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Les phénomènes épigénétiques résultent d'un programme qui détermine quels gènes activer ou inhiber.

La partie du génome exprimée dans un tissu spécifique s'appelle l'épigénome.

Il existe un code épigénétique qui se superpose au code génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

De l'importance de l'expression de l'épigénome : un papillon et la chenille dont il est issu possèdent les mêmes gènes mais ils ne sont pas exprimés de la même façon chez chacun d'eux.



conférence LACADO du 3 novembre 2011

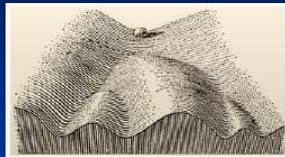
- Plan
- L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes
  - Introduction
    - Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
    - Une brève histoire de l'épigénétique
  - La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine
    - La chromatine et sa structure
    - Les remaniements de la chromatine
      - Méthylation de l'ADN
      - Remodelage de la chromatine
      - Code histone
      - Rôle des ARNs
  - Quelques phénomènes liés à l'épigénétique
    - Les différences entre les jumeaux
    - L'inactivation du chromosome X
    - L'empreinte parentale
  - Nutrition et épigénétique
  - Cancer et épigénétique
  - Conclusion
  - Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

En 1942 Waddington propose le terme épigénétique pour rendre compte des relations génotype et phénotype



Figure 1 | Conrad Hal Waddington. Reproduced with permission from BBE 1 © (1977) The Royal Society.



Le paysage épigénétique

Nature Review Genetics 2002, vol 3 889-895

conférence LACADO du 3 novembre 2011

En 1994 R. Holliday élargit la notion d'épigénétique



Nature Reviews | Molecular Cell Biology

*"Étude des changements dans l'expression des gènes qui sont héritables lors de la mitose et/ou de la méiose, et qui ne résultent pas de modifications de la séquence de l'ADN"*

Holliday R. Epigenetics : an overview. *Dev Genet* 1994 ; 15 : 453-7.

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Modifications génétiques**

Mutation : Altération de la séquence nucléotidique

**Héritable ! Irréversible !**

**Modifications épigénétiques**

Aucune altération de la séquence nucléotidique  
Modification de l'activité transcriptionnelle des gènes

**ADN**                      **CHROMATINE**

Méthylation de l'ADN (lots CpG)                      Modifications post-traductionnelles des histones (code histone) ARNs régulateurs

**Héritable ! Réversible !**

conférence LACADO du 3 novembre 2011

A quel niveau agissent les processus épigénétiques?

Essentiellement sur la configuration de la chromatine

Le support de l'information génétique ce n'est plus l'ADN seul c'est la chromatine !

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Plan

L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes

Introduction

Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique

Une brève histoire de l'épigénétique

La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine

La chromatine et sa structure

Les remaniements de la chromatine

Méthylation de l'ADN

Remodelage de la chromatine

Code histone

Rôle des ARNs

Quelques phénomènes liés à l'épigénétique

Les différences entre les jumeaux

L'inactivation du chromosome X

L'imprégnation parentale

Nutrition et épigénétique

Cancer et épigénétique

Conclusion

Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

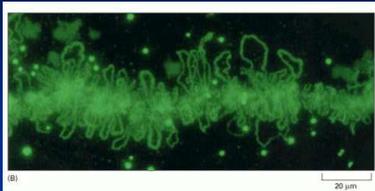
**La pré-histoire de la chromatine**

- Walther Flemming
  - En 1880 il appelle "chromatine" les chromosomes observés en mitose
- Les travaux suivants révèlent que la chromatine est constituée d'**ADN** et de **protéines**



conférence LACADO du 3 novembre 2011

La structure de la chromatine n'est pas monotone : certaines régions de la chromatine sont compactées, d'autres relâchées



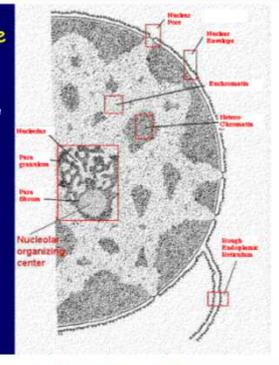
La tectonique, du grec τέκτων ou tektōn signifiant « bâtisseur », est l'étude des variations de structures géologiques et des mécanismes qui en sont responsables. Par analogie on peut parler de la tectonique de la chromatine et des gènes

Mol. Biol. Cell, 4<sup>th</sup> ed.

conférence LACADO du 3 novembre 2011

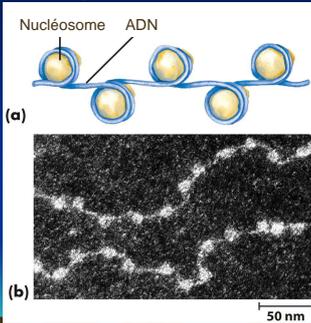
Différents types de chromatine:

- A. **Euchromatine**: active  
régions peu compactées qui se colorent faiblement.
- B. **Hétérochromatine**:  
Régions très compactées qui se colorent fortement  
silencieuse



conférence LACADO du 3 novembre 2011

La structure de base de la chromatine, un collier de perles!



conférence LACADO du 3 novembre 2011

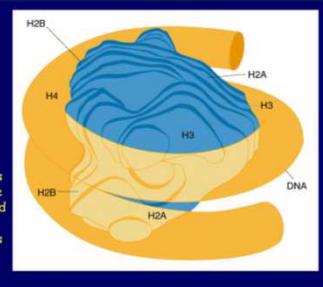
L'unité de la chromatine : le nucléosome

nucléosome :

*Octamère* :

- H2A
- H2B
- H3
- H4

• ~ 200 pb enroulées autour de l'octamère (2 tours), correspond à un taux de compaction de 7 fois



conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Résumé de l'empaquetage de l'ADN

short region of DNA double helix 2 nm

"beads-on-a-string" form of chromatin 11 nm

30-nm chromatin fiber of packed nucleosomes 30 nm

section of chromosome in extended form 300 nm

condensed section of chromosome 700 nm

entière mitotic chromosome 1400 nm

centromère

conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Les modifications de la structure de la chromatine jouent sur la compaction de l'ADN et par conséquent sur l'expression des gènes

Expression possible

Expression impossible

conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Plan

L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes

Introduction

- Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
- Une brève histoire de l'épigénétique

La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine

- La chromatine et sa structure
- Les remaniements de la chromatine
  - Méthylation de l'ADN
  - Remodelage de la chromatine
  - Code histone
  - Rôle des ARNs

Quelques phénomènes liés à l'épigénétique

- Les différences entre les jumeaux
- L'inactivation du chromosome X
- L'empreinte parentale

Nutrition et épigénétique

Cancer et épigénétique

Conclusion

Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Par quels processus la chromatine est-elle modifiée ? :

- 1) La méthylation de l'ADN, qui marque la cytosine, l'une des 4 bases.
- 2) Le remodelage de la chromatine.
- 3) La modification chimique des extrémités des histones.
- 4) Les variants d'histones
- 5) Les ARN non codants

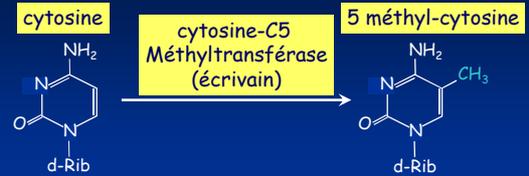
Il existe toujours deux acteurs à l'origine de cette tectonique: «l'écrivain» qui dépose une marque sur l'ADN ou la chromatine «le lecteur» qui interprète la marque

conférence LACADO du 3 novembre 2011

## Méthylation de l'ADN : Elle conduit à l'inactivation des gènes

conférence LACADO du 3 novembre 2011

méthylation : ajout d'un groupement méthyl par des ADN méthyltransférases



pas d'altération notoire de la structure de la double hélice

La méthylation de l'ADN se produit sur les cytosines présentes dans les dinucléotides CpG

conférence LACADO du 3 novembre 2011

F. Péronnet 2006

Pour montrer l'importance de ce phénomène, un exemple, celui du syndrome de Rett qui est associé chez l'homme à une mutation dans le gène *MeCP2* qui code une protéine (lectrice) reconnaissant les cytosines méthylées

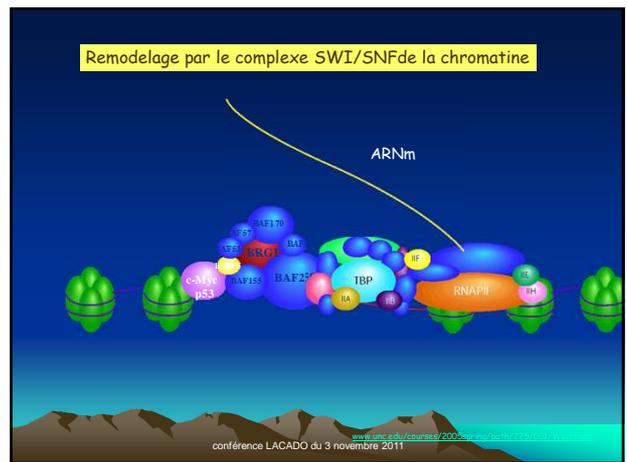
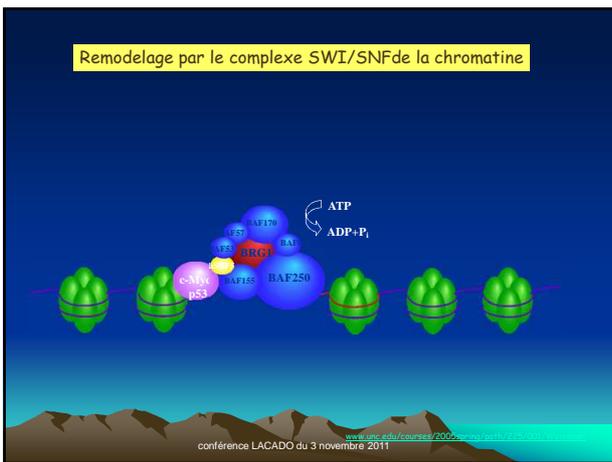
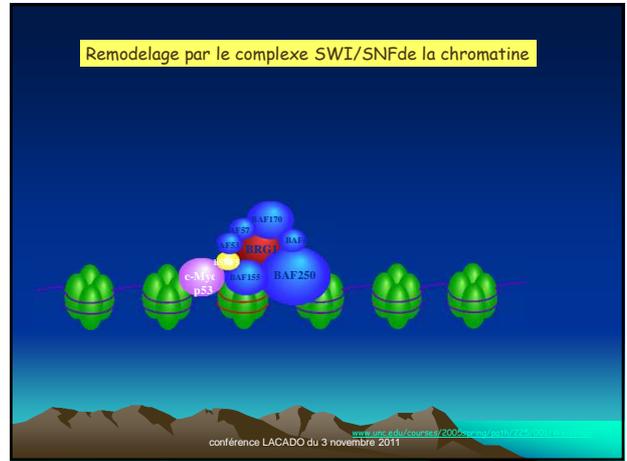
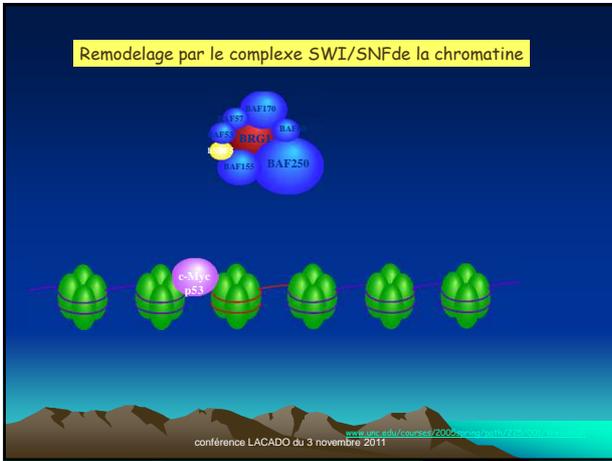
Développement apparemment normal jusqu'à l'âge de 6 à 8 mois. Absence de développement normal du langage. Mouvements répétitifs des mains (lavage de mains, torsions, etc.). Démarche instable ou mal assurée



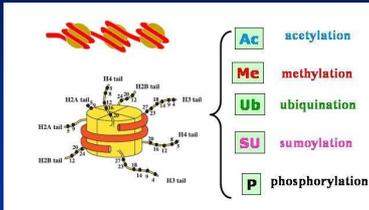
conférence LACADO du 3 novembre 2011

## Le remodelage de la chromatine : Ou comment des protéines déplacent les nucléosomes pour favoriser l'expression d'un gène

conférence LACADO du 3 novembre 2011



**Le code histone ou le marquage de la chromatine**  
(Strahl & Allis, 2000)



Genes Dev. 2001 15: 2343-2360

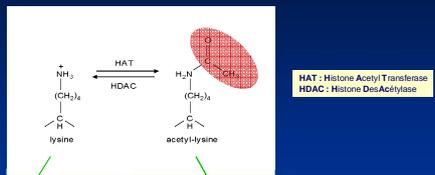
Les modifications (écrivains) des queues des histones constitueraient un code spécifiquement reconnu par des complexes protéiques (lecteurs).

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Quelles sont les conséquences du code histone?

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Acétylation des histones**



HAT : Histone Acetyl Transferase  
HDAC : Histone Deacetylase



conférence LACADO du 3 novembre 2011

F. Péronnet 2006

On découvre actuellement que les nombreux ARN non codants tiennent un rôle de plus en plus important dans les régulations épigénétiques

- ARN interférents (siRNA)
- Micro ARN (miRNA)
- ARN double brin (ds RNA)
- ARN hétérochromatique (sh RNA)
- Produits de transcription des séquences répétées (ALU, LTR)

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Plan

L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes

Introduction

- Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
- Une brève histoire de l'épigénétique

La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine

- La chromatine et sa structure
- Les remaniements de la chromatine
  - Méthylation de l'ADN
  - Remodelage de la chromatine
  - Code histone
  - Rôle des ARN*i*

Quelques phénomènes liés à l'épigénétique

- Les différences entre les jumeaux
- L'inactivation du chromosome X
- L'empreinte parentale

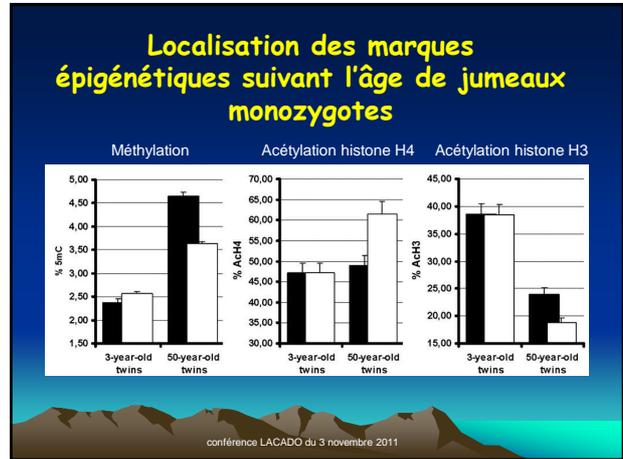
Nutrition et épigénétique

- Cancer et épigénétique

Conclusion

Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011



Des exemples de phénomènes épigénétiques chez l'homme:

- Inactivation du chromosome X

conférence LACADO du 3 novembre 2011

L'inactivation de l'X connue sous le nom de lyonisation

Mary Lyon chercheur britannique ayant proposé l'hypothèse suivante en 1961:

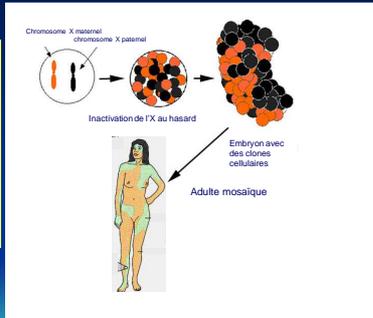
- Tôt dans l'embryogénèse du sexe féminin, un des deux chromosomes X est inactivé
- L'inactivation se fait au hasard dans chacune des cellules
- A peu près tous les gènes de l'X inactivé sont réprimés
- L'inactivation est permanente et maintenue lors des mitoses



conférence LACADO du 3 novembre 2011

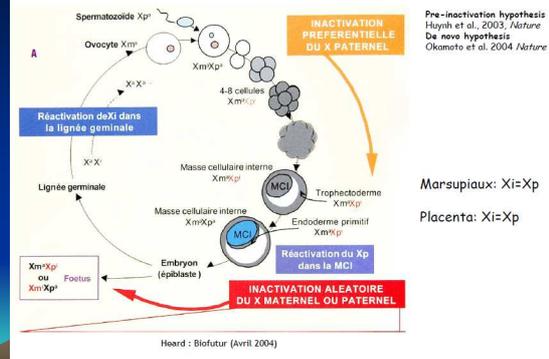
Mécanisme proposé

Mary Lyon propose l'explication suivante : d'une manière aléatoire, l'un des deux chromosomes X est inactivé à un stade précoce du développement. Cette inactivation est ensuite maintenue dans toutes les cellules filles. On obtient ainsi des mosaïques

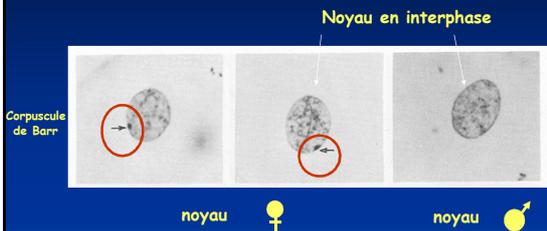


conférence LACADO du 3 novembre 2011

Un processus dynamique et labile



Bertram et Barr en 1948: observation des cellules en interphase de l'homme et de la femme



conférence LACADO du 3 novembre 2011

L'inactivation de l'X ne se fait pas toujours au hasard : ex chez les marsupiaux

le chromosome X inactivé est toujours celui du père



conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Un troisième effet épigénétique : l'empreinte parentale chez les mammifères**

*TU PARLES D'UNE EMPREINTE PARENTALE!*

Café des Sciences Moulins de Beaz 4 mai 2004 Dessinateur: J. Sondran  
conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Empreinte parentale chez les mammifères ou les génomes ont un sexe ! La parthénogénèse n'est pas viable chez les mammifères**

2 génomes maternels

2 génomes paternels

**Gynogénètes**  
Retard de croissance 25 somites  
Hypotrophiques  
Ectodermie cortex cérébral striatum

**Androgénètes**  
Peu développés 6 à 8 somites  
Abondants mais normaux  
Mésodermie muscle squelette système limbique

Embryons triploïdiques obtenus par transfert nucléaire

Embryons Tissues extra embryonnaires Contribution anormale des cellules ES en chénières

- Géno me paternel nécessaire pour le développement du placenta
- Géno me maternel nécessaire pour le développement de l'embryon

médecine/sciences 1999 - 15 - 520-34  
conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Les conséquences de l'empreinte parentale:**  
une entorse aux lois de Mendel chez l'homme

2 syndromes neurologiques distincts suivant qui, le père ou la mère transmet une délétion du chromosome 15:

**Angelman et Prader-Willi**

**Cette délétion comprend une région soumise à l'empreinte parentale**

conférence LACADO du 3 novembre 2011

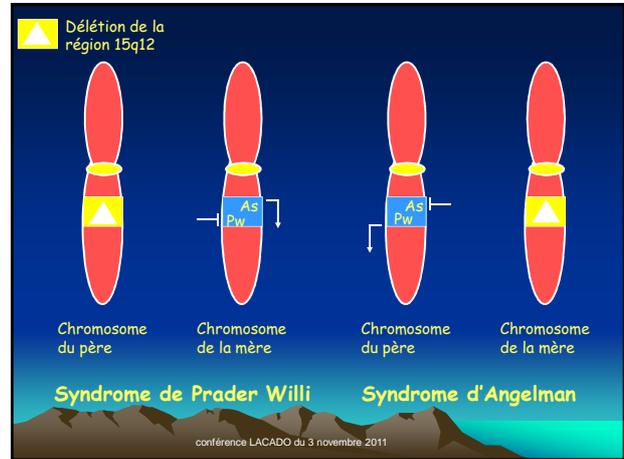
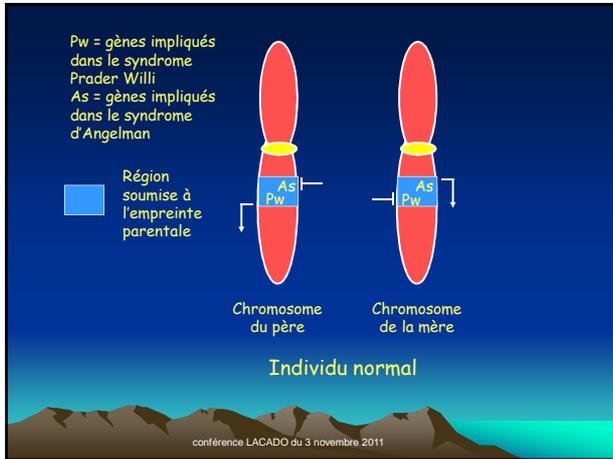
**Les syndromes de Prader-Willi et Angelman**

**Prader Willi :**  
Hypotonie  
Obésité  
Hypogonadisme  
Retard mental léger

**Angelman**  
Retard mental sévère  
Convulsions  
Fou rire sans justifications

Boys with Prader-Willi (left) and Angelman (right) syndromes  
<http://102.161.198.52/Genetics/Molecular/Design/CourseMa.in.asp?CourseNum=2&LessonNum=1&SlideNum=1>

conférence LACADO du 3 novembre 2011



**L'empreinte parentale pose des problèmes notamment dans les expériences de clonage des mammifères. Elle peut rendre compte de la faible efficacité du clonage**

conférence LACADO du 3 novembre 2011

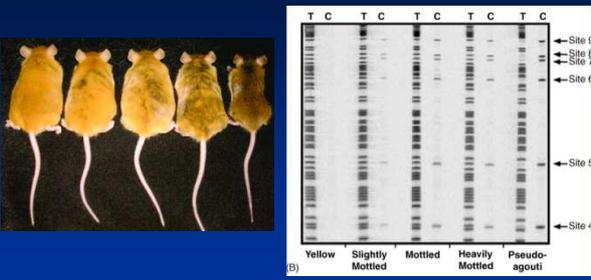
- Plan
- L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes
  - Introduction
    - Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
    - Une brève histoire de l'épigénétique
  - La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine
    - La chromatine et sa structure
    - Les remaniements de la chromatine
      - Méthylation de l'ADN
      - Remodelage de la chromatine
      - Code histone
      - Rôle des ARN*nc*
  - Quelques phénomènes liés à l'épigénétique
    - Les différences entre les jumeaux
    - L'inactivation du chromosome X
    - L'empreinte parentale
  - Nutrition et épigénétique
  - Concepts épigénétiques
  - Conclusion
  - Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique
- conférence LACADO du 3 novembre 2011

## Nutrition et épigénétique

### Des souris jumelles bien différentes



conférence LACADO du 3 novembre 2011



**La coloration du pelage est reliée au taux de méthylation du locus agouti**

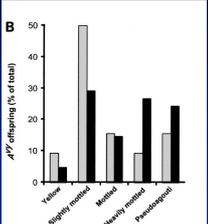
conférence LACADO du 3 novembre 2011

## Nutrition et épigénétique



**A**

Les souris jaunes ont un locus agouti hypométhylé  
les brunes un locus agouti hyperméthylé



**B**

Distribution de la couleur pour des descendants de mère alimentée: avec un régime pauvre en donneurs de groupement méthyle (blanc) ou riche en donneurs de groupement méthyle (noir)

Molecular and cellular Biology 2003, 5293-5300  
conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Hypométhylation**



**Yellow Mouse**

- Risques de cancer, de diabète et d'obésité
- Durée de vie raccourcie

Nourriture de la mère  
supplémentée  
avec :

→

zinc  
methionine  
choline  
folate  
B12

**Hyperméthylation**



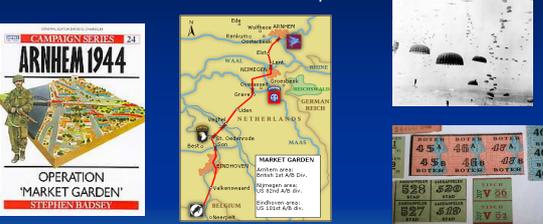
**Agouti Mouse**

- Risques faibles de cancer, diabète et obésité
- Durée de la vie allongée

Coohey et al. (2002) J Nutr. 132:299S  
conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Nutrition et effet épigénétique : La famine en Hollande durant l'hiver 44/45

Septembre 1944 l'opération « Market Garden » est lancée aux Pays-Bas



L'opération échoue partiellement entraînant un rationnement à 580 Kcalories/jour

conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Nourriture et épigénétique

Cette famine est associée à un hiver très rigoureux. Les femmes enceintes ont accouché d'enfants en mauvaise santé et de petite taille. Ces enfants devenus adultes ont également donné naissance à des enfants rachitiques.



580 calories/jour

- Mother - 1st generation
- Fetus - 2nd generation
- Reproductive cells - 3rd generation

conférence LACADO du 3 novembre 2011

Plan

- L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes
- Introduction
  - Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
  - Une brève histoire de l'épigénétique
- La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine
  - La chromatine et sa structure
  - Les remaniements de la chromatine
    - Méthylation de l'ADN
    - Remodelage de la chromatine
    - Code histone
    - Rôle des ARN*l*
- Quelques phénomènes liés à l'épigénétique
  - Les différences entre les jumeaux
  - L'inactivation du chromosome X
  - L'empreinte parentale
- Nutrition et épigénétique
- Cancer et épigénétique
- Conclusion
- Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

- **L'hyper méthylation des gènes suppresseurs de tumeurs pourrait contribuer à la tumorigénèse.**
- **L'implication des marqueurs épigénétiques dans le cancer ouvre la porte à la découverte de nouveaux systèmes de détection ainsi qu'à la mise en place de médicaments innovants**

conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Modifications de la chromatine au niveau des gènes suppresseurs de tumeur

**Situation normale**

**Situation tumorale**

DNMT=DNA méthylase  
 HDAC=Histone déacétylase  
 HAT=Histone acétylase  
 MBD=Protéines reconnaissant les CpG méthylés  
 CR=corepresseur de la transcription  
 CA=coactivateur de la transcription

MEDECINE/SCIENCES 2005, 21 : 405-11

conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Cancers associés à des mutations génétiques ou des modifications épigénétiques

Gènes	Rôles biologiques	Inactivation par		Principaux types de cancer associés
		mutations génétiques	modifications épigénétiques	
p16	Cycle cellulaire	-	-	Mélanoblastome, gliome, cancers du colon
p15/INK4	Inhibiteur de la transcription dépendant de CDK	+	+	Léucémie, lymphome, cancers de la prostate et du poumon
p18/INK4B	Inhibiteur des CDK 4 et 6	+	-	Léucémie, lymphome
p53	Protéine de l'intégrité du génome	+	+	Cancers du poumon, de la prostate, du sein et de l'ovaire
BRCA1	Régulation de la transcription et réparation de l'ADN	+	+	Cancers du sein et de l'ovaire
hMLH1	Régulation de l'ADN et réparation des brisques	+	+	Cancers du sein et de l'ovaire
hMSH2	Régulation de l'ADN	+	+	Cancers du sein et de l'ovaire
Caspase 8	Clivage de substrats lors de l'activation des récepteurs de mort	+	+	Mélanoblastome, cancers du poumon et du foie
DAK1	Régulation de la transcription	+	+	Lymphome, gliome, cancers gastrique et du col de l'utérus
E-cadherine	Migresion, invasion	+	+	Cancers gastrique, de la thyroïde et du sein
hMP-3	Régulation des facteurs de croissance	+	+	Mélanoblastome et cancer du foie
PTEN	Inhibition de la voie de la PI3-K	+	+	Glioblastome, cancers gastrique, du sein et de l'ovaire
ER	Contrôle de la prolifération	+	+	Cancers du sein et de la prostate
hIC1	Autre suppresseur de tumeurs ? (épimutateur transcriptionnel)	-	-	Mélanoblastome, gliome, cancers du sein et de l'ovaire
DNMT3	1 (Normalogène avec DNMT)	+	+	Cancers de l'ovaire
BRIS1/1A	Interaction et stabilisation des microtubules	+	+	Gliome, mélanome, cancers du poumon et du sein

conférence LACADO du 3 novembre 2011

### Plan

- L'épigénétique ou l'étude de la tectonique des gènes
- Introduction
  - Quelques effets spectaculaires de l'épigénétique
  - Une brève histoire de l'épigénétique
- La tectonique des gènes ou les modifications de la structure de la chromatine
  - La chromatine et sa structure
  - Les remaniements de la chromatine
    - Méthylation de l'ADN
    - Remodelage de la chromatine
    - Code histone
    - Rôle des ARN
- Quelques phénomènes liés à l'épigénétique
  - Les différences entre les jumeaux
  - L'inactivation du chromosome X
  - L'impression parentale
- Nutrition et épigénétique
- Cancers et épigénétique
- Conclusion
- Naissance d'un nouveau « dogme » de la génétique

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Génétique**  
 ADN → ARN → Protéines → Phénotype

**Epigénétique**  
 ADN → ARN → Protéines → Réseaux épigénétiques → Phénotype

En 1960 : le dogme de la Biologie moléculaire

En 2011 une nouvelle façon de voir les choses

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**l'épigénétique permet d'obtenir des phénotypes différents sur les mêmes bases génétiques**



1857  
1993

Génotype  
↓  
Environnement + Facteurs intrinsèques  
↓  
Phénotype

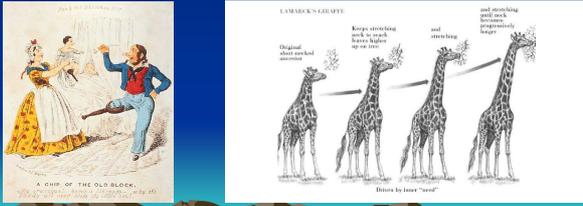
conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Le passage d'une marque épigénétique à travers la lignée germinale prouve que le profil épigénétique n'est pas complètement effacé lors de la gamétogenèse.**

Alors s'agit-il d'une hérédité des caractères acquis?

Retour vers Lamarck ?

**Pas de conclusions hâtives. Pas d'orientation dirigée par l'environnement pour favoriser l'adaptation des organismes**



conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Pour résumer**  
Toute l'information n'est pas inscrite dans l'ADN!

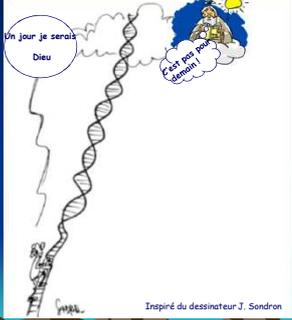


épigénétique «interprétation»  
génétique «ADN»

Chromatine fermée gènes réprimés  
Chromatine ouverte gènes exprimés  
Etat de la chromatine héritable, réversible, sensible à l'environnement

conférence LACADO du 3 novembre 2011

**Merci de votre attention**



Un jour je serais Dieu  
C'est pour ça que j'ai peur!

Inspiré du dessinateur J. Sondron

conférence LACADO du 3 novembre 2011