

**COLLOQUE** IUFM de Paris  
10, rue Mollat  
75016 Paris  
Mardi 02 Juillet 2013 AMPHI 2

**AFPSVT**  
Association pour le transfert de la formation  
au service de la Sorbonne de Paris

**MODELES ET MODELISATION EN  
BIOLOGIE ET GEOLOGIE**

- 9h : accueil - café
- 9h45h : ouverture Robin **BOSDEVEIX** (Président AFPSVT)
- 10h : **Thierry HOQUET** (PU de philosophie - Université Lyon3)  
«Les expériences mentales : approche philosophique et historique»
- 10h45 : **Denise ORANGE-RAVACHOL** (PU en didactique - Université Libre3)  
«Les élèves, les enseignants et les problèmes de modélisation : présentation des travaux du séminaire de recherche en didactique des Sciences de la Terre»
- 11h30 : **Patricia SCHNEEBERGER** (PU en didactique - Université de Bordeaux) & **Patricia CREPIN-OBERT** (PRAG SVT - Université de Franche-Comté)  
«Expériences de démarches historiques pour construire la modélisation et l'évaluation de l'ADN»
- 14h : **Pierre THOMAS** (PU - ENS Lyon)  
«La biologie des plantes de 1879 à 2011 : Qu'est-ce qui a changé dans le monde et pourquoi (2010) ? Changé dans la transmission depuis l'époque des plantes fossilisées»
- 14h45 : **Yann BASSAGLIA** (MCU - Université Paris-Est-Creteil)  
«Modèles en biologie cellulaire - comment nous aide de ce que nous observons?»
- 15h45 : **Guillaume LE HIR** (MCU - Université Paris Diderot)  
«L'évolution du climat : avantages et limites de la modélisation»
- 16h30 : **Christian ORANGE** (PU en didactique - Université Libre de Bruxelles)  
«Synthèse de la journée : quels ont perspectives plus possibles en classe et nos modèles de laboratoire en biogéochimie?»



MERCI À L'IUFM DE PARIS

**AFPSVT**  
Association pour le transfert de la formation  
au service de la Sorbonne de Paris





**ALAIN FRUGIÈRE**  
Directeur

## REMERCIEMENTS



- **Patricia CRÉPIN-OBERT** : organisation scientifique
- **Murielle CAUCHIES** : conception de l'affiche et enregistrement, montage et mise en ligne des vidéos
  
- Et bien sûr : tous les conférenciers !

## INFORMATIONS PRATIQUES



- **Repas** : restaurant de l'IUFM avec ticket repas distribué lors de l'accueil
  
- **Café** en salle des actes (comme l'accueil)

## TARIF DE L'INSCRIPTION



- 12€ par jour pour les adhérents et 20€ pour les non-adhérents
  - Rappel : ADHESION 2013 = 30€
- Voir Christophe GUEGO, trésorier



## PROCHAIN COLLOQUE



- **13/01/2014**
  - ▣ nos masters, le concours, la formation scientifique en 1<sup>er</sup> degré
  - ▣ AG annuelle de l'AFPSVT
- **14/01/2014** : journée thématique  
« [La croûte continentale](#) »  
coordonnée par Anne-Sylvie ANDRÉ-MAYER (Nancy)



## COMPTE-RENDU



- Mise en ligne des conférences et des diaporamas
- Lien sur notre site : [www.afpsvt.fr](http://www.afpsvt.fr)
- Conséquence pratique : questions uniquement avec le micro HF

## MODÈLES ET MODÉLISATION



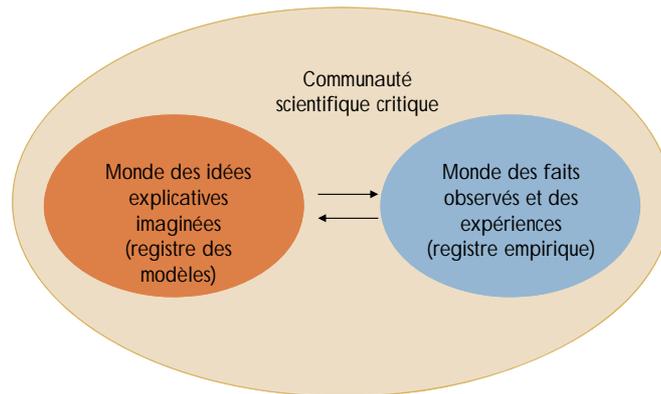
- Modèles biologiques : modèles d'étude de laboratoire, espèces « représentatives », exemples permettant une généralisation
- ⇒ **Les organismes modèles : approche philosophique et historique** : **Thierry Hoquet**, Université Jean Moulin - Lyon 3



## LA SCIENCE ET LES MODÈLES



- Science : construction de modèles explicatifs dans le cadre de problèmes donnés



(d'après Orange 2003a, modifié)

## INTERVENTIONS BIOLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES



- La tectonique des plaques de 1970 à 2013 : qu'est-ce qui a changé dans le modèle et n'a pas (assez) changé dans sa transmission depuis l'époque des pères fondateurs : **Pierre Thomas, ENS Lyon**
- Modèles en biologie cellulaire : sommes-nous sûrs de ce que nous observons ? : **Yann Bassaglia, UPEC**
- L'évolution du climat : avantages et limites de la modélisation : **Guillaume Le Hir, Paris Diderot / IPGP**



## SYNTHÈSE DE LA JOURNÉE



- Mise en perspective des modèles en classe et des modèles de laboratoire en biogéosciences :  
**Christian Orange, Université Libre de Bruxelles**

**COLLOQUE**  
Mardi 02 Juillet 2013

IUFM de Paris  
10, rue Molitor  
75016 Paris  
AMPHI 2

**AFPSVT**  
Association pour le Formation des Professeurs de Sciences de la Terre et de la Vie

**MODÈLES ET MODÉLISATION EN BIOLOGIE ET GÉOLOGIE**

9h : accueil - café  
9h45h : ouverture Robin **BOSDEVEIX** (Président AFPSVT)

10h : **Thierry HOQUET** (PU de philosophie - Université Lyon3)  
«Les expériences modèles : approche philosophique et historique»

10h45 : **Denise ORANGE-RAVACHOL** (PU en didactique - Université Lorraine)  
«Les élèves, les enseignants et les problèmes de modélisation : présentation des travaux de séminaire de recherche en didactique des Sciences de la Terre»

11h30 : **Patricia SCHNEEBERGER** (PU en didactique - Université de Bordeaux) & **Patricia CHEPIN-OBERT** (PRAG SVT - Université de Franche-Comté)  
«Exploration de démarches historiques pour construire la modèle scientifique et générique de l'ADN»

14h : **Pierre THOMAS** (PU - ENS Lyon)  
«La modélisation des plaques de 1970 à 2012 : Qu'est-ce qui a changé dans le modèle et où peut-il être changé dans la transmission depuis l'époque des jeunes enseignants»

14h45 : **Yann BASSAGLIA** (MCF - Université Paris-Est-Creteil)  
«Modèles en biologie cellulaire : sommes-nous sûrs de ce que nous observons?»

15h45 : **Guillaume LE HIR** (MCF - Université Paris Diderot)  
«Évolution du climat : avantages et limites de la modélisation»

16h30 : **Christian ORANGE** (PU en didactique - Université Libre de Bruxelles)  
«Synthèse de la journée : mise en perspective plus réaliste en classe et des modèles de laboratoire en biogéosciences»

# Qu'est-ce qu'un organisme modèle?

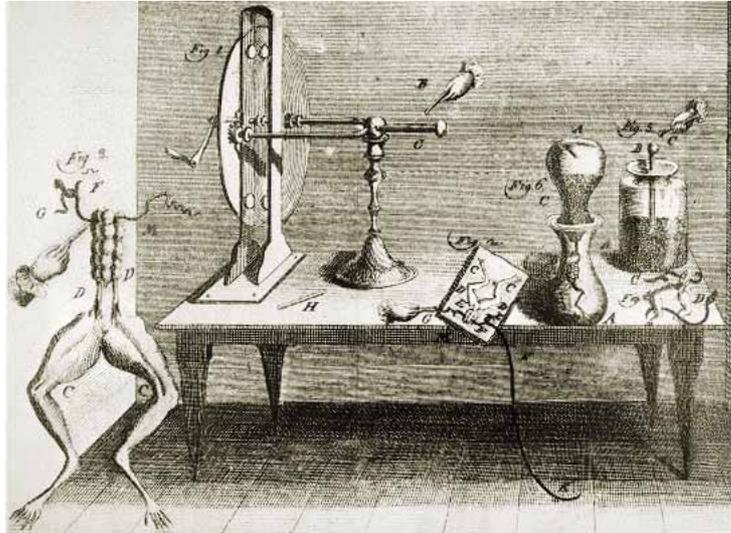
Thierry Hoquet  
Université Lyon 3 Jean Moulin

AFPSVT, 2 juillet 2013  
« Modèles et modélisations en biologie et géologie »

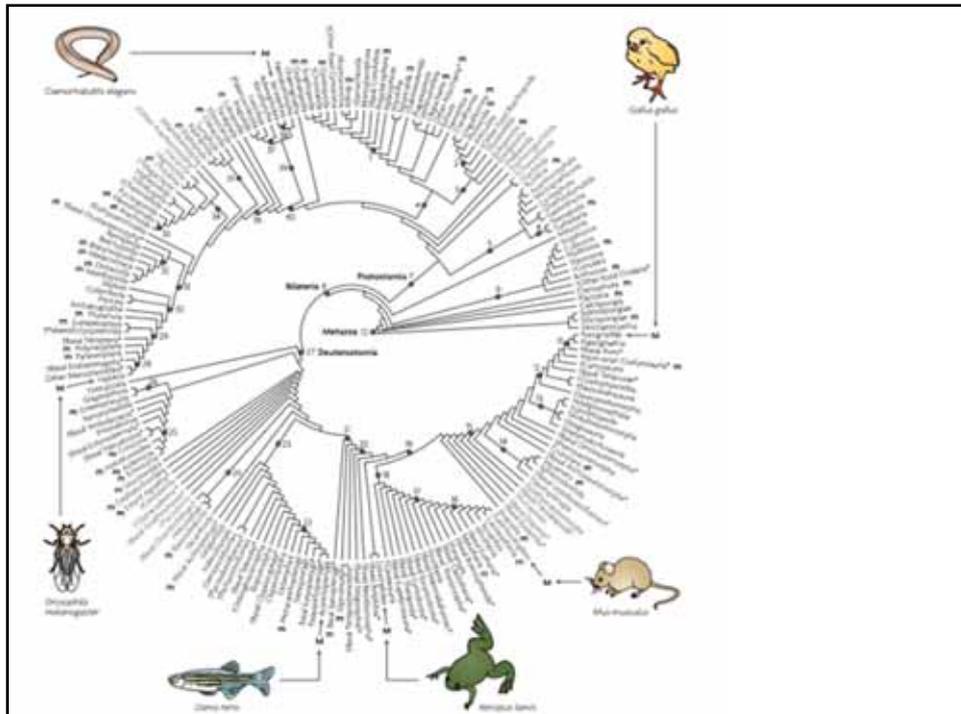
## Crombie (1994)

- Postulats
- Expériences
- Modèles
- Taxinomie
- Statistiques
- Histoire

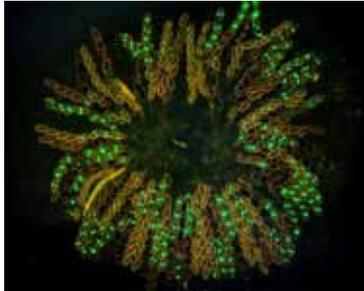
# OM ou organisme expérimental?



Galvani

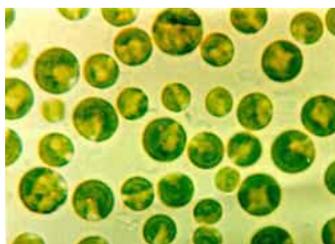


## Galaxie de créatures aux propriétés spéciales



- *"Model organisms are non-human species that are extensively studied in order to understand a range of biological phenomena, with the hope that data and theories generated through use of the model will be applicable to other organisms, particularly those that are in some way more complex than the original model."*
- Rachel A. Ankeny and Sabina Leonelli (2011). *What's So Special about Model Organisms?* *Studies in the History & Philosophy of Science* 41: 313–323

## Chlorella



Otto Warburg (1883-1970)  
*Chlorella*

Configuration anatomique des poumons de la tortue (Christian BOHR); embryon transparent de *Danio rerio*, etc.  
Synthèse Physiologie / Histoire naturelle  
Choix d'un groupe aux propriétés exceptionnelles



*X. laevis* (left) and *X. tropicalis* (right) adult females.  
Photo courtesy of Enrique Amaya

## Providentialisme implicite de l'OM: « Principe de Krogh »

August Krogh (1874-1949)  
U. Copenhague  
zoophysologie  
Prix Nobel de Médecine 1920

« For a large number of problems, there will be some animal of choice, or a few such animals on which it can be most conveniently studied. »



Christian Bohr (1855-1911)  
Respiration des tortues



Otto Warburg (1883-1970)  
Chlorella pour photosynthèse

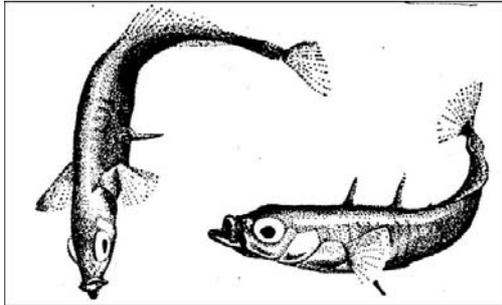


Albert Szent-Györgyi (1896-1985)



Hans Krebs (1900-1981)  
Muscles de pigeons





Épinoches de Tinbergen



Lorenz et ses oies cendrées

Krebs 1975

#### J. BOLKER:

- EXEMPLARY: exemplaire représentatif d'un groupe plus large.
- SURROGATE: substitut, « proxy »  
(modèle « murin »: étudier le rat, la souris, etc. au lieu de l'humain)

Jessica A. Bolker (2009). *Exemplary and Surrogate Models: Two Modes of Representation in Biology*.  
*Perspectives in Biology and Medicine* 52: 485–499

## Tension parmi les OM

- **Modèles DE:** modèle réduit. Représentation simplifiée?  
(ex: modèle de l'atome, de l'ADN)

- **Modèles POUR:** sert à l'étude d'un phénomène.  
Analogie?

(ex: *E. coli*)

Jean GAYON 2006: jamais des modèles « de »; toujours des modèles « pour ».

Ce qui a valeur exemplaire, c'est le phénomène étudié dans l'OM, pas l'organisme lui-même (pas un type).

Mais quid de la simplification, de la modification dans l'OM? (Rheinberger 2006)

## Deux fonctions de l'OM (J. Gayon, H.J. Rheinberger 2006)

**Technique:** « un organisme exemplaire »  
(représentatif) fonction de généralisation (liée à idéalisation et standardisation);

**Epistémique:** « un organisme-outil »  
(instrument pour comprendre ou expliquer *un autre domaine*) fonction d'extrapolation (liée à substitution et transfert)

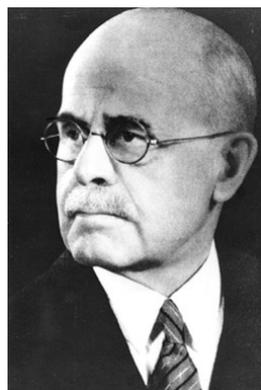
## Vicissitudes des OM

- « Right organism for the job »?  
Quel rapport Job/Organisme ?

Jobs qui « font » l'organisme  
Organismes qui « font » le job

Jobs changeants au fil du temps :  
Kohler sur *Drosophiles*, Morange sur ciliés  
Les modèles ont une histoire.

## Les planaires de CM. Child

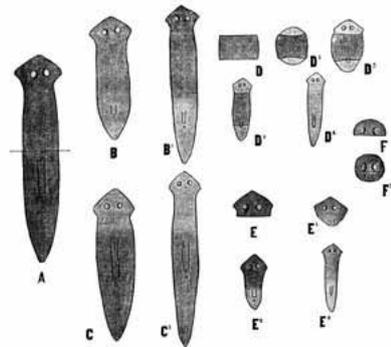


© Site de Masaharu KAWAKATSU. Sapporo,  
Japan: Kawakatsu's Web Library on Planarians

## Des choix historiques: L'exclusion du développement?

« we will never understand the phenomena of development and regeneration »

T.H. Morgan: *Regeneration* (1901)



"Fig. 4.- A-E *Planaria maculata*. A. Normal worm. B, B1. Regeneration of anterior half. C, C1. Regeneration of posterior half. D. Cross piece of worm. D1, D2, D3, D4. Regeneration of same. E. Old head. E1, E2, E3. Regeneration of same. F. *P. lugubris*. Old head cut off just behind the eyes. F1. Regeneration of new head on posterior end of same."

Les OM sont-ils façonnés?

On ne les trouve pas tels quels.

Dimension artificielle

Dimension évolutionnaire.

- On a privilégié: choix d'organismes à développement rapide (temps de génération court) et uniforme; peu coûteux
- Comment la prise en compte de l'évolution doit modifier notre conception de la physiologie/des mécanismes.
- Recherche de modèles pour leurs caractères évolutifs particuliers.

## OM et tournant génomique

- Aujourd'hui: OM= décryptage du génome?
- Multiplication des OM ... qui ne sont plus modèles de rien que d'eux-mêmes?

**Pas seulement la « rencontre » entre une question et un Organisme  
Mais un OM en devenir :**

« Entranchement »: Montrer les contraintes matérielles et culturelles  
qui pèsent sur la recherche en biologie

Contraintes de temps (modèles à croissance rapide)

Contraintes de coût d'entretien

Contraintes éthiques (règles d'hygiène pesant sur les élevage de rats)

Mais aussi circuits économiques de la standardisation.

Le temps de la recherche en biologie: non pas un « Temps-  
Accumulation », mais un « Temps-emboîtement » (Ruyer 1939)

## Les OM sont-ils naturels?

- La souris ne correspond à aucun des critères qui font le succès d'un OM (temps de génération court, œufs injectables, embryons transparents, développement rapide...)
- Ce qui fait le succès de la souris, c'est l'existence de souris ES, avec gènes knocked-in ou knocked-out.

## Biais taxinomiques?

- Aucun OM pour les lophotrochozoaires (mollusques, annélides), les cnidaires (méduses), etc.
- Donc difficile de dire que les 6 OM « stars » constituent un échantillon représentatif.
- Est-ce un problème?

- « .. we argue that choosing new model organisms for their ability to illuminate specific (evo–devo) themes offers a more efficient route to general insights" »
- Ronald A. Jeener and Matthew A. Wills (2007). *The choice of model organisms in evo- devo*. Nature Reviews Genetics 8: 311–319.

## OM en devenir

- **Michel Vervoort : Cahier des Charges pour devenir un vrai OM :**
- 1/ « Vraiment pratique tu seras ! »
- Par exemple, la patelle, à l'usage, s'est avérée décevante. La reproduction est saisonnière, il était difficile de les maintenir de génération en génération...
- 2/ Génétiquement homogène tu seras ! (plus ou moins)
- 3/ Des outils génétiques et/ou moléculaires seront développés. (trangenèse, analyse fonctionnelle, etc.)
- 4/ Le génome sera séquencé, assemblé, annoté
- 5/ des banques de données seront développées et disponibles sur internet.
- 6/ Couronné de succès tu seras !

## Vers la fin des OM?

- Rheinberger 2006: vers la fin des OM:  
La modélisation et standardisation inclinent à se passer de l'OM au profit de *in vitro*, *in silico*.

Comment expliquer la résistance de l'OM?



## Le pari fou de l'OM 1/3

quasi universel

que cette unité soit obtenue par  
partage phylogénétique ; ou par  
convergence évolutive sous  
l'effet de la sélection naturelle

## Le pari fou de l'OM 2/3: valeur du monstrueux?

- « It seems unfortunate that the experimentalists *pur sang* should in the main choose for investigation such freaks as the Boston fern, species of *Oenothera* and above all *Drosophila melanogaster*. The results of experimental work would apparently be much more permanent and convincing were the subject material less abnormal than in the cases mentioned above. »

E.C. Jeffrey (Lab of Plant Morphology, Harvard), « The Maturation, and somatic divisions in hybrids, variables and so-called mutants », *Science*, 68, n° 1758 (7 Septembre 1928), p. 233-235 (235)

## Qu'est-ce qu'être représentatif?

- *Pisum sativum* (Mendel)/ *Hieracium* (Nägeli)

Qu'est-ce qui indique aux biologistes qu'ils n'ont pas affaire à un « mauvais » OM?

## Qu'est-ce qu'être représentatif?

- Cas de la phase syncytiale chez les drosophiles: très singulière parmi les arthropodes; donc peu susceptible d'être généralisée, même à l'ensemble des diptères. Donc peu éclairant sur la segmentation.
- Mais permet de mettre en avant des phénomènes importants: polarité cytoplasmique;

## Mendel et *Pisum sativum*



## Nägeli et les épervières (*Hieracium*)



## De Vries et *Oenothera lamarckiana*



## Ascaris et Th Boveri

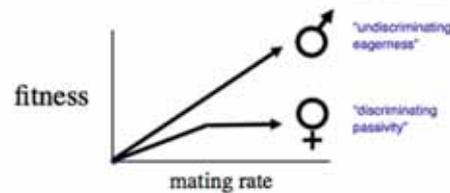


Courtesy of American Philological Society, Curt Stern Papers.  
Noncommercial, educational use only.

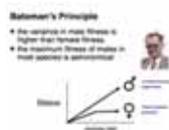
## Relire l'usage des drosophiles dans l'histoire du comportement

### Bateman's Principle

- the variance in male fitness is higher than female fitness.
- the maximum fitness of males in most species is astronomical



- Biais induit par le choix de l'espèce
- Enjeux pour la biologie de l'évolution



## La drosophile: clef ou manie ?

« Cela expliquerait pourquoi chez les organismes unisexuels, il y a presque toujours la combinaison d'une avidité sans discrimination chez les mâles et une passivité avec discrimination chez les femelles. **Même chez** les espèces à monogamie dérivée (par exemple **l'homme**), on peut s'attendre à ce que cette différence sexuelle persiste comme une relique. [...] La tendance générale à la production de microspores en excès par rapport au minimum requis pour réaliser efficacement la fécondation s'explique de cette manière. **Chez les plantes** dioïques, ou chez les monoïques où les sexes sont séparés, les résultats de la sélection intra-masculine peuvent être plus évidents. » (1948, p. 365-6)

**Les élèves, les enseignants et les problèmes de modélisation :**  
**présentation des travaux du séminaire de recherche en didactique des Sciences de la Terre**

Denise ORANGE RAVACHOL  
Université Charles de Gaulle – Lille 3, Théodile – CIREL  
denise.orange@univ-lille3.fr



1

DOR  
2013

**Plan de l'intervention**

1. **Présentation du séminaire de recherche en didactique des sciences de la Terre**
2. **Modélisation et modèles**
3. **Modélisation et construction de savoir scientifique**
4. **Les fonctions des modèles**
5. **La modélisation et les modèles dans les programmes d'enseignements des SVT**
6. **Les conceptions des étudiants sur l'enseignement des SVT**
7. **Les élèves, la modélisation et les modèles**

2

DOR  
2013

## 1. Présentation du séminaire de recherche en didactique des sciences de la Terre

- Mise en place: février 2006

- Objectifs

- \* Faire le points de nos travaux en didactique de la géologie
- \* Définir des orientations de recherche permettant de fédérer et d'encourager des recherches en didactique des sciences de la Terre.
- \* Travailler des axes: modèles et modélisations

- Fonctionnement

- \* 3 journées de travail par an
- \* Des productions (littérature « grise », communications dans des colloques, articles pour des revues professionnelles)



{ 3 }

DOR  
2013

## 2. Modélisation et modèles

- De nombreux travaux en didactique des sciences sur modèles et à la modélisation en sciences et dans l'enseignement des sciences

Drouin, 1988 ; Johsua & Dupin, 1989 ; Martinand J.-L., 1992 ; Rumelhard, 1995 ; Christian Orange, 1997 ; Desbeaux Salviat & Rojat, 2006 ; Coquidé, 2008 ; Sanchez, 2010

- L'importance de la modélisation dans la construction d'un savoir scientifique

« les sciences physiques sont constructrices et utilisatrices de modèles, la biologie et les sciences de la Terre et de l'univers ne le sont pas moins. On pourrait donc s'attendre à voir accorder un rôle majeur aux démarches de modélisation dans les activités scientifiques du collège, et surtout du lycée » (Martinand, 1992)

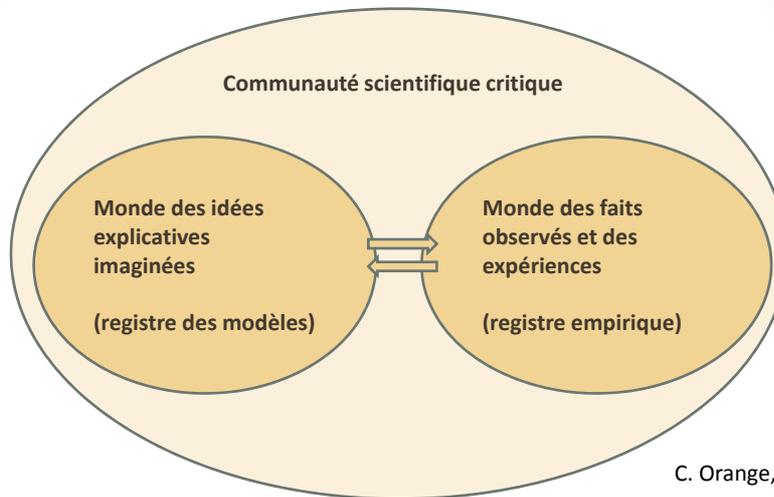
- L'empan du modèle et la difficulté à le définir

« la question de l'expérimentation, celle de la formalisation, celle du statut du savoir scientifique et du rapport entre les diverses disciplines, tout cela s'est vu impliqué par la question du modèle. » (Drouin, 1988)

{ 4 }

DOR  
2013

### 3. Modélisation et construction de savoir scientifique



C. Orange, 2003

Le « terrain » (faits observés) comme le « laboratoire » (expériences) n'ont rien de transparent  
Réciproquement, les modèles s'enracinent dans un réel qu'ils ont contribué à explorer

5

DOR  
2013

### 4. Les fonctions des modèles (modèles explicatifs)

« Les problèmes posés par l'utilisation des modèles renvoient toujours finalement à des questions telles que: « Qu'est-ce qu'expliquer pour la science de telle époque? » » (S. Bachelard, 1979)

La construction d'un modèle est fortement liée au travail d'un problème explicatif. D'où d'importantes fonctions portées par le modèle:

- **Une fonction descriptive et explicative**

Le modèle comme une construction explicative rendant compte d'observations et des expériences

- **Une fonction prédictive et rétrodictive**

Le modèle comme construction explicative permettant d'imaginer le devenir d'un système ou ce qu'il a pu être

- **Une fonction heuristique :**

Le modèle comme fabrique de nouveaux problèmes

6

DOR  
2013

## 5. La modélisation et les modèles dans les programmes d'enseignement des SVT

### ● L'enseignement des sciences au lycée (1999)

« La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches est que le développement des sciences se fait par **un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre**, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire.

**L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique.**

Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques. **Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences.** »

7

DOR  
2013

### ● Socle commun des connaissances et des compétences (2006)

#### Compétence 3. Les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique

##### A. Les principaux éléments de mathématiques

Elles (*les mathématiques*) développent la pensée logique, les capacités d'abstraction et de vision dans le plan et dans l'espace par l'utilisation de formules, **de modèles**, de graphiques et de diagrammes. (p10)

##### B. La culture scientifique et technologique (Capacités)

- savoir observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider, argumenter, **modéliser** de façon élémentaire (p14)

8

DOR  
2013

### ● Collège, Introduction commune (2008)

- **Les mathématiques fournissent des outils puissants pour modéliser des phénomènes et anticiper des résultats**, en particulier dans le domaine des sciences expérimentales et de la technologie, en permettant l'expression et le développement de nombreux éléments de connaissance.p1
- **Les connaissances acquises en mathématiques permettent de s'appuyer sur des modèles de représentation** issus de la géométrie, de manipuler les dimensions correspondantes et de les exprimer dans les unités appropriées. p2
- Au sein du socle commun, les mathématiques entretiennent des liens étroits avec les autres sciences et la technologie, **le langage mathématique permettant de décrire et de modéliser les phénomènes de la nature** mais elles s'en distinguent aussi car elles forment une discipline intellectuelle autonome, possédant son identité. P2
- Ainsi **les mathématiques aident à structurer la pensée et fournissent des modèles** et des outils aux autres disciplines scientifiques et à la technologie. p2
- Les mouvements de la Terre, de la Lune, des planètes donnent une première structuration de l'espace et du temps, **ils introduisent l'idée qu'un modèle peut fournir une certaine représentation de la réalité**. L'observation et l'expérience révèlent progressivement d'autres échelles d'organisation, celles des cellules, des molécules, des ions et des atomes, chaque niveau possédant ses règles d'organisation, et **pouvant être également représenté par des modèles**. p2
- Les simulations numériques sont l'occasion d'une réflexion systématique sur **les modèles qui les sous-tendent, sur leurs limites, sur la distinction nécessaire entre réel et virtuel** ; la simulation d'expériences ne doit cependant pas prendre le pas sur l'expérimentation directe lorsque celle-ci est possible.p5

9

DOR  
2013

### ● Programme de SVT , Préambule pour le collège

- L'objectif de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre est de comprendre le monde. Il s'agit d'expliquer le réel. Pour ce faire, **on s'appuie sur une démarche d'investigation fondée sur l'observation de phénomènes perceptibles à différentes échelles d'organisation et des manipulations, expérimentations ou modélisations permettant de répondre à des questions**, d'éprouver des hypothèses explicatives et de développer l'esprit critique. p9
- (classe de 4<sup>e</sup>) C'est l'occasion également **d'entreprendre les apprentissages liés à l'élaboration de modèles simples** et d'exercer la capacité de synthèse qui se développe progressivement chez l'élève de cet âge. p11
- (La mise en contact avec le terrain) **L'expérimentation et le recours à la modélisation analogique (maquettes)** sont introduits avec toute la prudence nécessaire, dans la mesure où les conditions de leur réalisation sont souvent très différentes de celles de la réalité. p12
- (La maîtrise des techniques usuelles de l'information et de la communication, classe de 4<sup>e</sup>) **Différencier une situation simulée ou modélisée d'une situation réelle sur un logiciel de simulation**, sur une base de données interprétées (carte, localisation de foyers sismiques). p13

10

DOR  
2013

## ● La démarche d'investigation

La démarche d'investigation		
Ecole (moments)	Collège (moments)	Lycée (étapes)
Le choix d'une situation de départ	Le choix d'une situation problème	Une situation motivante suscitant la curiosité
La formulation du questionnement des élèves	L'appropriation du problème par les élèves	La formulation d'une problématique précise
L'élaboration des hypothèses et la conception de l'investigation à réaliser pour les valider/invalidier	La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles	L'énoncé d'hypothèses explicatives La conception d'une stratégie pour éprouver ces hypothèses
L'investigation conduite par les élèves	L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves	La mise en œuvre du projet ainsi élaboré
	L'échange argumenté autour des propositions élaborées	La confrontation des résultats obtenus et des hypothèses
L'acquisition et la structuration de connaissances	L'acquisition et la structuration de connaissances	L'élaboration d'un savoir mémorisable
	La mobilisation des connaissances	L'identification éventuelle de conséquences pratiques de ce savoir

11

DOR  
2013

## ● SVT, Introduction générale pour le collège, 2004

### ■ La démarche d'investigation

Elle constitue l'unité de l'enseignement des SVT. Il s'agit d'expliquer le réel :

- à partir de l'observation de phénomènes perceptibles à différents niveaux d'organisation ;
- à partir de manipulations, d'expérimentations ou de modélisations permettant d'éprouver des hypothèses explicatives.

*La connaissance est alors construite et non appliquée. A tout moment de la démarche, l'élève doit percevoir ce qui fonde sa recherche et le sens de ce qu'il est en train de faire.*

## ● SVT, Préambule pour le collège (2008)

L'objectif de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre est de comprendre le monde. Il s'agit d'expliquer le réel. Pour ce faire, on s'appuie sur une démarche d'investigation fondée sur l'observation de phénomènes perceptibles à différentes échelles d'organisation et des manipulations, expérimentations ou modélisations permettant de répondre à des questions, d'éprouver des hypothèses explicatives et de développer l'esprit critique.

La connaissance est alors construite et non imposée. A tout moment de la démarche, on s'assure que l'élève perçoit le sens de ce qu'il fait et ce pourquoi il le fait.

12

DOR  
2013

## 6. Les conceptions des étudiants sur l'enseignement des SVT (1)

Voici une liste de 21 mots ou groupes de mots :

activité, argumentation, conception, concret, débat, démarche expérimentale, démarche scientifique, élève, erreur, explication, expérience, hypothèse, modèle, objectif cognitif, objectif méthodologique, problème, problématique

- Entourez les 5 mots qui définissent le mieux l'enseignement des SVT
- Barrez les 5 mots qui s'appliquent le moins à l'enseignement des SVT

**Parmi les mots retenus, ceux qui sont le plus fréquemment cités:** démarche scientifique, démarche expérimentale, hypothèse, schéma fonctionnel, problématique, activité

**Parmi les mots rejetés le plus fréquemment:** vérité, conception, problème, erreur, **modèle**

( 13 )

D. Orange Ravachol, 2008

DOR  
2013

## 6. Les conceptions des étudiants sur l'enseignement des SVT (2)

**Qu'est-ce qu'un modèle en sciences de la Terre? Quelles sont les fonctions du modèle dans la recherche et dans la classe?**

- Le modèle est plutôt vu comme une représentation dégradée de la réalité.
- Le modèle sert à voir ce qu'on ne voit pas.
- Le modèle permet de visualiser et il faciliterait ainsi la compréhension.
- Le modèle sert à illustrer dans la classe (alors qu'il sert à expliquer dans la recherche).
- La carte n'est jamais un modèle. C'est un fait.
- Le modèle sert à éprouver une hypothèse.
- Le modèle ne se remet pas en cause (le modèle comme un donné).
- Le modèle est un moyen de simplifier.
- Le modèle sert à domestiquer le temps et l'espace.
- Le modèle contribue à impliquer et à motiver (par son aspect « concret »).

( 14 )

Y. Lhoste &amp; P. Savaton, 2008

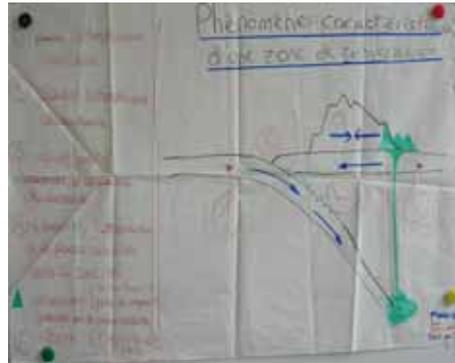
DOR  
2013

## 7. Les élèves, la modélisation et les modèles (1)

« Expliquez (...) comment fonctionne une zone de subduction, compte tenu des caractéristiques recueillies précédemment ».

(Terminale S, 17-18 ans)

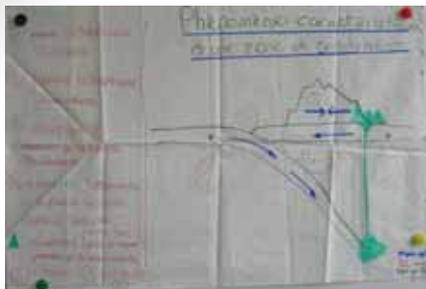
1. Plaque lithosphérique subduite
2. Plaque lithosphérique chevauchante
3. Relief positif tassement de la plaque chevauchante
4. Séismes (xxx) : frottements de la plaque subduite dans le sous-sol  
 $\Delta$  volcanisme : le manteau ( ? ) poche de magma ( ? ) perturbée par la plaque subduite
5. Fosse  
 1 entraîne 2



D. Orange Ravachol, V. Trassart

( 15 )

DOR  
2013



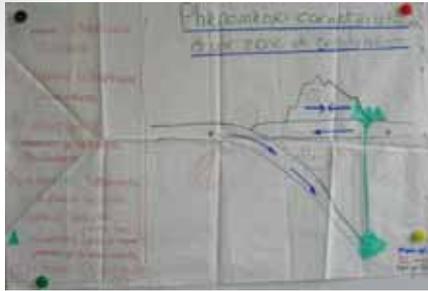
Eg « Donc là, on **observe** la présence de volcans. Donc là, on **avait** fait une poche de magma et on **avait** pensé que la plaque subduite en s'enfonçant **pourrait** aller euh... créer... enfin perturber la poche de magma ce qui **aurait** provoqué une remontée dans les volcans....

P. Non mais David, lui, dit que **c'est juste un coup de chance** qu'il y ait juste à cet endroit là une poche magmatique et qu'à cet endroit là la plaque plonge. En gros c'est ça. Il faut **un coup de bol** quand même pour que les deux se retrouvent à un moment. Or, il y a quand même du volcanisme tout le long, en limite de toutes les plaques. Est-ce que c'est **un coup de bol** comme ça pour toutes les plaques ?

( 16 )

D. Orange Ravachol, V. Trassart

DOR  
2013



P. Là, y a une idée. Y a David qui dit, **il pense que la plaque subduite fondrait avant**, disparaîtrait avant

Eg3. Nous en fait c'est une idée que le mouvement, de perturbation. Les perturbations vont forcément se répercuter à un moment. Enfin...

*Silence*

P. Alors pourquoi si... **Alors pourquoi ça perturberait là et pas ailleurs ? C'est ça ma question. Comment expliquer que ça perturbe à cet endroit là et pas ailleurs ?**

Eg2. Ben parce que la plaque s'enfonce donc forcément ça dérange un peu le ...

P. **Pourquoi y aurait pas du volcanisme, d'après votre théorie pourquoi pas, de l'autre côté, sur l'autre plaque ? Parce que ça va perturber l'autre côté aussi...**

Eg2. Parce que là, ça perturbe pas le manteau. C'est enfin...

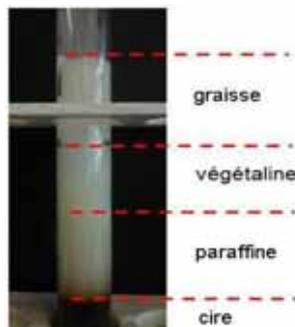
D. Orange Ravachol, V. Trassart

17

DOR  
2013

## 7. Les élèves, la modélisation et les modèles (2)

L'explication, à l'aide d'un modèle de fusion partielle, de la formation sous la dorsale d'un magma basaltique dont la composition est différente de celle de la péridotite d'origine (Première S, 16-17 ans)



Modèle utilisé : un solide composé de quatre constituants différents (cire, paraffine, végétaline et graisse de canard) et soumis à différentes températures.

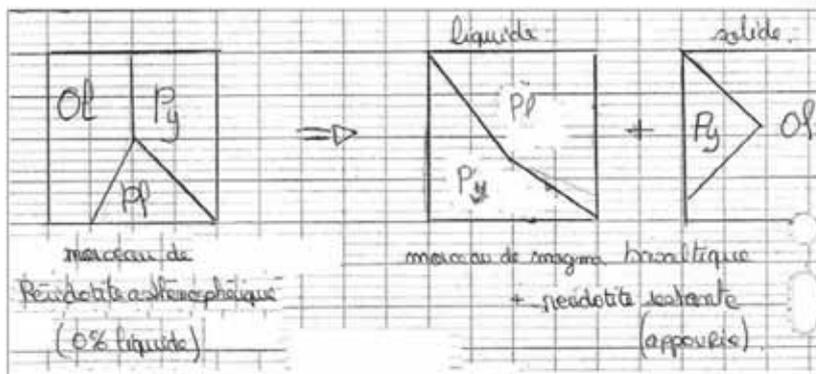
**Un modèle pour provoquer un changement de raisonnement:**  
fusion de la roche → fusion des minéraux constituant la roche

P. Schneeberger, M. Goix & H. Goix, 2011

18

DOR  
2013

- Des ruptures épistémologiques qui ne vont pas de soi



Une production d'élève: les minéraux persistent dans la magma produit

- Des mises en texte qui pourraient forcer ces ruptures

P. Schneeberger, M. Goix & H. Goix, 2011

19

DOR  
2013

## 7. Les élèves, la modélisation et les modèles (3)

Qu'est-ce qu'un fossile? Est-ce que tu connais d'autres fossiles que ceux que nous avons vus la dernière fois? A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles? (CM1, 9-10 ans)

- « Les fossiles ont été faits par les hommes préhistoriques à la préhistoire » (Clara) (origine artificielle des fossiles)

- « Les fossiles se sont fabriqués par eux-mêmes » (Mathieu) (origine naturelle des fossiles)

Pour les élèves:

- Un véritable problème d'origine des fossiles et un travail de ce problème

- Un obstacle épistémologique : l'artificialisme

- Au cours du débat, une exploration des possibles, la construction d'impossibles et de nécessités, l'émergence de nouveaux problèmes

(un obstacle et un problème convergents avec ceux repérés en histoire des sciences)

P. Crépin - Obert

20

DOR  
2013

## Quelques éléments de conclusion

La modélisation importe plus que les modèles en eux-mêmes

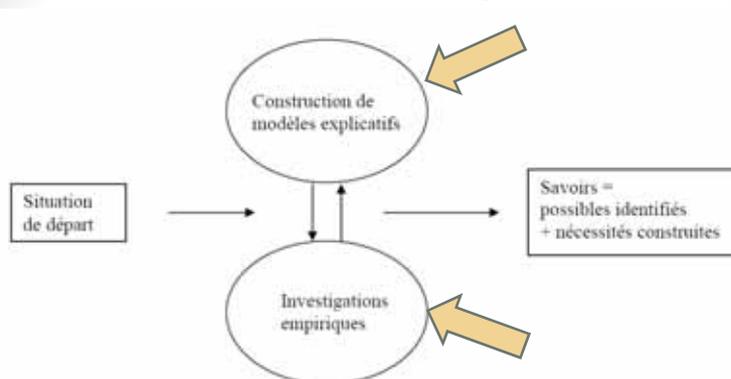
Pourquoi?

- Elle permet de se confronter à des problèmes de sciences de la Terre et de les travailler (**vs** une focalisation sur la solution c.à.d. le modèle)
- Elle donne du poids à la démarche (que les programmes valorisent)
- Elle est productrice de nouveaux problèmes scientifiques (fonction heuristique; voir Popper)

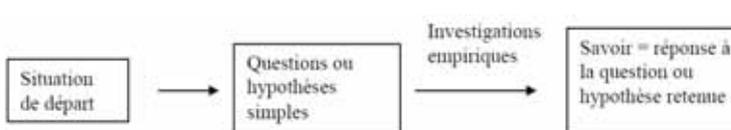
( 21 )

DOR  
2013

### ● Penser autrement la démarche d'investigation



### ● S'affranchir d'une mise en œuvre linéaire de cette démarche



( 22 )

DOR  
2013

C. Orange, 2012



Patricia Crépin-Obert  
EA 4434  
patricia.crepin@univ-fcomte.fr

Patricia Schneeberger  
EA 4140  
patricia.schneeberger@iufm.u-bordeaux4.fr

Laboratoire Culture, Éducation & Société (LACES, EA 4140)  
Équipe Épistémologie et Didactique des Disciplines

## Exploration de démarches historiques pour construire le modèle moléculaire et génétique de l'ADN



« Modèles et modélisation en biologie et géologie » Colloque 2 juillet

## PLAN DE LA COMMUNICATION

- » Première partie
  - L'élucidation du rôle et de la structure de l'ADN
  - Des pratiques d'enseignement contrastées
  - Intérêt d'utiliser l'histoire des sciences
- » Seconde partie
  - Objectifs UE Epistémologie et histoire des sciences Master 2 enseignement SVT
  - Conception d'une évaluation
  - Représentations étudiantes de la nature de la science

1 >

## Place de l'histoire des sciences dans les programmes de lycée

(BO spécial n 4, 29/04/2010)

### » Préambule : Les conditions d'exercice de la liberté pédagogique du professeur

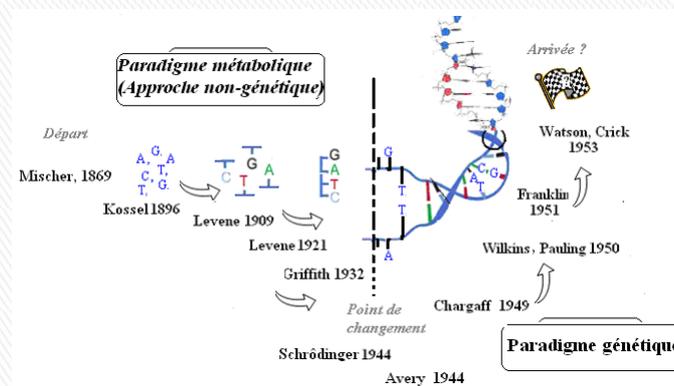
Si les connaissances scientifiques à mémoriser sont raisonnables, c'est pour permettre aux enseignants de consacrer du temps à faire comprendre ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours de l'histoire des sciences

### » La pratique de démarches historiques

L'approche historique d'une question scientifique peut être une manière originale de construire une démarche d'investigation. L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions.

2 >

## Contribution des principaux acteurs à l'élucidation du rôle et de la structure de l'ADN



3 >

Dhamani et Schneeberger, 2011

## Le fruit d'une collaboration entre deux laboratoires

Le Cavendish à Cambridge



James Watson et Francis Crick

Publication dans *Nature* : 1953

Prix Nobel de physiologie et de médecine : 1962

Le King's College à Londres



Maurice Wilkins



Rosalind Franklin



4



## Le fruit de la raison

**Rosalind Franklin et Maurice Wilkins**  
structure en forme d'hélice

**Erwin Chargaff**  
A = T et C = G

Contraintes empiriques

Watson et Crick proposent **différents modèles** d'agencement et d'appariement des bases azotées dans l'édifice moléculaire de l'ADN

"It has not escaped our notice that the specific base pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material."

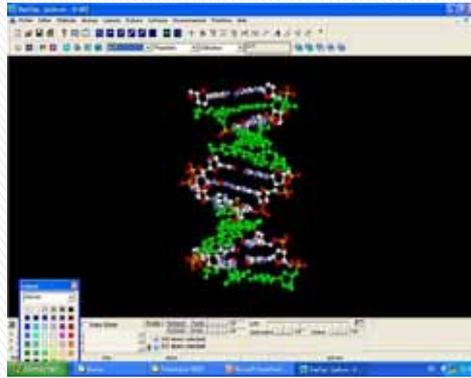
L'ADN est le support de l'information génétique : code + copie  
Capacité à se répliquer (reproduction du gène à l'identique)

Contraintes théoriques

5



## Un outil privilégié : le logiciel Rastop



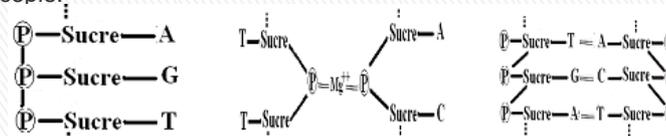
- Les élèves « manipulent » la molécule
- ils identifient les différents éléments et les désignent (sucres, phosphate, bases azotées)
- Ils repèrent 4 nucléotides et constatent la complémentarité des bases azotées (A- T et C-G).

La réplication de la molécule d'ADN n'est pas au programme

6 >

## Une manière particulière de mobiliser l'histoire des sciences

- » Transposer dans la classe la démarche spéculative des chercheurs
- » Faire travailler les élèves sur des **modèles transitoires** de l'ADN.  
Les élèves cherchent s'ils répondent aux contraintes fonctionnelles de code et copie.



Modèle 1

Modèle 2

Modèle 3

Modèle 1: modèle inspiré de la théorie tétranucléique de Levene (1909)  
Modèle 2: modèle imaginé par Watson en 1952  
Modèle 3 : modèle actuel

7 >

## Extraits d'échanges entre les élèves

### Extrait 1

E1 : « Là [MP1], on va écrire qu'ici on a représenté qu'une moitié »

E2 : « On va écrire "manque de complément" »

E1 : « ou "incomplet" »

E2 : « Non "manque du complémentaire" quoi [...] de l'« autre côté »

E1 : « "Manque de la « symétrie", on va dire »

E3 : « Manque du miroir »

### Extrait 2

E2 : « Mais le copiage c'est possible que là [M3] »

E1 : « Pourquoi c'est possible que là ? »

E3 : « Il faut que ça s'ouvre et il y en a [les bases] qui se rajoutent. »

E2 : « Donc, là ce n'est pas possible de copier parce qu'il n'y a qu'une seule branche là [M1] et là eh bien on ne peut rien copier, non ? »

E3 : « Dans le deuxième on n'a pas besoin de copier ? ! »

E2 : « Moi, j'ai dit que ce n'était possible de copier que dans le dernier »

E1 : « et pourquoi pas dans le deuxième ? »

8



## Intérêt didactique de la situation

Importer dans la classe des **pratiques comparables** à celles des scientifiques pour permettre aux élèves d'acquérir une véritable culture scientifique

### » Modéliser

Les activités proposées aux élèves valorisent le travail de modélisation théorique des chercheurs, souvent minoré au bénéfice du travail empirique.

→ Se constituer une représentation d'une structure fonctionnelle non directement observable

### » Interroger la relation structure/fonction

La situation consiste à confronter des modèles provisoires à des fonctions de l'ADN

→ Percevoir la façon dont une structure moléculaire est liée à une fonction

### » Argumenter

Les activités discursives et en particulier l'argumentation participent à la construction du savoir.

9



## Utiliser l'histoire des sciences

### » La nature de la science

Les activités proposées aux élèves leur permettent  
« d'intégrer l'idée que la molécule d'ADN est un objet construit intellectuellement et non le résultat d'observations micro ou macroscopiques, et que dans la recherche, la spéculation théorique constitue une voie d'investigation qui peut venir en amont, en soutien ou à la suite de l'activité expérimentale.

### » Le rôle de l'enseignant apparaît ici primordial.

L'exploration historique peut viser la construction par les élèves d'une image de la science plus appropriée.

10 &gt;

## Objectifs d'une UE Master 2 Epistémologie et histoire des sciences

2 « DEMARCHES HISTORIQUES » / 2 IMAGES DE LA NATURE DE LA SCIENCE	
« Ensemble de vérités révélées » par « quelques « Savants » mythiques »	« Construction humaine progressive »
	<b>individuelle ou collective ?</b>
« Enseigner une étude chronologique de quelques découvertes et citer quelques anecdotes extraordinaires »	« souligner l'importance des débats, des controvertes, des conflits... des tâtonnements scientifiques... des entreprises de réfutation » « s'approprier le problème à résoudre »
	<b>Empirisme ou constructivisme ?</b>
Se cantonner dans « les sciences expérimentales »	« Permettre l'interdisciplinarité »
	<b>Internaliste ou externaliste ?</b>
CARICATURE DE LA SCIENCE	SCIENCE DE JOUR ET SCIENCE DE NUIT

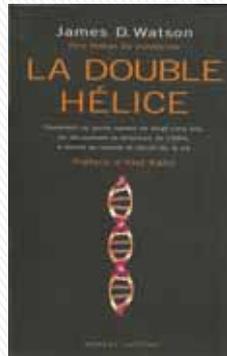
Comment « transformer le rapport au savoir scientifique »  
du futur enseignant ?

11 &gt;

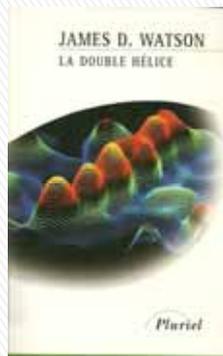
## La conception d'une évaluation

### Sources bibliographiques

- » Autobiographie scientifique d'une aventure intellectuelle passionnante



Laffont 1968/2003



Hachette 1984

Image en fausses couleurs  
d'une molécule d'ADN prise au  
microscope à effet tunnel

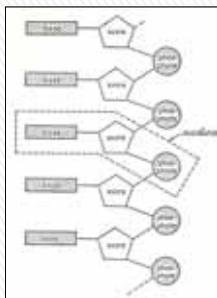
- » Intérêt repéré d'une démarche constructiviste en classe de seconde :

12 &gt;

HR. Dahmani & P. Schneeberger. Enseigner le concept d'ADN en lien avec la démarche historique.  
*R DST N°3 Recherches en didactique des sciences et histoire des sciences* (Lyon: INRP, 2011). 55-82.

## La conception d'une évaluation

### Exploration de modèles théoriques



1 Fragment d'ADN tel que  
l'imaginait en 1953  
le groupe d'Alexander Todd

- » Modèle plat d'un seul brin apparenté à une protéine, liaisons phosphodiester, bases azotées différentes
- » Code possible

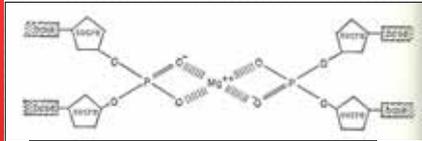


Rosalind Franklin et Maurice Wilkins  
Image de diffraction des rayons X  
d'un cristal d'ADN

- » Nouvelles données cristallographiques

13 &gt;

## La conception d'une évaluation Exploration de modèles théoriques



2 Fragment d'ADN tel que l'imaginaient  
F C J D W 9

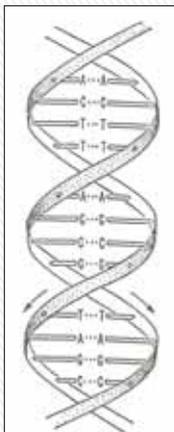
» Modèle tridimensionnel, multiple brin, squelette sucre-phosphate- interne, liaisons Mg

» Code possible

- » Réfutation cristallographique: ions Mg hydrophile, structure fragile
- » Donnée chimique : liaisons hydrogènes entre les bases ?

14 >

## La conception d'une évaluation Exploration de modèles théoriques



3 Fragment d'ADN tel que l'imaginait  
J D W 9

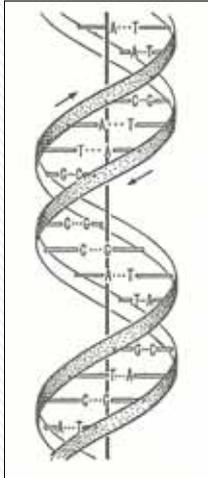
» Modèle tridimensionnel, double brin, squelette sucre-phosphate externe, liaisons hydrogènes, paires de bases azotées internes similaires

» Code et copie possible ?

» Problème : impossibilité d'une charpente régulière avec des bases puriques et pyrimidiques de forme différente

15 >

## La conception d'une évaluation Exploration des modèles théoriques



A Fragment d'ADN tel que  
l'ont publié  
N J D W 2 F C

» Modèle tridimensionnel, double brin, squelette sucre-phosphate externe, liaisons hydrogènes, paires de bases azotées internes complémentaires

» Code et copie possible

» validation : corrélation avec les règles de Chargaff (1949)  
A=T et C=G au sein d'une même espèce et variabilité entre espèces

16 &gt;

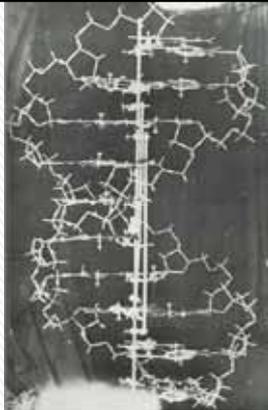
## La posture des étudiants et leur rapport à la NOS

En histoire des sciences voici plusieurs figures qui ont été proposées pour cerner la molécule d'ADN. Serait-il intéressant de montrer aux élèves de seconde ces différentes possibilités envisagées par les chercheurs au milieu du XX<sup>e</sup> siècle ? Justifier et développer votre point de vue.

### Etudiante 1

« Il est intéressant de montrer aux élèves ces différentes propositions afin de montrer le **tâtonnement des scientifiques**. Ils peuvent voir aussi comment les mêmes scientifiques ont **plusieurs hypothèses pour un même problème : la molécule d'ADN**. Que **le savoir n'est pas fixé** mais qu'il évolue au fur et à mesure des découvertes et de **l'évolution des techniques** »

17 &gt;



« cette structure présente de nouvelles caractéristiques qui sont d'un intérêt biologique considérable [...] »

Il n'a pas échappé à notre attention que l'appariement spécifique que nous avons supposé suggère immédiatement un mécanisme possible de répllication du matériel génétique . »

N 2 9

**UN PROBLEME CONSTRUIT OUVERT, MOLECULAIRE ET GENETIQUE**

*Conférence de J.D. Watson, FBB 2005, California*

« Voilà la grande question ! Comment pouvons-nous recopier l'information ? »

18 >

**La posture des chercheurs, Watson & Crick**

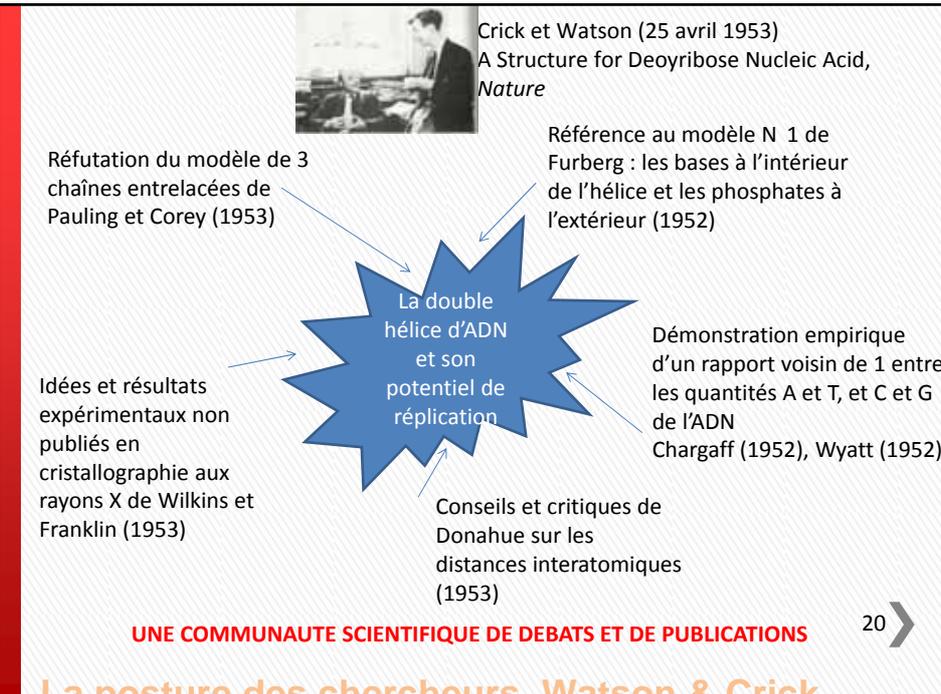
## La posture des étudiants et leur rapport à la NOS

En histoire des sciences voici plusieurs figures qui ont été proposées pour cerner la molécule d'ADN. Serait-il intéressant de montrer aux élèves de seconde ces différentes possibilités envisagées par les chercheurs au milieu du XX<sup>e</sup> siècle ? Justifier et développer votre point de vue.

**Etudiante 2**

« Il me **semblerait** intéressant de montrer aux élèves les différentes possibilités envisagées par les chercheurs en partant de celle qui s'écarte le plus du modèle validé actuellement jusqu'au modèle actuel à condition d'intégrer les observations ou expériences qui ont amené les chercheurs à proposer un modèle ou à l'abandonner [...] **cristallographie aux rayons X de Watson et Crick...** »

19 >



Crick et Watson (25 avril 1953)  
A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid,  
*Nature*

Réfutation du modèle de 3 chaînes entrelacées de Pauling et Corey (1953)

Référence au modèle N 1 de Furberg : les bases à l'intérieur de l'hélice et les phosphates à l'extérieur (1952)

Idées et résultats expérimentaux non publiés en cristallographie aux rayons X de Wilkins et Franklin (1953)

Démonstration empirique d'un rapport voisin de 1 entre les quantités A et T, et C et G de l'ADN  
Chargaff (1952), Wyatt (1952)

Conseils et critiques de Donahue sur les distances interatomiques (1953)

**UNE COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE DE DEBATS ET DE PUBLICATIONS** 20 >

**La posture des chercheurs, Watson & Crick**

### La posture des étudiants et leur rapport à la NOS

En histoire des sciences voici plusieurs figures qui ont été proposées pour cerner la molécule d'ADN. Serait-il intéressant de montrer aux élèves de seconde ces différentes possibilités envisagées par les chercheurs au milieu du XX<sup>e</sup> siècle ? Justifier et développer votre point de vue.

**Etudiante 3**

« Il serait intéressant de montrer aux élèves ces différentes représentations car [...] le savoir actuel s'est **construit au cours du temps**. Cette construction nécessite **non pas 1 scientifique mais une communauté de scientifiques**. De plus cela permet également de montrer que l'évolution du savoir s'est acquis grâce à **l'évolution des pensées** et le développement des **outils d'exploration** ou d'analyse. »

21 >

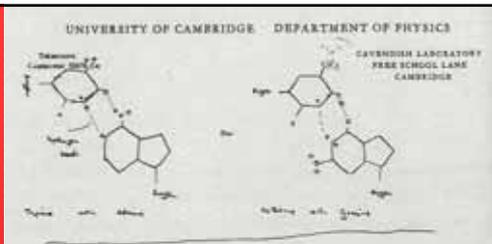
## La posture des étudiants et leur rapport à la NOS

En histoire des sciences voici plusieurs figures qui ont été proposées pour cerner la molécule d'ADN. Serait-il intéressant de montrer aux élèves de seconde ces différentes possibilités envisagées par les chercheurs au milieu du XX<sup>e</sup> siècle ? Justifier et développer votre point de vue.

Etudiante 4

« [...] le modèle 2 ne me paraît pas le plus pertinent, on parle de magnésium comme lien, il y a **quelque chose en plus qui n'existe pas dans l'ADN**. Je ne le proposerais pas aux élèves. »

22 >



L J W  
à Max Delbrück 9

« Notre maquette [...] ; cependant, puisque l'ADN [...] »

modèle

qui comprend différentes caractéristiques étranges  
nous n'hésitons pas à

Dans les jours qui suivent Dick et moi-même enverrons une note à *N*

un modèle

, tout en mettant l'accent

caractère

Même si elle est fausse, je crois qu'elle est intéressante, car elle fournit un exemple concret d'une structure composée de chaînes complémentaires. Si par chance, elle est exacte, alors je suppose que nous sommes en mesure d'apporter un éclaircissement de la manière dont l'ADN peut se reproduire lui-même. »

UNE PLACE ACCEPTÉE DE L'ERREUR INHÉRENTE AUX SCIENCES

23 >

## La posture des chercheurs, Watson & Crick

## Conclusion : des conditions de possibilité

### » 1/ Une logique d'organisation des apprentissages

La connaissance des **contraintes fonctionnelles** est nécessaire pour permettre aux élèves de discuter de la **validité des modèles** proposés.

→ Cela pose la question de l'organisation des **programmes d'enseignement**

### » 2/ Une exigence fondamentale : une analyse attentive et critique du contexte historico-épistémologique qui a permis l'élucidation de la structure de l'ADN

→ Il importe de **délimiter des homologies et des différences entre situations scolaire et historique.**

### » 3/ Une représentation authentique des enseignants / NOS

« *Au-delà de la qualité épistémologique de la séance, c'est l'épistémologie même de l'enseignant (au sens du regard qu'il porte lui-même sur l'activité de production du savoir scientifique) qui risque de conditionner celle de l'élève* (De Hosson et Schneeberger, 2011)

→ Il importe de proposer une formation en épistémologie et histoire des sciences dans le cursus universitaire des futurs enseignants

24

## Références bibliographiques

- » Astolfi, JP.(1997/2009) *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris : ESF Editeurs.
- » Crick, F et JD Watson.(1953) A Structure for Deoyribose Nucleic Acid. *Nature*, 171. 737-738.
- » Deutsch, J. préface de Jean Gayon. (2012) *Le gène : un concept en évolution*. Paris : Seuil.
- » Fayolle, H. (2009) *Analyse des obstacles liés à la construction du concept d'ADN*. Mémoire de master 2. Université Joseph Fourier - Grenoble 1
- » Hosson, C. de et Schneeberger, P. (2011) *RDST N 3 Recherches en didactique des sciences et histoire des sciences*. Lyon: INRP.
- » Jacob, F. (2005) Le courage. <http://www.institut-de-france.fr/sites/institut-de-france.fr/files/jacob.pdf>
- » Lakin,S. et Jerry Wellington,J. (1994) Who will teach the « nature of science » ? : teachers' views of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*. vol. 16, n 2,175-190.
- » Mathy, P. (1997) *Donner du sens au cours de sciences*. Paris : De Boeck.
- » Marty, B. et Monin, H. (2003) *Le premier âge de l'ADN. Histoire d'une molécule de l'hérédité*, Paris : Adapt/Vuibert.
- » Morange, M. (1994) *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris : La Découverte.
- » Schrödinger, E. (1945/1986) *Qu'est-ce que la vie ?* Paris : Seuil (coll. Points).
- » Watson, J-D. (1968/1984) *La double hélice*. Paris : Hachette,
- » Watson J-D. et Berry, A.(2003) *ADN, le secret de la vie*. Paris: Odile Jacob.
- » <http://eduscol.education.fr/pid23214/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre.html>
- » <http://www.medecine.unige.ch/enseignement/dnafb/> (Il était une fois ... l'ADN\_chapitre 19\_animation)
- » [http://www.ted.com/talks/james\\_watson\\_on\\_how\\_he\\_discovered\\_dna.html](http://www.ted.com/talks/james_watson_on_how_he_discovered_dna.html)

25

Merci de votre attention

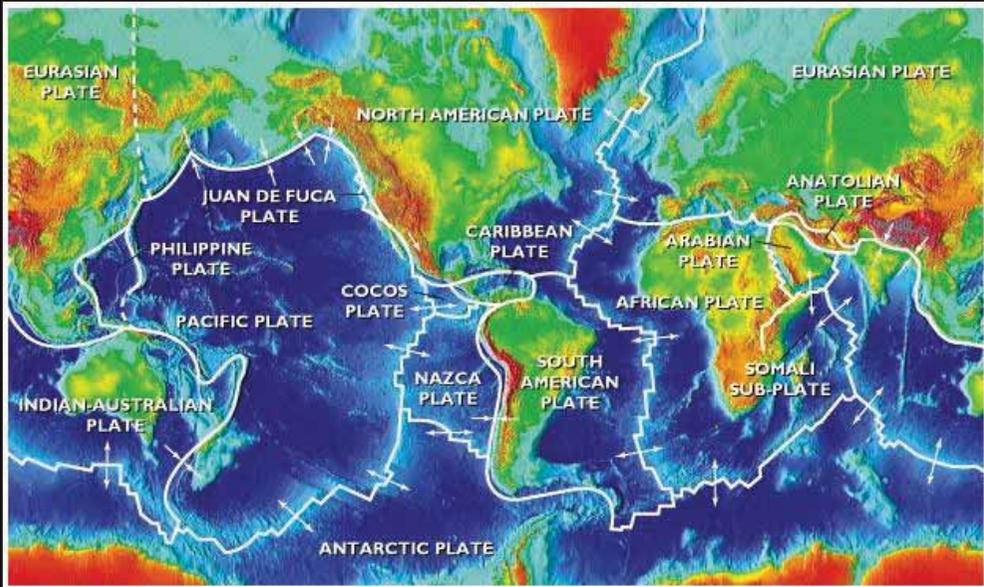
La tectonique des plaques de 1968 à 2013 :  
qu'est ce qui a changé dans le modèle et n'a  
pas (assez) changé dans sa transmission  
depuis l'époque des pères fondateurs ?



Et oui, en 45 ans, les choses changent !

Pierre THOMAS, ENS Lyon,

Colloque AFPSVT, juillet 2013



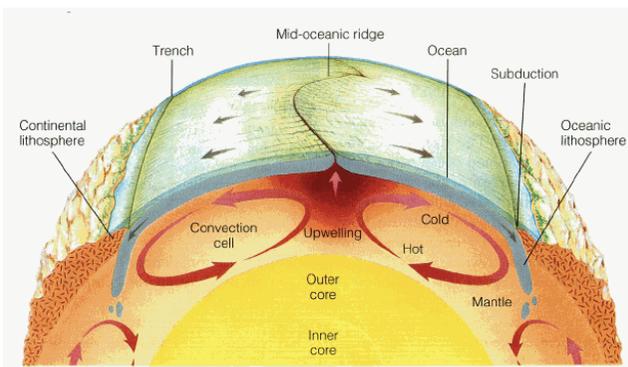
Et voici le modèle des années 1970,  
dans sa version « cartographique », et ...

## La formulation de la théorie



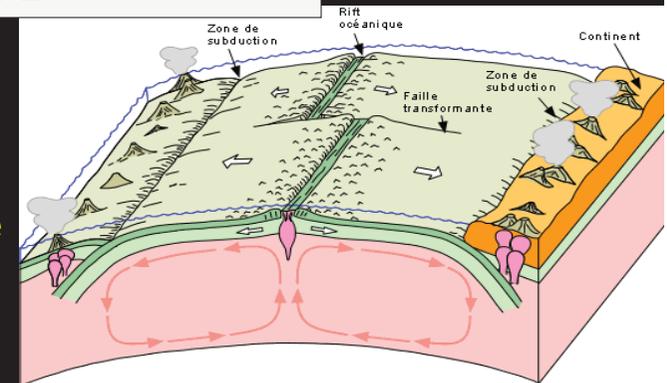
1967 - 1968 : Année de l'acceptation de l'expansion des fonds océaniques.  
Tout est en place pour la grande révolution qui voit la naissance de la théorie de la  
tectonique des plaques dans la publication des papiers de : Dan Mc Kenzie, *Nature*  
1967, Xavier Le Pichon, *J. Geophy. Res.*, 1968 et Jason Morgan, *J. Geophy. Res.*, 1968

Extrait de la conférence de Siegfried LALLEMAND ici même à l'AFPSVT en 2010  
[http://www.paris.iufm.fr/video/svt/doc\\_divers/SL\\_Tecto\\_Plaques\\_15nov.pdf](http://www.paris.iufm.fr/video/svt/doc_divers/SL_Tecto_Plaques_15nov.pdf)

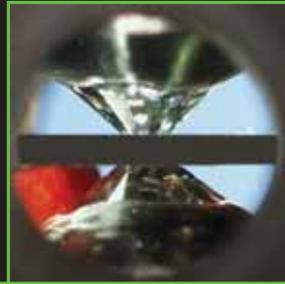


... voici sa (ses)  
version(s)  
« en coupe »,  
toujours dans les  
années 1970.

Regardez bien ces  
schémas, on y  
reviendra. J'espère  
qu'ils vous  
choquent tous !

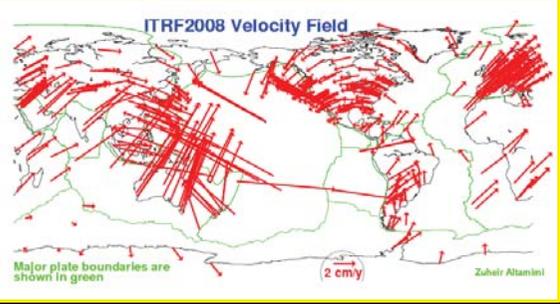


Depuis 45 ans, le modèle a été mainte fois confirmé, affiné ... par plein de données nouvelles, entre autres ...



... par des données expérimentales

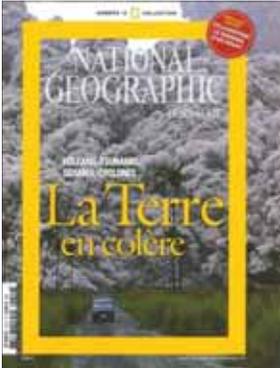
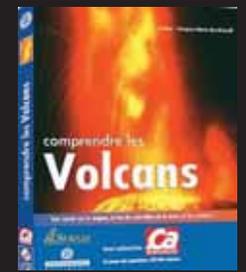
... par des données sous-marines



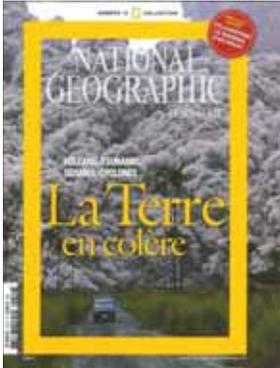
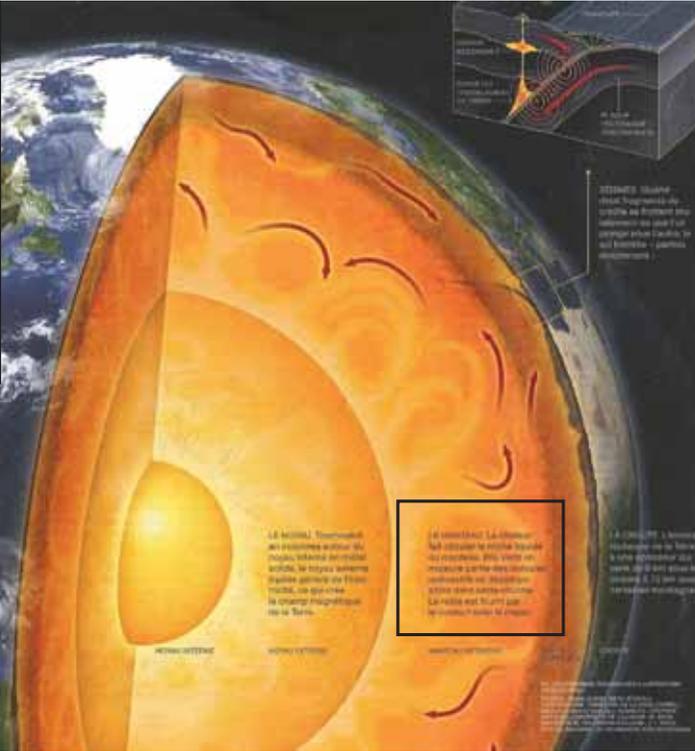
... par des données spatiales

Mais il a aussi été modifié « à la marge », ce qui n'a pas changé sa nature profonde, mais a introduit des modifications significatives, qui ont du mal à passer dans les milieux « géologiques » non spécialisés.

Et je ne parle pas des milieux dit de vulgarisation qui dans ce cas là méritent bien leur nom !



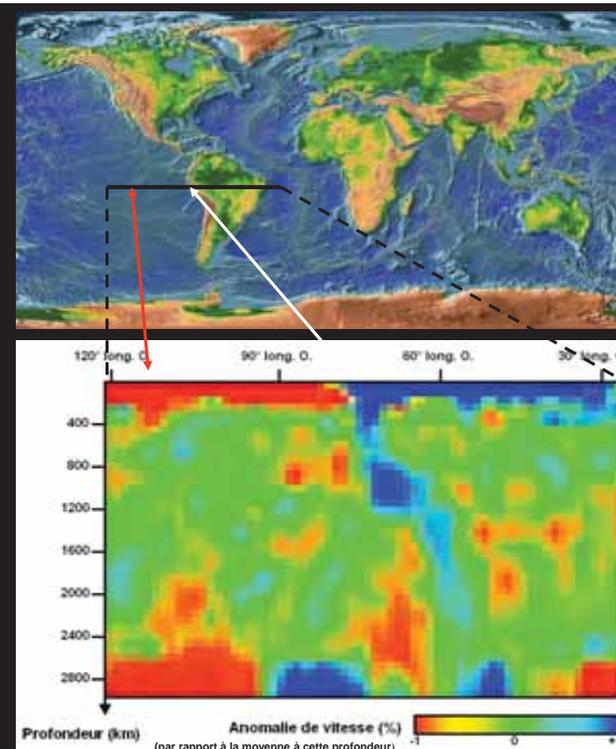
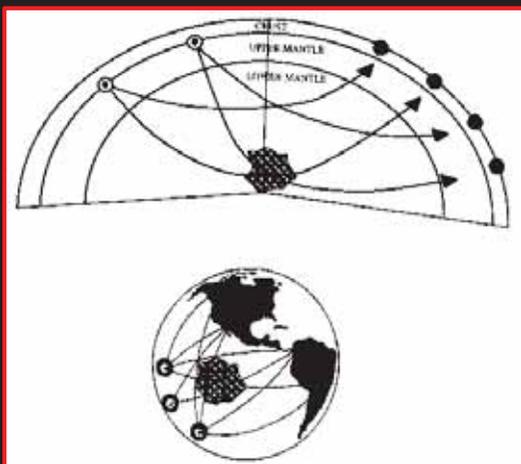
Cela fait donc plus de 40 ans que le modèle est admis. Et pourtant ! Voici un article d'un National Geographic de 2011 (version française).



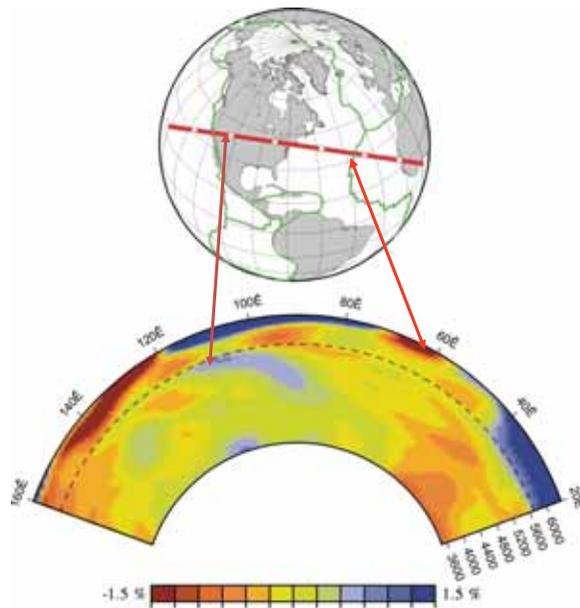
Cela fait donc plus de 40 ans que le modèle est admis. Et pourtant ! Voici un article d'un National Geographic de 2011 (version française).

LE MANTEAU La chaleur fait circuler la roche liquide du manteau. Elle vient en majeure partie des isotopes radioactifs en décomposition dans cette couche. Le reste est fourni par le contact avec le noyau.

## Première modification : les apports de la tomographie sismique



Résultats :  
les dorsales ne se « voient » qu'en surface et ne s'enracinent pas ; les subductions se « voient » très profond dans le manteau.

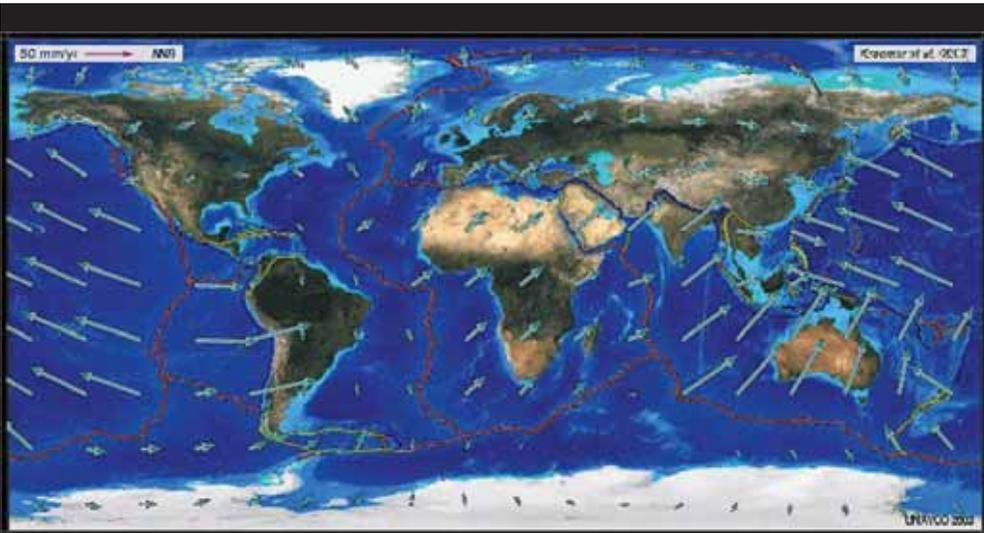


Van Heijst, Ritsema, and Woodhouse [1999]

Idem :  
Résultats : les dorsales ne se voient qu'en surface et ne s'enracinent pas ; les subductions se voient très profond dans le manteau.

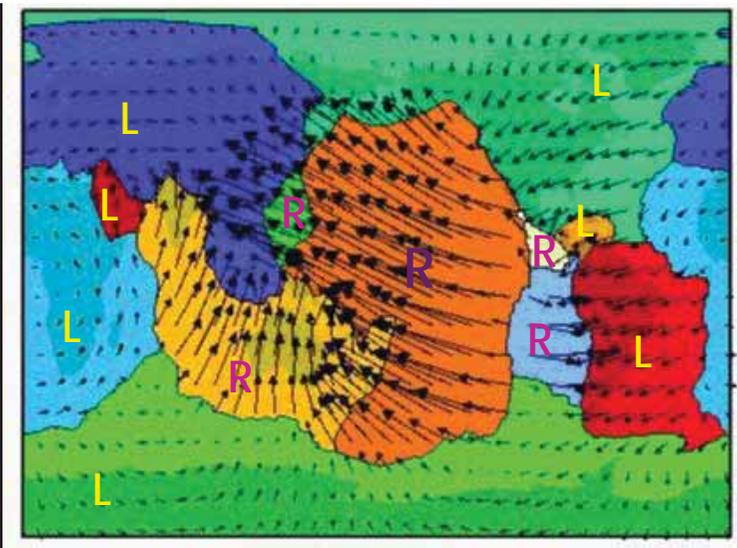
## Deuxième modification : les apports de la connaissance des mouvements dits « absolus » grâce aux points chauds, à la géodésie spatiale ...



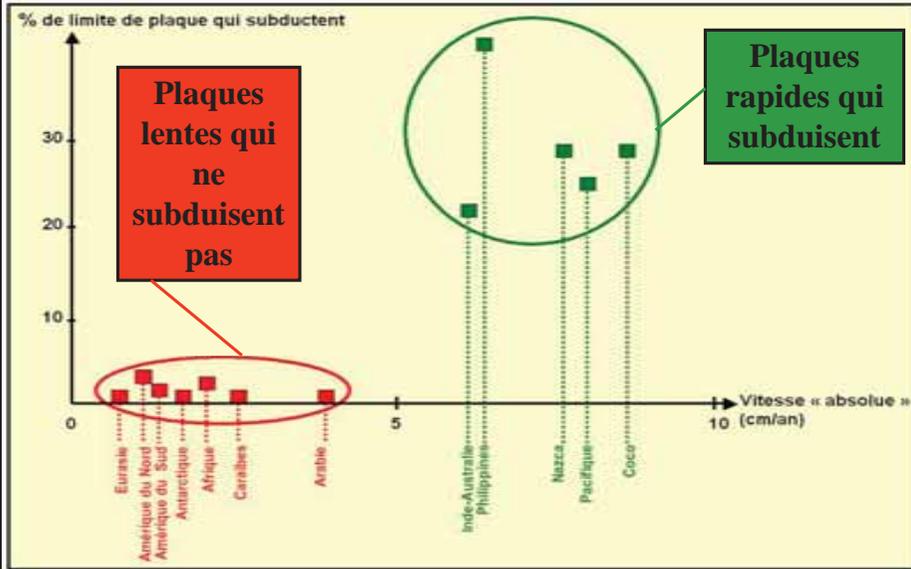


Un exemple de modèle de déplacement « absolu » des plaques. Ils y en a d'autres, qui ne se distinguent les uns des autres que par des « détails ».

L = plaque lente  
R = plaque rapide



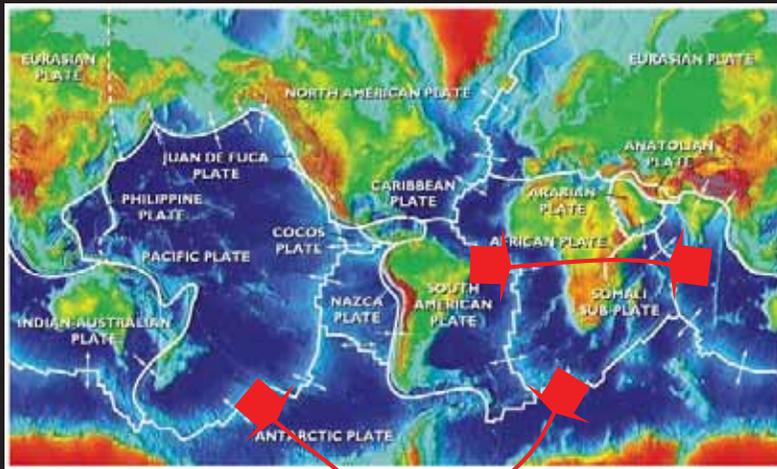
Voici une autre carte mouvement absolu des plaques, où on sépare plaques rapides (R) et lentes (L), ce qui montre le rôle moteur des subductions quand on le met en relation avec ...



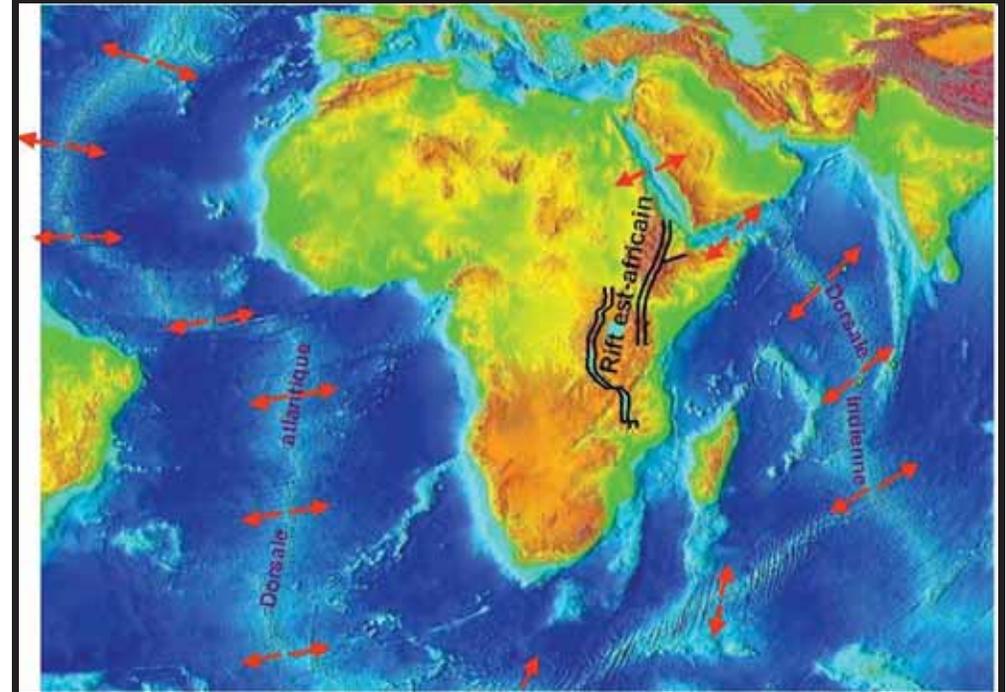
... la proportion de leur frontière qui subduit. Les plaques qui subduisent vont « vite » ; les plaques qui ne subduisent pas ne bougent que peu. Idem pour les dorsales, rapides quand elles sont « attachées » à des subductions, lentes dans le cas inverse.

Troisième modification : la confirmation du faible « rôle » des dorsales, et du faible rôle du magmatisme dans le fonctionnement des dorsales

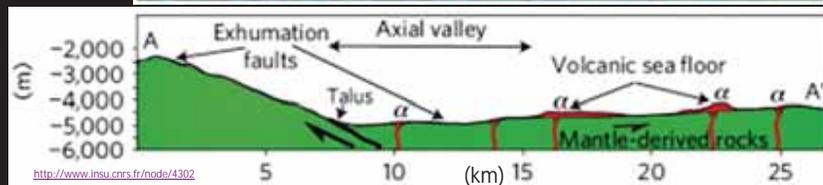
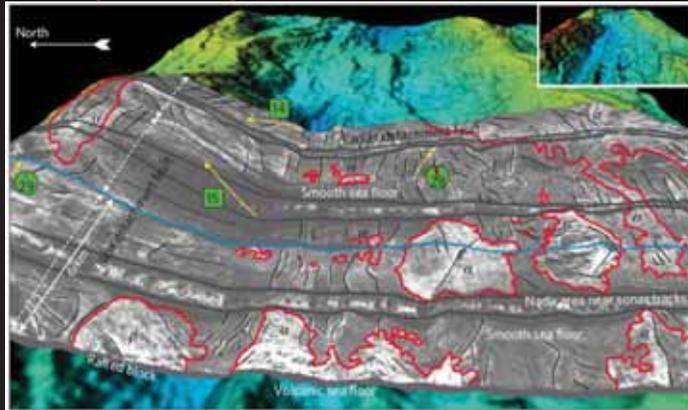
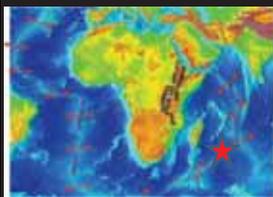




Si les dorsales avaient un rôle moteur actif majeur, si elles « poussaient » comme on me l'a appris il y a 40 ans, imaginez ce que seraient les plaques ceinturées de dorsales !

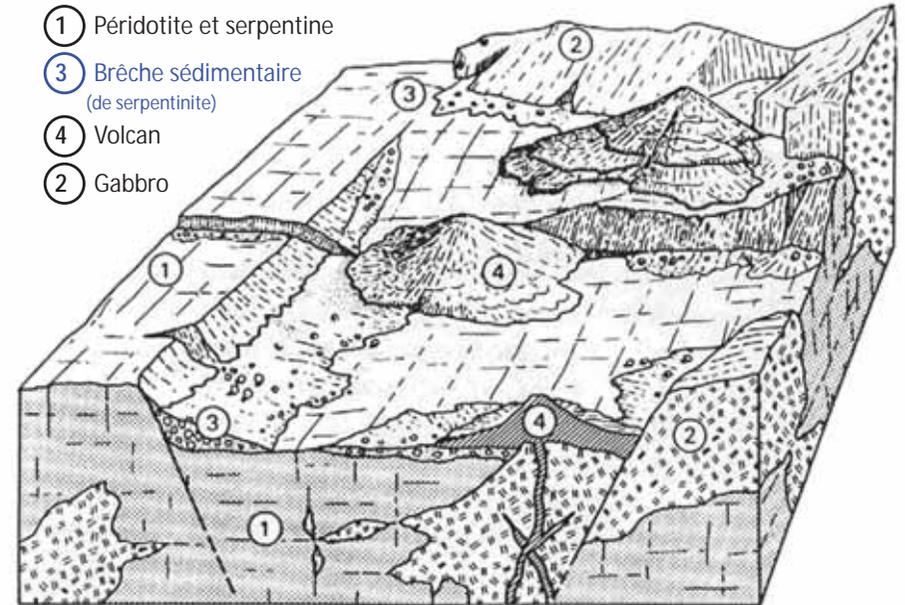


Puis submersibles, dragages et forages découvrent que les dorsales rapides n'ont pas de rift, et surtout que les dorsales lentes n'ont pas (ou peu) de volcanisme ...



<http://www.lnsu.cnrs.fr/node/4302>

- ① Péridotite et serpentine
- ③ Brèche sédimentaire (de serpentine)
- ④ Volcan
- ② Gabbro



... ce que savaient depuis longtemps les géologues des ophiolites (ici Lagabrielle 1996)



Une brèche sédimentaire de serpentinite et de calcaire (Apennin italien) ...

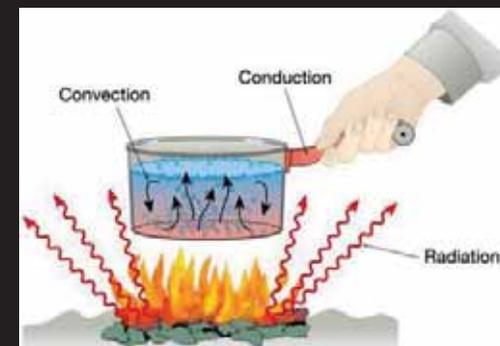


Une brèche sédimentaire de serpentinite et de calcaire (Apennin italien), calcaire contenant ...

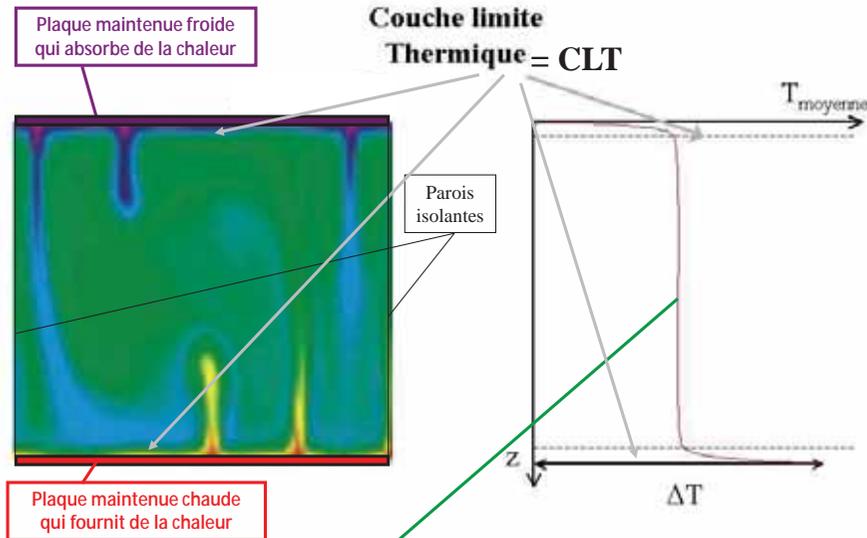


... des nummulites !

Dernière modification dont je parlerai (en regrettant de ne pas parler de la déformabilité des plaques ...) : mieux comprendre la physique de la convection

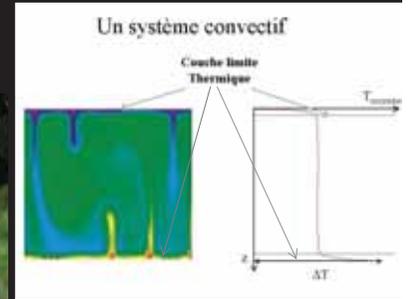


# La convection thermique : surtout un phénomène de surface (au sens interface du terme)

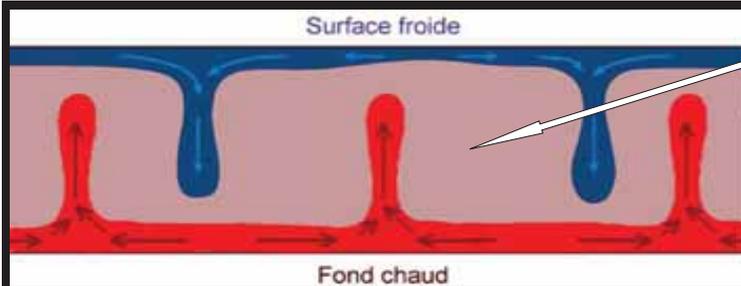


Température quasi constante, à l'effet de la compression / décompression (adiabatique) près !

Qu'est ce qu'une Couche Limite Thermique ?  
 Elle(s) fait (font) partie de la convection ; c'en est la partie supérieure (inférieure). C'est dans cette (ces) CLT, mince(s), que s'effectuent les échanges de chaleur par conduction entre la cellule de convection et les sources chaudes et/ou froides extérieures. La matière de la CLT se refroidit (réchauffe) donc par conduction au contact de l'extérieur ; et dès qu'elle est devenue suffisamment dense (peu dense), elle descend (monte). Alors elle n'échange plus de chaleur par conduction avec l'extérieur (qu'elle ne touche plus), reste à température quasi constante, et se fait « remplacer » par de la nouvelle matière. Entre « grands » qui savent, nous voyons tout de suite que la lithosphère océanique est la CLT supérieure des cellules de convection du manteau



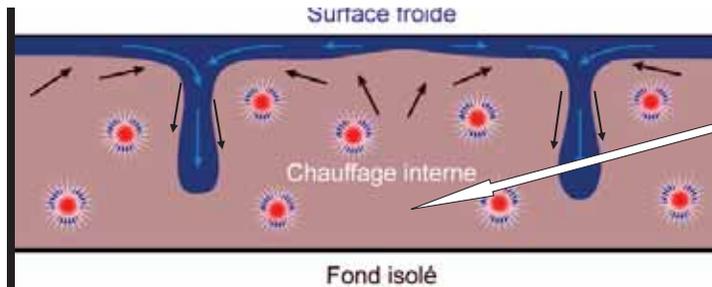
La couche d'air surchauffé au dessus des routes à l'origine des mirages est la CLT inférieure de petites cellules atmosphériques



Au centre des « cellules », il n'y a que peu de mouvements, et ils sont causés par les mouvements des CLT.

Les deux cas de convection thermique.

1. Cas classique : chauffage par le bas et refroidissement par le haut.  
 Montée et descente sont actives

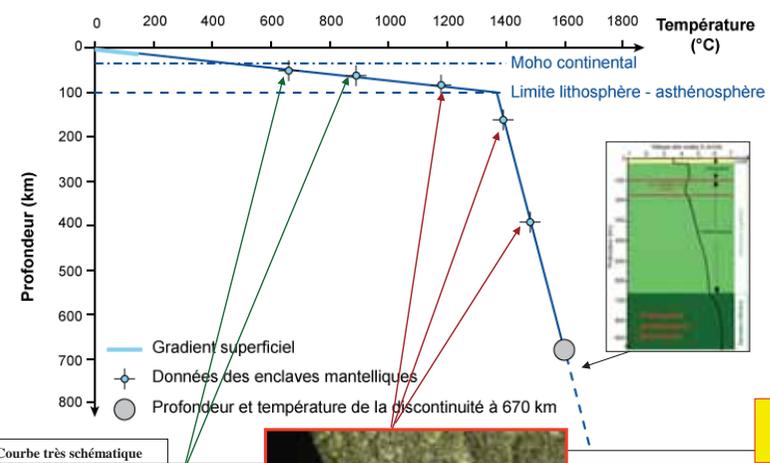
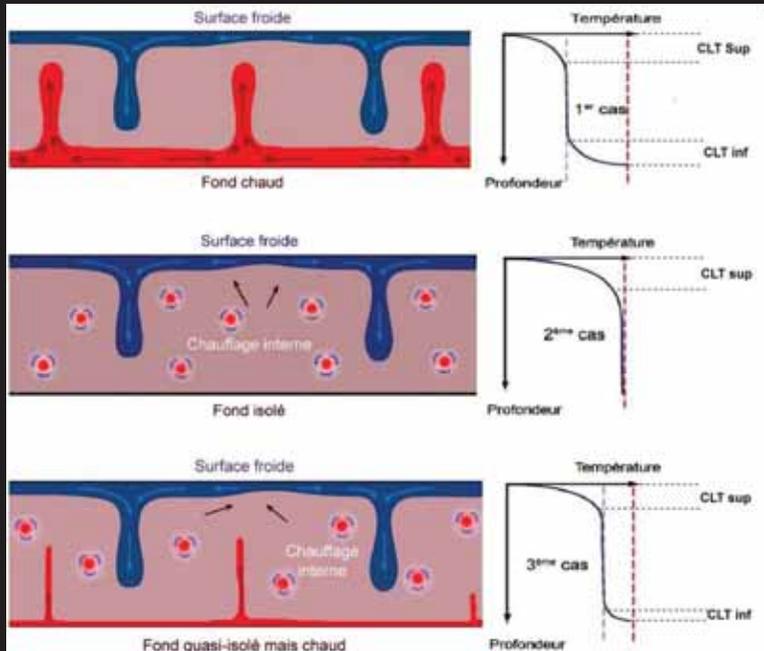


Peu de mouvements sous la CLT, et ils sont causés par l'entraînement dû à la CLT

2eme cas, moins classique : le chauffage n'a pas lieu par le bas, mais dans la masse (cas du manteau terrestre).  
 Seule la descente est active ; la remontée est passive, simplement pour compenser ce qui descend

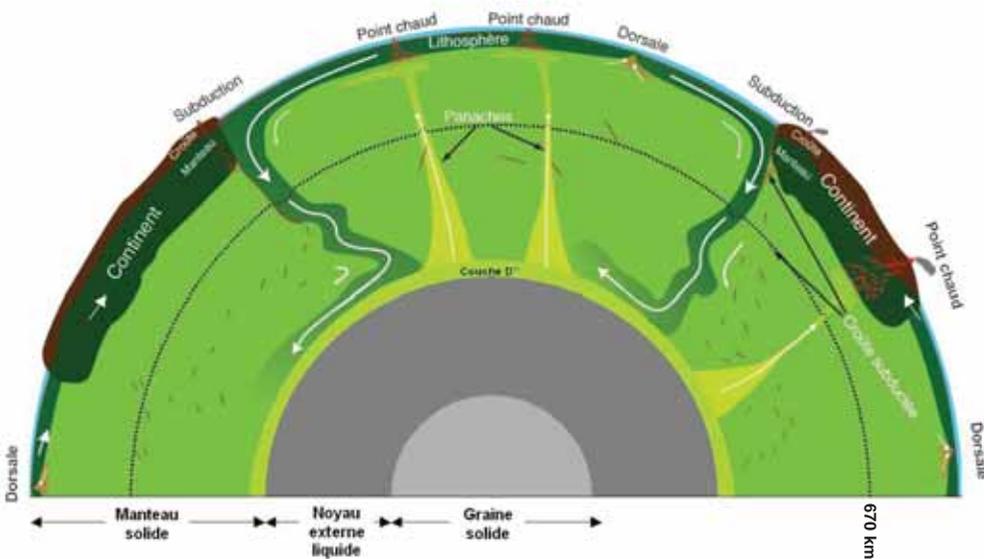
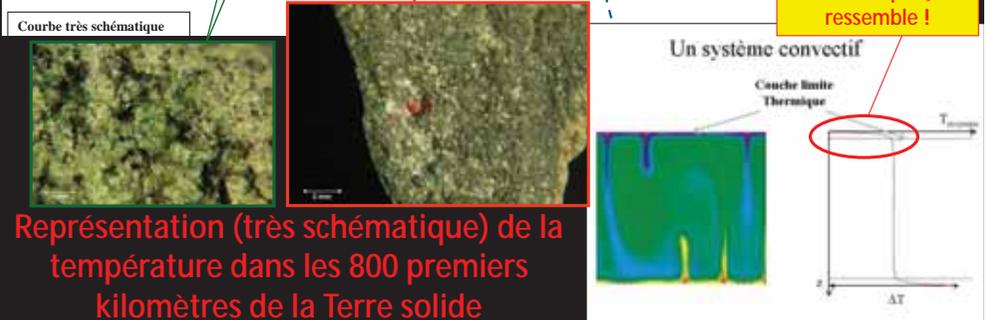


Les deux cas « extrêmes » et un cas intermédiaire (le noyau fournit un peu de chaleur), avec évolution de la température avec la profondeur.



Et voici ce que disent pétrologie et sismologie sur le degré géothermique

Avouez que ça ressemble !



On peut synthétiser tout ça avec le modèle présenté dans « Dossier Pour la Science n° 67, avril-juin 2010 consacré à « la Terre à cœur ouvert » et dans <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/convection-mantellique-tectonique-plaques.xml>

Une phrase classique qui résume à elle seule ces 40 ans d'incompréhension : « quand une croûte (lithosphère) océanique rencontre une croûte (lithosphère) continentale, c'est la croûte (lithosphère) la plus dense (l'océanique) qui subduit ! »

Quand quelque chose coule (lithosphère océanique, Titanic ...), ce qui importe, ce n'est pas la densité de ce qu'il y a à côté (lithosphère continentale, iceberg ...), mais la densité de ce qu'il y a dessous (asthénosphère, eau de mer ...) !

**BOUM**

Autre expression à proscrire : « comme il y a fabrication d'océan au niveau des dorsales et que la Terre n'augmente pas de volume, il faut bien qu'il y ait disparition d'océan quelque part (les subductions) ».

L'inverse serait plus correct : comme il y a disparition d'océan au niveau des subductions et que la Terre ne diminue pas de volume, il faut bien qu'il y ait création d'océan quelque part !

<http://un.site.free.fr/57/grenouille.gif>

### Et le magmatisme dans tout ça ? Il faut le remettre « à sa place », très « marginale »

Le réservoir magmatique, tout petit (quand il existe), intra-cristal puisqu'il donnera du gabbro (et déjà partiellement cristallisé, ce qui n'est pas figuré ici), à ne pas confondre avec la zone de fusion partielle

Zone de fusion partielle maximale (20%)

Zone de fusion partielle débuisante (5%)

Pas de fusion partielle

La remontée asthénosphérique ne vient pas de très profond. Du manteau asthénosphérique devient lithosphérique

Mouvements lithosphériques, sans figurer dessous des mouvements asthénosphériques

### Reprenons les schémas classiques que j'ai critiqués en début de conférence.

Zone de subduction

Rift océanique

Faille transformante

Continent

Qu'est ce qui « ne va pas » (erreurs ou maladroresses) et qui induit, voire enduit, les élèves en erreur ?

### Toutes les dorsales ne sont pas « médio »

Le manteau est couleur « lave », ce qui renforce l'idée d'un manteau liquide

La dorsale est au centre du schéma, ce qui, implicitement, lui donne un rôle majeur, qu'elle n'a pas

L'ascension sous les dorsales part de la base du manteau, ce qui est faux

Les subductions sont toujours associées à un continent, ce qui renforce l'idée qu'ils ont un « rôle »

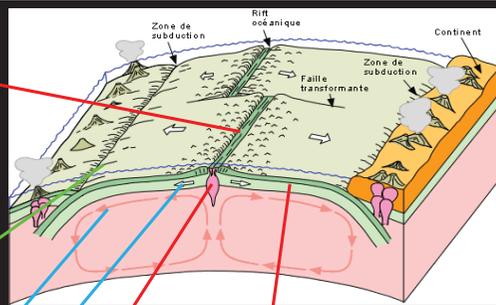
On a l'impression que les mouvements sous-lithosphériques entraînent la lithosphère, alors que c'est l'inverse

Toutes les dorsales n'ont pas de rift, en particulier pas les dorsales rapides associées à des subductions comme ici

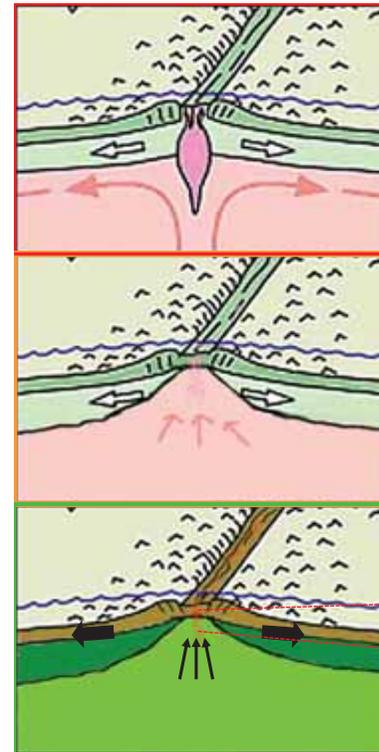
Un bon point : il y a une subduction qui n'implique pas un continent

On a l'impression que les mouvements asthénosphériques (flèches roses) sont plus rapides que les mouvements de la lithosphère (flèches vertes). C'est l'inverse !

Ce figuré donne l'impression de « chambres magmatiques » s'enracinant dans l'asthénosphère, alors qu'elles sont intra-crustales



La lithosphère océanique à une épaisseur constante, ce qui est faux (même erreur dans le schéma précédent)



Le schéma où tout induit l'élève en erreur

Le schéma corrigé avec le même code de couleur

Le schéma corrigé avec un autre code de couleur

Détail du schéma précédent au niveau de la dorsale, revu et corrigé

Chambre magmatique intra-crustale

Zone de fusion partielle et de « production » de basalte

38 diapos. Je peux m'arrêter ici. Merci de votre attention.

Si il me reste du temps, je peux présenter 8 diapos de plus, sous forme de « modélisations arithmétiques » simples, calculant hauteur des dorsales (revoilà l'isostasie), la poussée des dorsales, la traction des subductions, l'épaisseur nécessaire à une dorsale pour qu'elle subduise (CAPES 2013), pourquoi elle subduit alors qu'elle ne le devrait pas ...

Pour  $r_s \leq \lambda$ , la particule ne peut plus « communiquer » avec elle-même ! Le physicien peut poser son stylo ! Soit

$$m \leq \sqrt{\frac{\hbar c}{2G}} = m_{pl} \quad \text{masse de Planck,}$$

ou

$$m_{pl} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ g ou } 1,2 \cdot 10^{19} \text{ GeV, soit } T = 10^{32} \text{ K. La}$$

taille correspondante est le rayon de Planck

$$r_{pl} = \frac{2G}{c^2} \sqrt{\frac{\hbar c}{2G}} = \left(\frac{2G\hbar}{c^3}\right)^{1/2} = 2,2 \cdot 10^{-33} \text{ cm}$$

Le temps de Planck est le temps nécessaire à la lumière pour parcourir  $r_{pl}$  soit

$$t_{pl} = \frac{r_{pl}}{c} = \sqrt{\frac{2G\hbar}{c^5}} = 7 \cdot 10^{-44} \text{ s} = 10^{-43} \text{ s}$$

Temps et rayon de Planck sont les plus petites unités de temps et de distance compatibles avec la physique quantique.

Quelques valeurs (approximatives) de températures, de densités (masses volumique) ...

$\rho$  croûte océanique à  $0^\circ\text{C} \sim 2,80\text{-}2,90 \text{ g/cm}^3$ .

$\rho$  péridotite à  $0^\circ\text{C} \sim 3,35 \text{ g/cm}^3$

T lithosphère, de  $0^\circ$  à  $1300^\circ\text{C}$ , moyenne de  $650^\circ\text{C}$ .

T asthénosphère  $\sim 1300^\circ\text{C}$

$\alpha$  péridotite =  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

$dV / V = - dp / \rho = \alpha \cdot dT$  (un corps se dilate de façon proportionnelle à  $\Delta T$ )

Pour  $600^\circ$  de  $\Delta T$  (différence entre T litho. et T asthén.) :

$\Delta\rho = \rho \cdot \alpha \cdot \Delta T = 3,35 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 650 \sim 0,05$

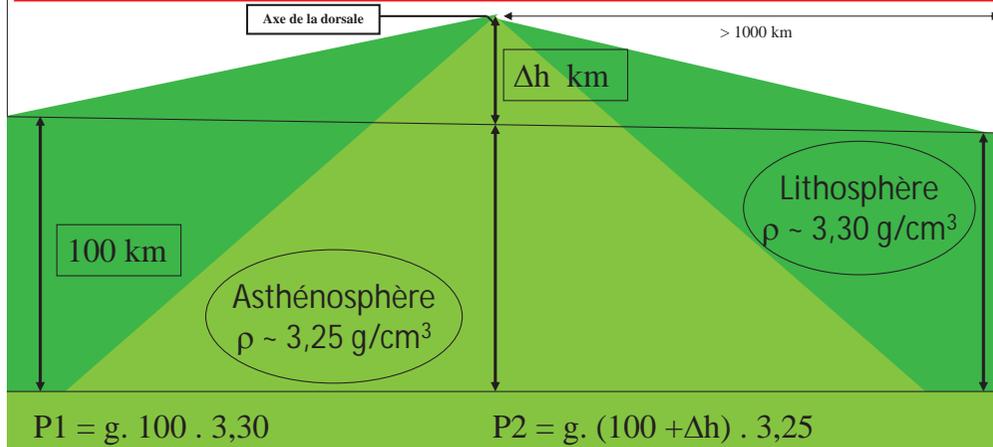
$\rho$  péridotite en surface  $\sim 3,35 \text{ g/cm}^3$

$\rho$  manteau lithosphérique  $\sim 3,30 \text{ g/cm}^3$

$\rho$  manteau asthénosphérique  $\sim 3,25 \text{ g/cm}^3$

→ 1 m<sup>3</sup> de manteau lithosphérique pèse 50 kg de plus qu'1 m<sup>3</sup> de manteau asthénosphérique

**Pourquoi les dorsales sont hautes ? Un petit calcul d'isostasie permet de l'expliquer et de le chiffrer (on néglige la présence de la croûte et de l'eau de l'océan)**

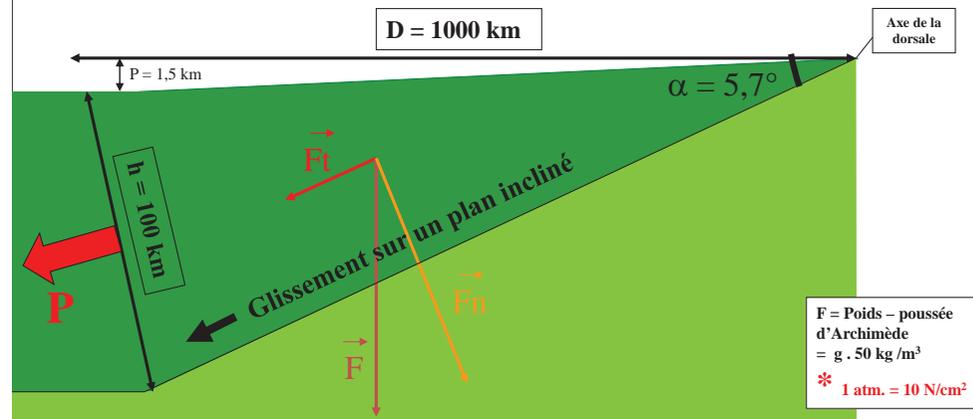


$P1 = P2 \rightarrow$

$\Delta h \sim 1,5 \text{ km}$

**Calcul simplissime de la poussée au niveau d'une dorsale**

- il y en a quand même une petite -  
(on néglige la présence de la croûte et de l'eau de l'océan)



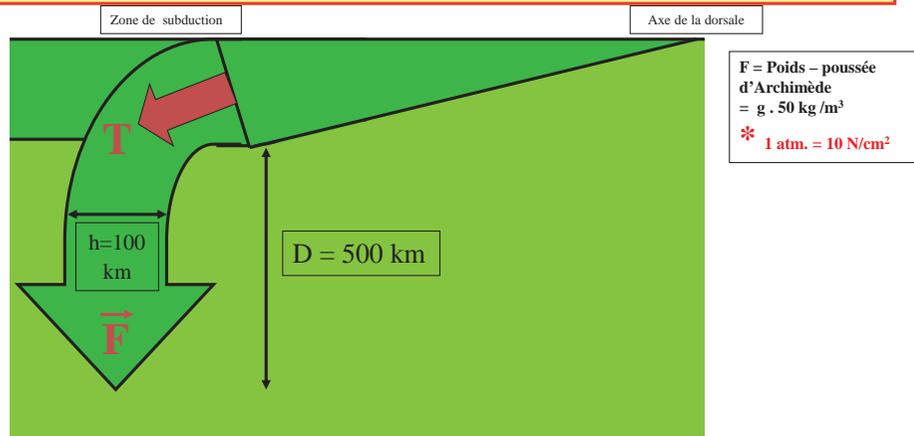
On va raisonner en « surface » (dispositif d'épaisseur unité)

$F = h \cdot D/2 \cdot g \cdot 50$        $F_t = F \cdot \sin \alpha = h \cdot D/2 \cdot g \cdot 50 \cdot \sin \alpha$

Pression de poussée P =  $F_t/h = D/2 \cdot g \cdot 50 \cdot \sin \alpha$

Application numérique :  $P = 2500 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 2\,500 \text{ N/cm}^2$  \*

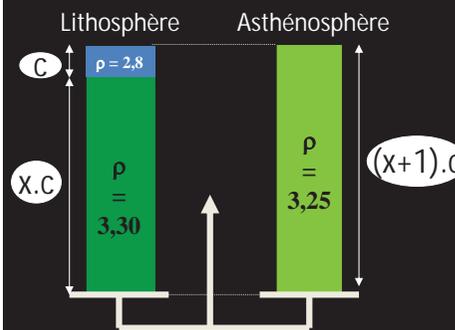
**Calcul simplissime de la traction au niveau d'une subduction (on néglige la présence de la croûte et de l'eau océanique)**



$\vec{F} = h \cdot D \cdot g \cdot 50$       Traction de subduction  $\vec{T} = F/h = D \cdot g \cdot 50$

Application numérique :  $T = 25\,000 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 25\,000 \text{ N/cm}^2$  \*

**Traction de subduction = 10 fois la Poussée à la dorsale !**



Même volume à droite (asthénosphère) et à gauche (lithosphère océanique).

Equilibre si cela correspond à des mêmes masses, donc à des mêmes densités globales

Il y a équilibre de la balance si :  
 $2,80 \cdot c + 3,30 \cdot xc = 3,25 \cdot (x+1) c$

$\rightarrow x = 9$

Dès que le manteau lithosphérique (= le manteau refroidi) atteint 9 fois l'épaisseur de la croûte, c'est à dire dès que la lithosphère globale est égale à 10 fois la croûte, alors

$\rho_{\text{lithosphère}} = \rho_{\text{asthénosphère}}$

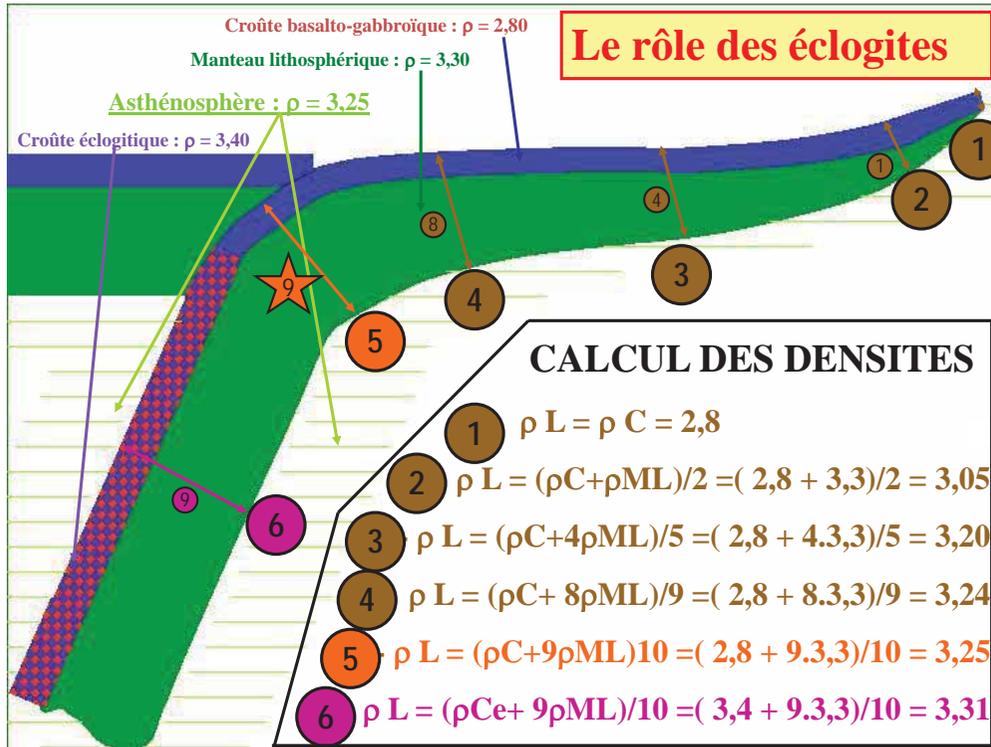
et la subduction est spontanée !

Pour une croûte de 7 km, cela correspond à une lithosphère océanique de 70 km d'épaisseur. Cette épaisseur est obtenue en approximativement 100 MA

Problème : quand une lithosphère atteint sa densité critique (3,25) et qu'une subduction commence, la lithosphère se réchauffe, pas beaucoup mais un peu quand même. Sa densité diminue un peu, donc redevient inférieure à celle de l'asthénosphère, et l'enfoncement devrait s'arrêter. Tout ça à cause du « flotteur » que représente la croûte océanique, flotteur qui n'existe pas dans les modélisations simples qui précèdent.

Heureusement, Dieu a créé les éclogites !

Eclogite,  $\rho = 3,40$



La transformation basalte  $\rightarrow$  éclogite transforme la croûte en éclogite ( $\rho = 2,8 \rightarrow \rho = 3,4$ ) et  $\rho$  éclogite  $>$   $\rho$  péridotite.

Son action de « flotteur » devient « lest »



Photo Pierre Thomas



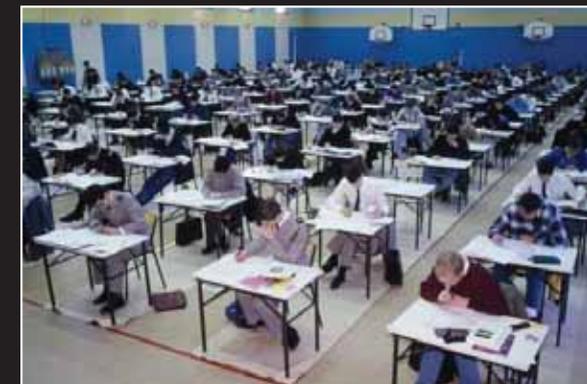
Echantillon Pierre Thomas

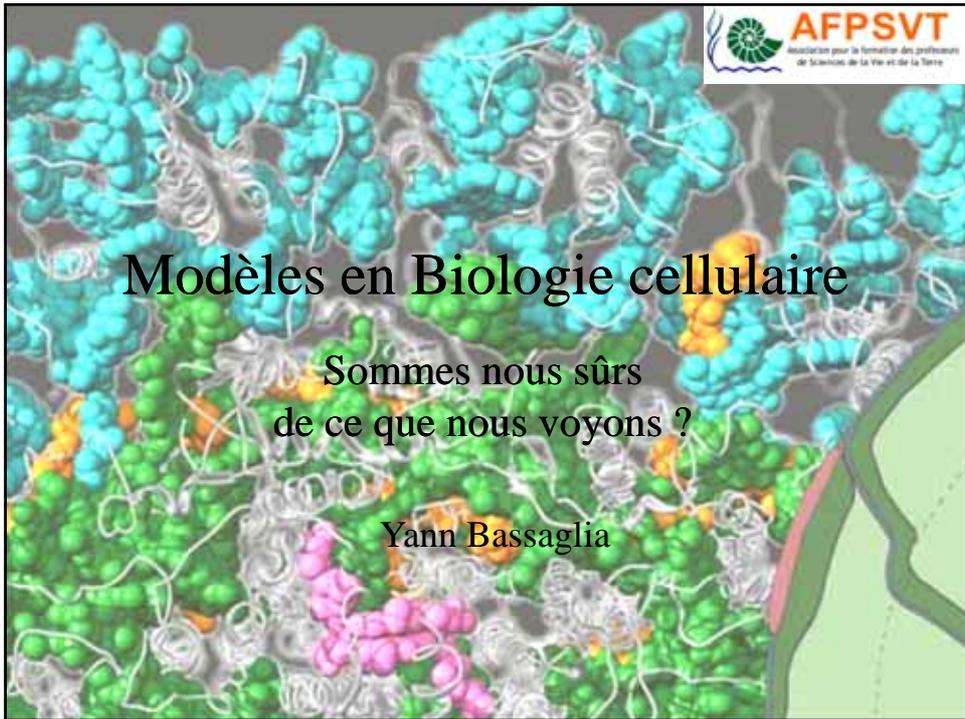


<http://www.physics.utoronto.ca/~bwalker/image/eballon.jpg>



C'est avec ces petits calculs « dans l'esprit du CAPES » mais allant un peu plus loin que je m'arrête pour de bon. Merci de votre attention !





**AFPSVT**  
 Association pour la formation des professeurs  
 de Sciences de la Vie et de la Terre

# Modèles en Biologie cellulaire

Sommes nous sûrs  
de ce que nous voyons ?

Yann Bassaglia

## Biologie cellulaire ?

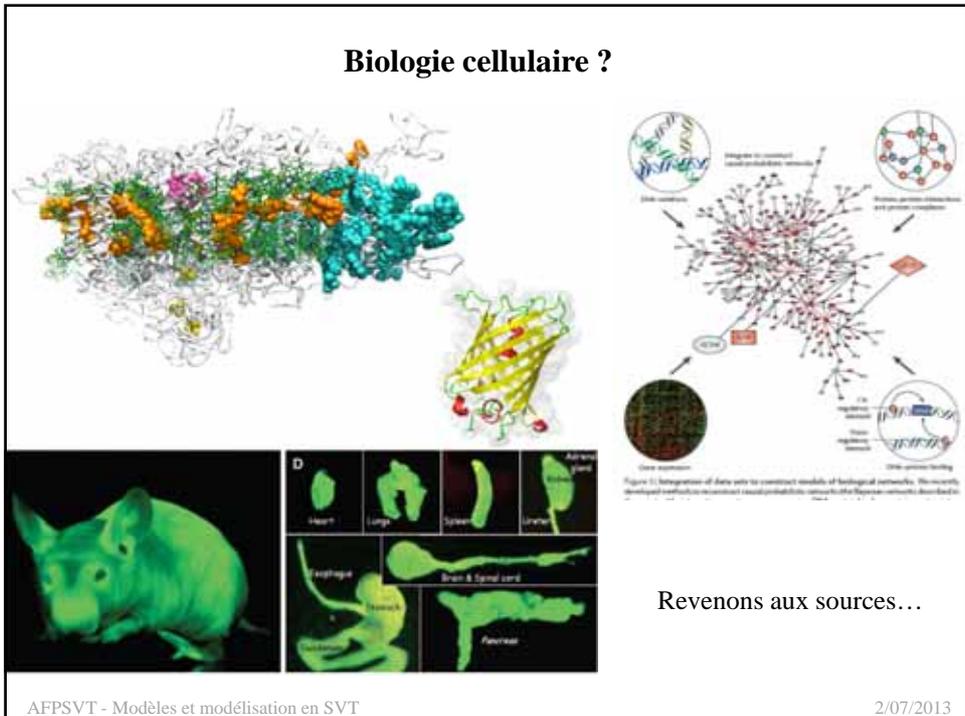


Figure 1: Integration of data sets to construct models of biological networks. The network developed for this research is a causal probabilistic network for the *Drosophila* embryo. From Bard et al.

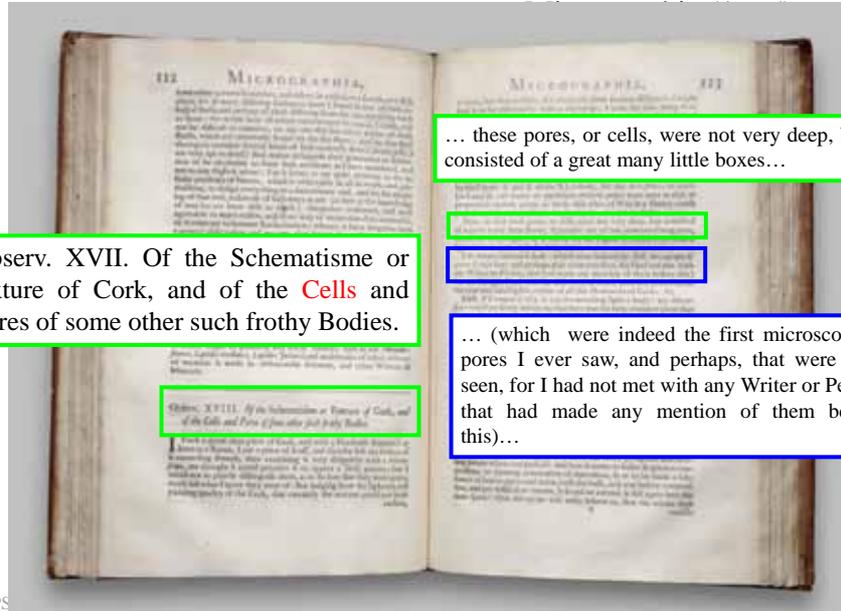
Revenons aux sources...

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

Cellule, vous avez dit cellule ?

**Robert Hooke**



AFPS

2013

**Robert Hooke**  
Micrographia (1665)



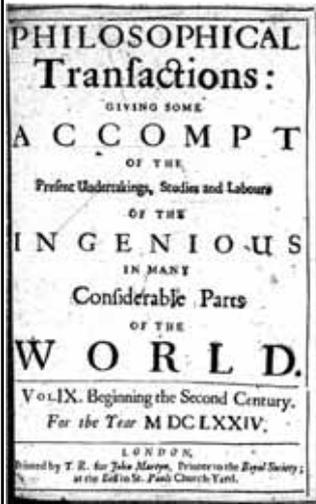
Observation et représentation...



AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

## Antonin van Leeuwenhoek



1674 :  
« animalcules »



( 821 )  
called *Berkelse-Sea*, whose bottom in many places is very moorish. This water is in Winter very clear, but about beginning or in the midst of Summer it grows whitish. and there are then small *green* *animalcules* which are very numerous, and move with a very quick motion, and few in number. These *animalcula* had divers colours, some being whitish, others pellucid; others had green and very shining little scales; others again were green in the middle, and before and behind white. others grayish. And the motion of

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

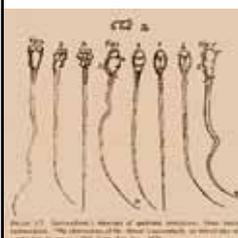
2/07/2013



1679 : spermatozoides

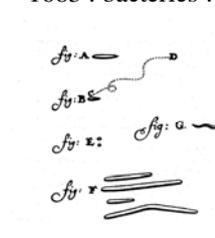


1683 : bactéries !!...



*Antonij van Leeuwenhoek*

Observation  
et représentation...  
Modélisation !



AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013



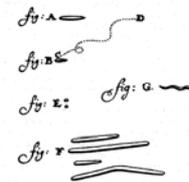
Spermatozoïde ?...



1683 : bactéries !!...

*Antonie van Leeuwenhoek*

Observation  
et représentation...  
Modélisation !



## La théorie cellulaire

Schleiden (1838) : Beiträge zur Phytogenesis

Schwann (1839) : Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen



Matthias Jakob Schleiden  
(1804-1881)



Theodor Schwann  
(1810-1882)



## La théorie cellulaire

Schleiden (1938) : Beiträge zur Phytogenesis  
 Schwann (1839) : Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen  
 Virchow (1858) : die Cellularpathologie

... Wo eine Zelle entsteht, da muss eine Zelle vorausgegangen sein (Omnis cellula e cellula), ebenso wie das Thier nur aus dem Thiere, die Pflanze nur aus der Pflanze entstehen kann. Auf dem Wege ist, weshalb in diesem Punkte ein Irrthum gibt, so die einzige Wahrheit nicht geändert ist, doch die Prinzip gelehrt, dass in der ganzen Natur alle Lebewesen, das seien aus ganz Pflanzen oder thierische Organismen oder unorganische Thiere derselben Art, ein einziges Gesetz der vegetabilischen Entwicklung befolgt. Es gibt keine Discontinuität der Entwicklung in der Art, dass eine neue Generation aus sich aus einer andern von derselben Art hervorgeht. Alle vegetabilischen Gewebe können weder auf ein Körner, noch auf ein gewisse stielchen Element zurückgeführt werden, so sei dass auf die Zelle selbst in welcher Weise diese vegetabilische Zellentwicklung, dass es kann aus dem Vorgang hervorgehen, vor sich geht, das werden wir später beleuchten. Sie lesen hier nur nur daran, zunächst die vorläufige, dass man als Grundlage der legend eine Auffassung über die Zusammensetzung der Gewebe von Thieren von stielchen Elementen oder stielchen Körperchen (Elementen oder Elementen) ansehen darf. ...



  
 Matthias Jakob Schleiden  
(1804–1881)

  
 Theodor Schwann  
(1810–1882)

  
 Rudolf Virchow  
(1821–1902)

... Wo eine Zelle entsteht, da muss eine Zelle vorausgegangen sein (Omnis cellula e cellula), ebenso wie das Thier nur aus dem Thiere, die Pflanze nur aus der Pflanze entstehen kann

C'est en fait un pari *a priori* dans la controverse du temps...  
 ... une modélisation de la génération

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT 2/07/2013

## La théorie cellulaire

Schleiden (1938) : Beiträge zur Phytogenesis  
 Schwann (1839) : Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen  
 Virchow (1858) : die Cellularpathologie



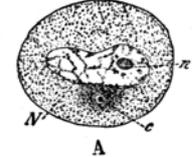


  
 Matthias Jakob Schleiden  
(1804–1881)

  
 Theodor Schwann  
(1810–1882)

  
 Rudolf Virchow  
(1821–1902)

Observation...



A  
Perrier, 1899

... représentation

**Cytologie**

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT 2/07/2013

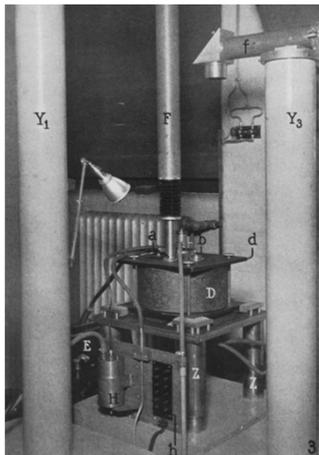
## De la cytologie à la biologie cellulaire



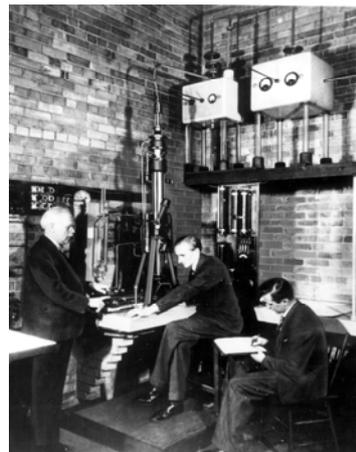
Keith R. Porter

Créateur du laboratoire de **biologie cellulaire** (1950 !)

## De la cytologie à la biologie cellulaire



1936 : ultracentrifugeuse  
(E.G. Pickels)



Microscope électronique (1938)

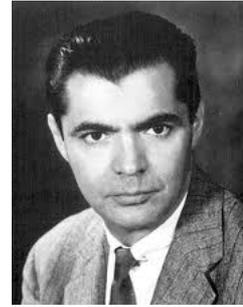
## De la cytologie à la biologie cellulaire



Albert Claude  
(Fractionnement cellulaire)



Keith R. Porter

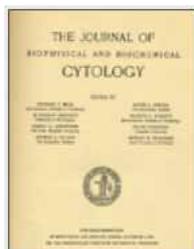


George Emil Palade  
(MET)

Créateur du laboratoire de **biologie cellulaire** (1950 !)

## De la cytologie à la biologie cellulaire

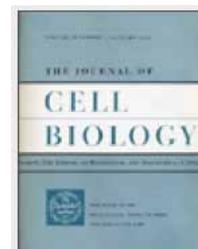
The Journal of  
biophysical and  
biochemical Cytology



January 25, 1955  
Vol. 1, No. 1



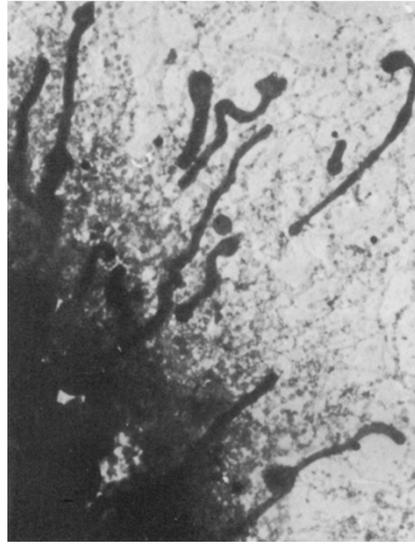
The Journal of  
Cell Biology



January 1, 1962  
Vol. 12, No. 1

Cristallisation  
- de modes d'approches expérimentales  
- de modes d'approches intellectuelles

Fondation d'une discipline... d'un mode de modélisation ?



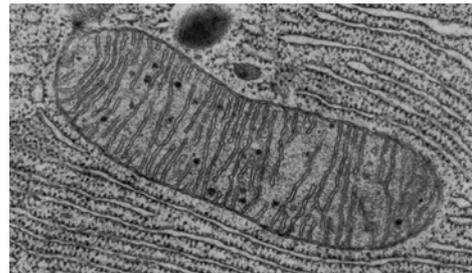
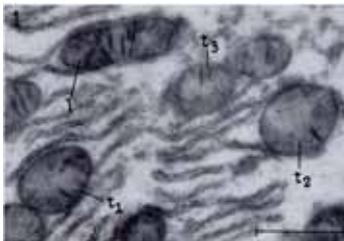
Une culture de l'image photo...  
comme donnée objective ?

Porter KR, Claude A & Fullam EF (1945) J. Exp. Med. 81 : 233-246

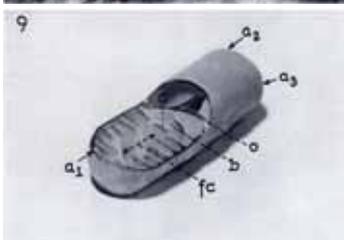
AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

### L'exemple de la mitochondrie



Porter, in Fawcett (1981)



Modèle de Palade (1953)

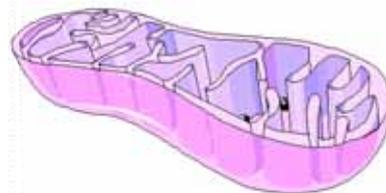
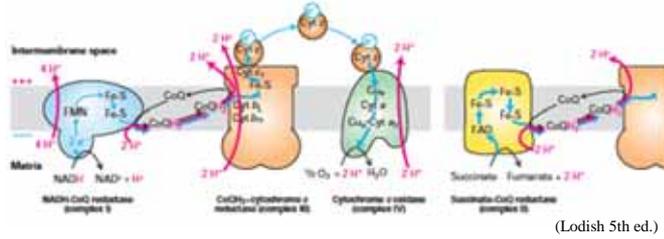


Photo objective donc modèle « objectif » ?...

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

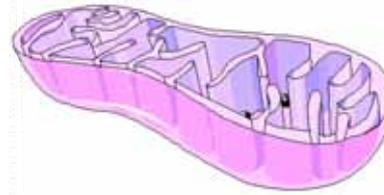
2/07/2013

### L'exemple de la mitochondrie

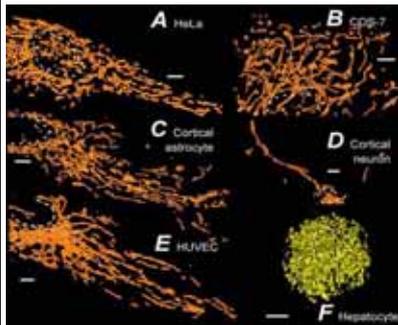


Intégration structure / fonction.

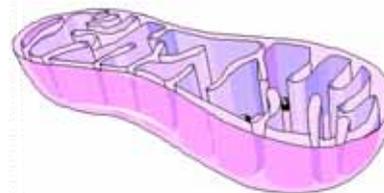
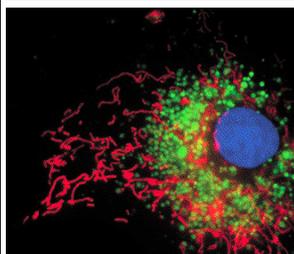
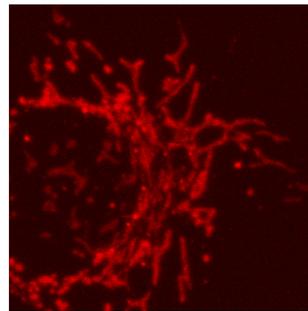
Un bon modèle mécanistique :  
simple, complet.... élégant.



### L'exemple de la mitochondrie

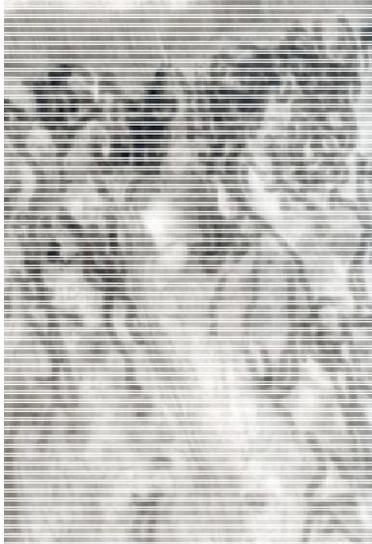


Collins (2002)



Simplification.  
Certes, mais...

## L'exemple de la mitochondrie



Favard, in Alberts (1994)

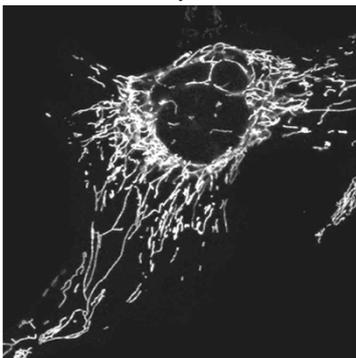
HV-TEM

Cellule intestinale  
(*in vivo*)



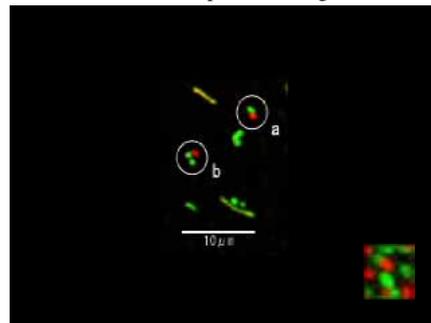
## L'exemple de la mitochondrie

Fibroblaste embryonnaire de souris



Chen (2003)

Cellules d'épiderme d'oignon



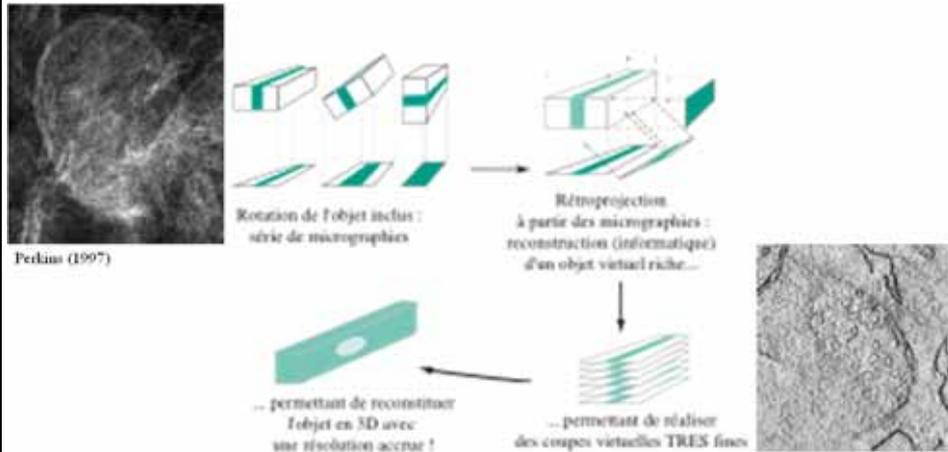
Arimura (2004)

Chondriome dynamique !

- Défaut de fusion :
- Maladie de Charcot-Marie-Tooth type 2 (mitofusine)
  - Atrophie optique type I (OPA1)

## L'exemple de la mitochondrie

Tomographie électronique de Neurones (poulet, souris)

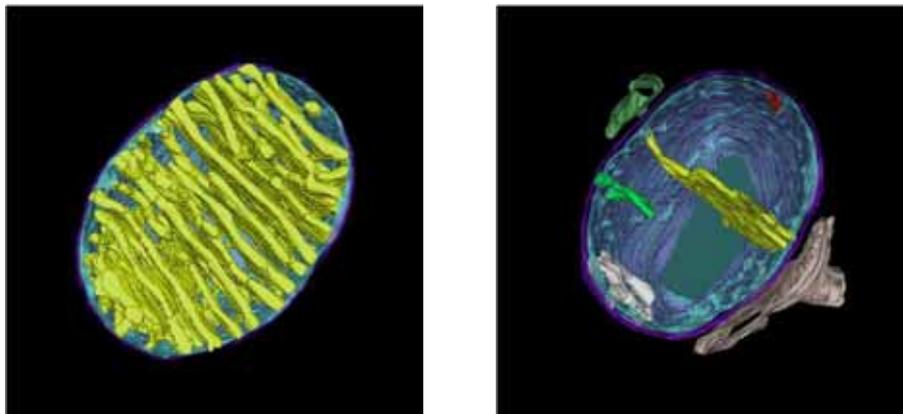


AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

## L'exemple de la mitochondrie

Tomographie électronique de Neurones (poulet, souris)

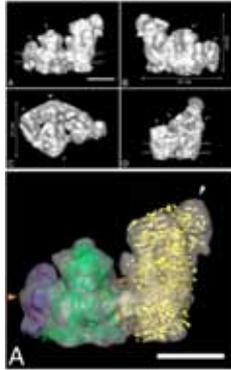


Perkins (1997)

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

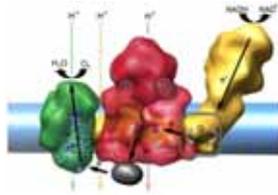
2/07/2013

## L'exemple de la mitochondrie

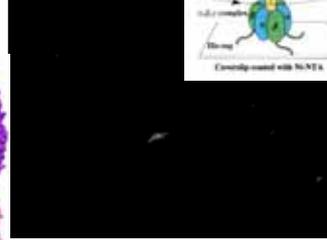


Dudkina (2011)

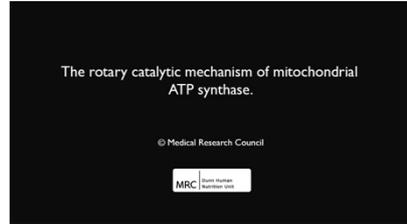
Respirasomes  
(I, III<sub>2</sub>, IV)



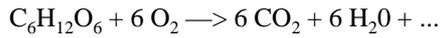
ATPase



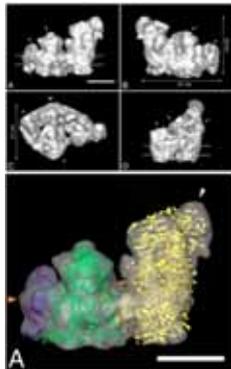
Noji (1997)



Fonctionnement stochastique...

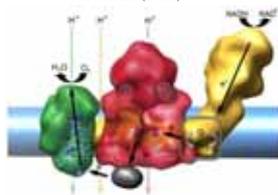


## L'exemple de la mitochondrie

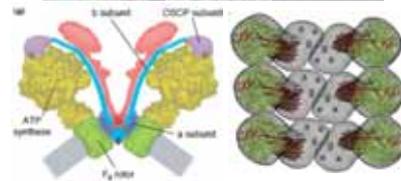
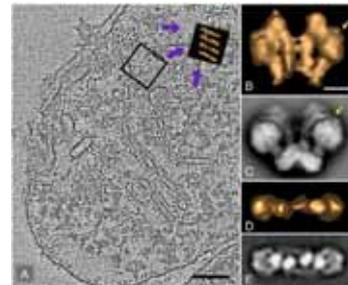


Dudkina (2011)

Respirasomes  
(I, III<sub>2</sub>, IV)

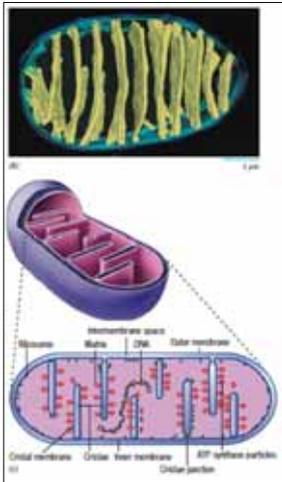


Un rôle structural pour  
la F<sub>0</sub>-F<sub>1</sub> ATPase

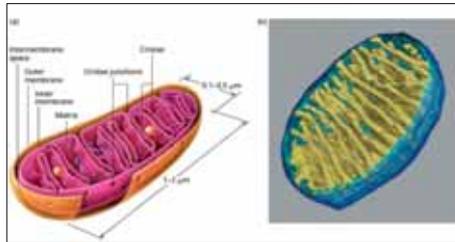


Dudkina (2010), Vonck (2009)

## L'exemple de la mitochondrie



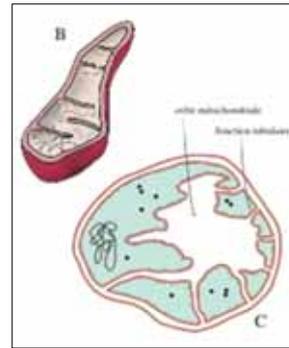
(Karp 6th ed.)



(Lodish 5th ed.)

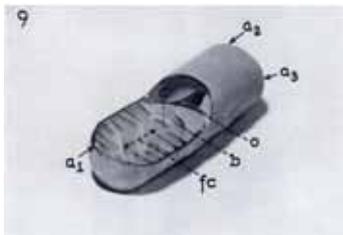


Trop statique...  
Trop mécanique...



## L'exemple de la mitochondrie

### REMARQUE...



Palade (1953 → ~2008)

Daems, W. T., & Wisse, E. (1966).  
Shape and attachment of the cristae mitochondriales in mouse hepatic cell mitochondria.  
*Journal of ultrastructure research*, 16(1), 123–140.

oval profiles in tangentially sectioned mitochondria. Therefore, it seems probable that in these cells with mitochondria of the "crista type" the cristae are attached to the inner mitochondrial membrane by means of a pediculus cristae.



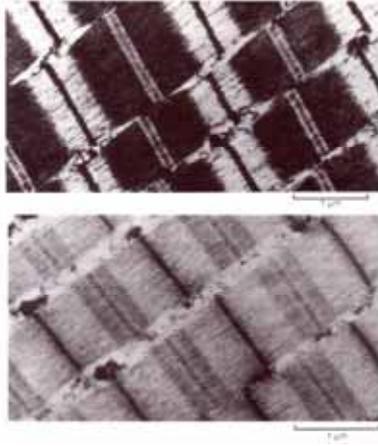
FIG. 19. Three-dimensional impression of a segment of a mouse hepatic parenchymal cell mitochondrion, showing the shape of the cristae and the appearance of the cristae in two sections taken perpendicular to each other. a, cristae mitochondriales. A pediculus cristae; c, cristae with a pediculus; d indicates the thickness of an actual ultrathin section drawn to scale. The left-hand part of the mitochondrion is sectioned tangentially.

Un article rigoureux et prémonitoire...  
... non cité avant 2001 !

Du pouvoir d'un modèle à un modèle de pouvoir ?...

## L'exemple de la mitochondrie

- Une image publiée *porte* un modèle et c'est un sous-entendu fort...  
la photo est-elle une donnée objective ?



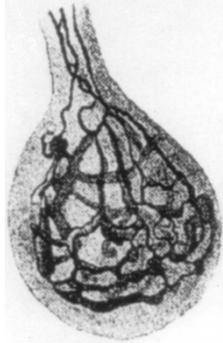
Huxley aurait pu proposer que  
la contraction musculaire implique...  
un raccourcissement de la bande sombre ???

(Huxley, in Wilson & Hunt 1994)

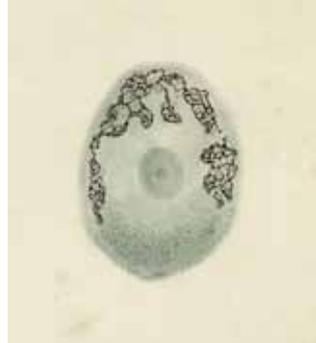
## L'exemple de la mitochondrie

- Une image publiée *porte* un modèle et c'est un sous-entendu fort...  
l'image est-elle une donnée objective ?
- Les structures biologiques se moquent du rasoir d'Ockham...
- L'existence (et la survie) d'un modèle n'a pas que des implications scientifiques  
La sociologie de la science est importante...  
modèle comme outils « étendard »  
modèle comme pompe à 'phynances

## L'exemple de l'appareil de Golgi



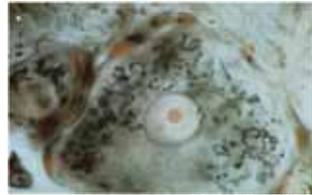
Golgi 1898  
(in Mazzarello 2009)



Golgi (in Mazzarello 2011)

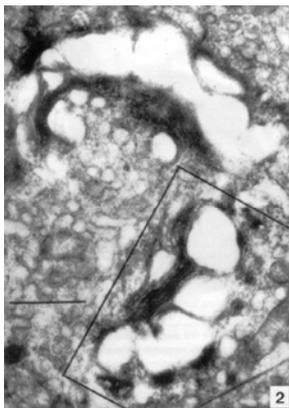


Apparato reticolare  
interno

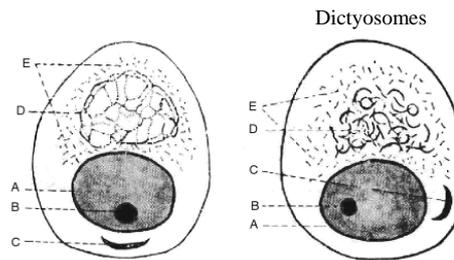


(Mazzarello 1998)

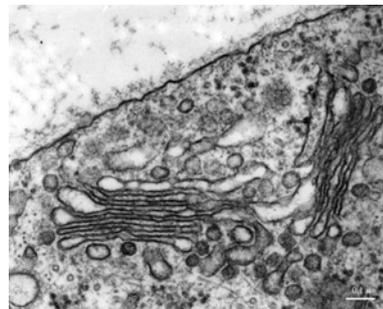
## L'exemple de l'appareil de Golgi



Dalton & Felix 1954



Perroncito 1910

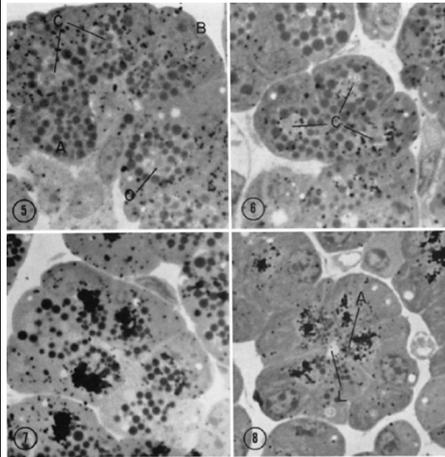


## L'exemple de l'appareil de Golgi

Dynamique...

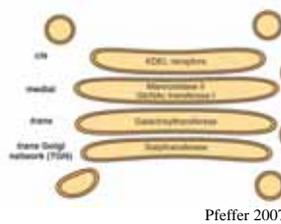
ET

Statique...

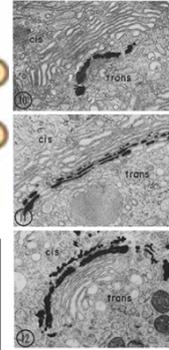


FIGURES 5-8 Light microscopic radiograph of slices pulse labeled for 8 min with L-leucine-<sup>3</sup>H (Fig. 5) and incubated in chase for further +17 min (Fig. 6), +37 min (Fig. 7), +57 min (Fig. 8), and +117 min (Fig. 9). B, lumen of cell; C, centrosome region (Golgi complex); L, acinar lumen; D, collecting duct; A, cell apex with synogen granules. Exposure time 7 days. X, 1,750.

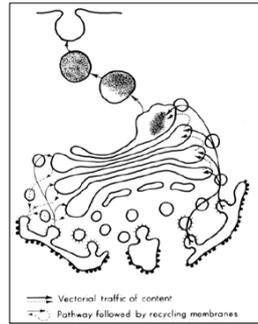
Jamieson & Palade 1967



Pfeffer 2007



Friend 1969



Farquhar & Palade 1981

Modèle  
vésiculaire

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

## L'exemple de l'appareil de Golgi

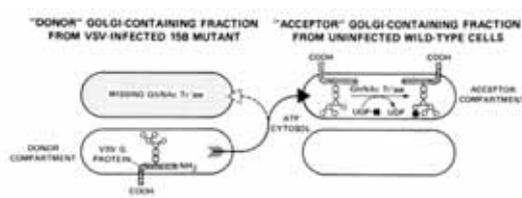
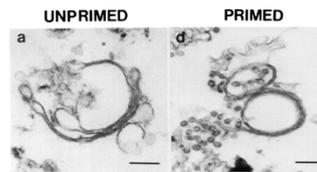


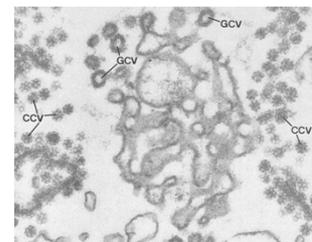
Figure 1. Assay for Transport of a Protein between Donor Golgi Compartments *in Vitro*, Based on a Transport-Coupled Intermediation.

a specific partial reaction. The experiments described in two subsequent papers (Brail et al., 1984; Balch et al., 1984) show that the bulk of Golgi membranes in both donor and acceptor fractions are in the form of stacks of cisternae, and suggest that G protein is transported between the stacks in the form of transport vesicles that form and fuse during the incubation.

Balch 1984a



Balch 1984b



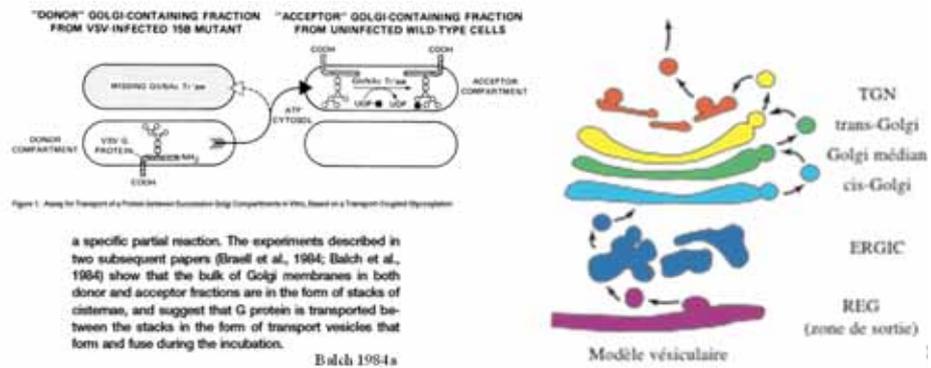
Orci 1986

COPI - ARF1  
Machinerie NSF/SNAP/ SNARE

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

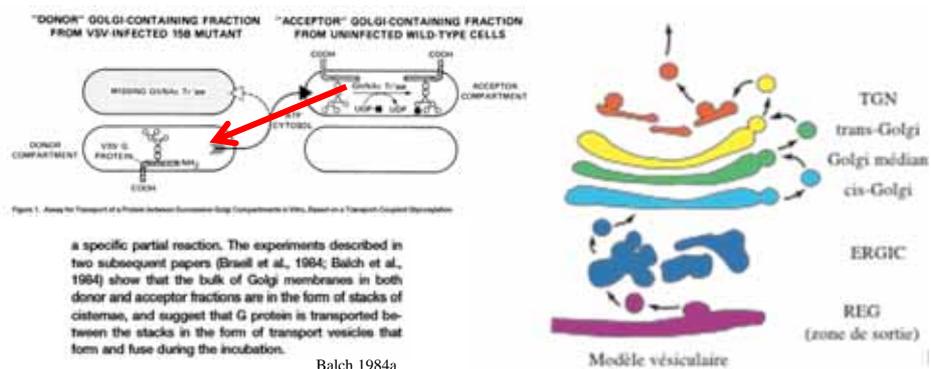
2/07/2013

## L'exemple de l'appareil de Golgi

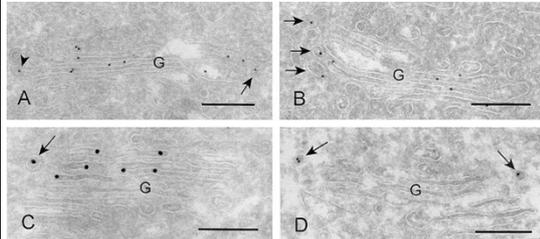


Un bon modèle mécanistique :  
simple, complet.... élégant,  
qui s'impose très rapidement dans les « textbooks ».

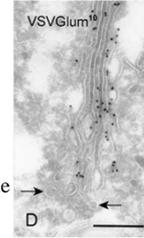
## L'exemple de l'appareil de Golgi



## L'exemple de l'appareil de Golgi



Localisation des enzymes  
de glycosylation :  
aussi dans les vésicules

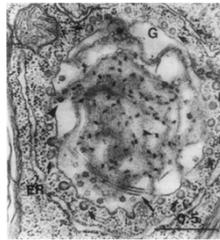


Et pas la protéine  
du VSV...

Martínez-Menárguez 2001

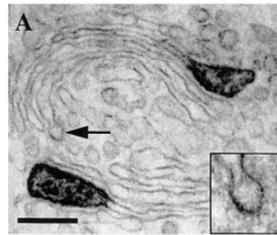
Cargos intransportables

Décoration de surface (algue)



Becker 1995

Amas de protocollagène

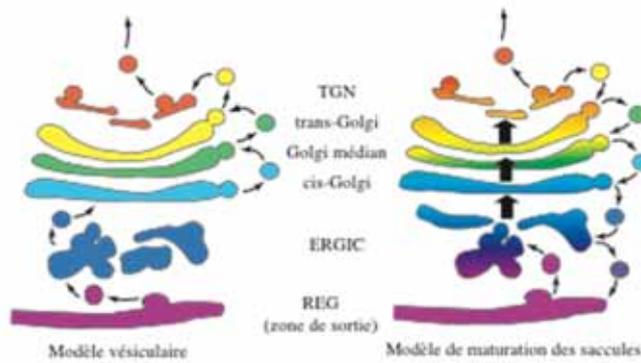


Bonfanti 1998

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

## L'exemple de l'appareil de Golgi



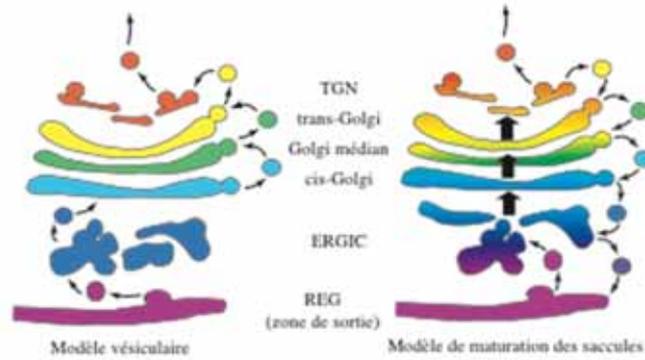
1975 - 2005

2005 - ?

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

## L'exemple de l'appareil de Golgi



1975 - 2005

1957 - ?

Grassé, P.-P. (1957).  
Ultrastructure, polarité et reproduction  
de l'appareil de Golgi. *CRAS (Paris)*  
245: 1278

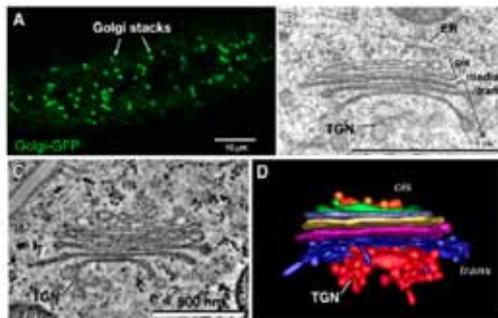
La face opposée, que conventionnellement nous qualifions de proximale, se compose de saccules intacts et nets de contour. Toutefois, les plus proximaux des saccules, sur certaines coupes, sont un peu flous et discontinus. Nous avons l'impression, *mais non la certitude*, que l'extrémité proximale de la pile est le siège d'une formation continue de nouveaux saccules, laquelle compense la destruction des éléments distaux, devenant la substance chromophile.

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

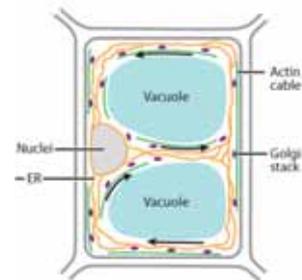
2/07/2013

## L'exemple de l'appareil de Golgi

Est-ce si simple ?...



Staelin 2008



Glick 2009

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

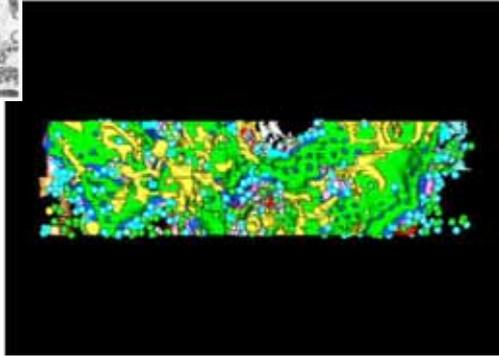
## L'exemple de l'appareil de Golgi

Est-ce si simple ?...

Golgi de mammifère : Ruban golgien



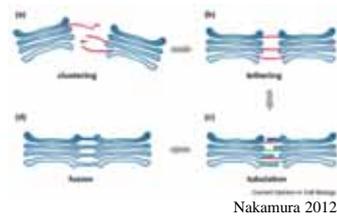
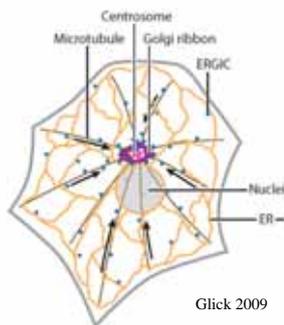
Jackson 2009



## L'exemple de l'appareil de Golgi

Est-ce si simple ?...

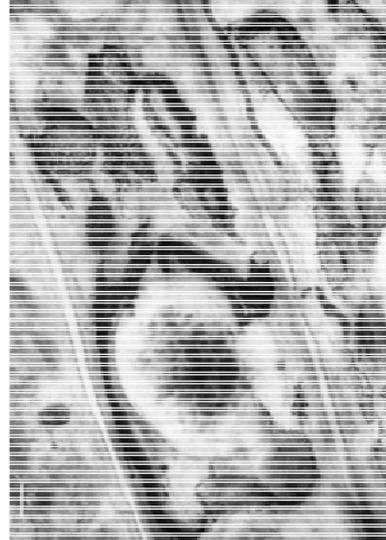
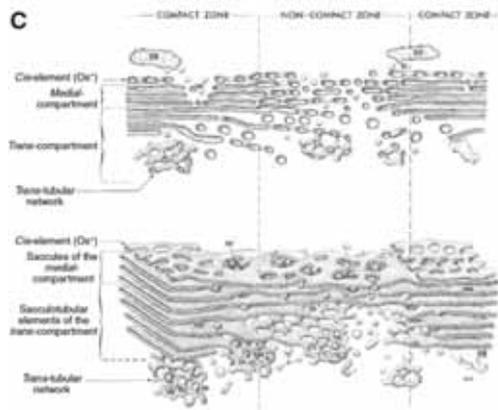
Golgi de mammifère : Ruban golgien



## L'exemple de l'appareil de Golgi

Est-ce si simple ?...

Golgi de mammifère : Ruban golgien



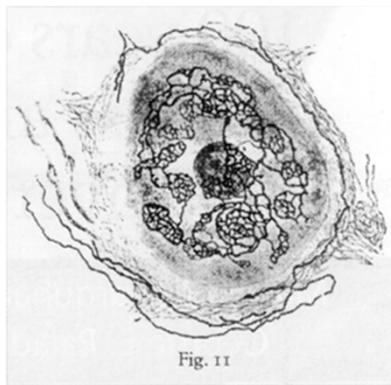
AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

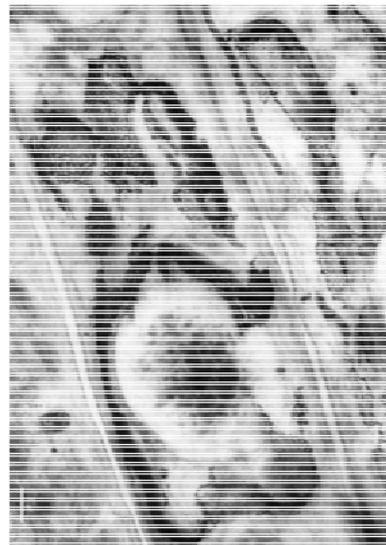
## L'exemple de l'appareil de Golgi

Est-ce si simple ?...

Golgi de mammifère : Ruban golgien



Golgi 1906



Mais comment peuvent progresser les saccules ???

Rambourg 1990

AFPSVT - Modèles et modélisation en SVT

2/07/2013

## L'exemple de l'appareil de Golgi

- Le fonctionnement de l'appareil de Golgi est toujours énigmatique...
  - Qu'est-ce qui pousse l'ensemble de la communauté à accepter un modèle plutôt qu'un autre ? La sociologie de la science est importante...
    - modèle comme outils « étendard » d'un groupe
    - modèle comme pompe à 'phynances !
  - Les structures biologiques se moquent du rasoir d'Ockham.
  - L'activité scientifique est fondamentalement une construction/manipulation de modèles.
    - Le modèle n'est pas le réel, mais c'est le réel scientifique
    - Pas de vérité en science : juste des modèles non récusés
- Tout ce qui précède peut donc être faux...

« Science is the belief in the ignorance of the experts »

Richard Feynman (1966) *in* What is Science.

## Mais... ECE 2012 : un modèle (moléculaire) permet de (dé)MONTRER ?...

Au cours de la réaction inflammatoire, l'acide arachidonique est métabolisé en prostaglandine responsable de l'apparition de certains symptômes inflammatoires. C'est une enzyme, nommée COX, qui catalyse la réaction aboutissant à la synthèse de la prostaglandine. L'acide acétylsalicylique, mieux connu sous le nom d'aspirine, était un des anti-inflammatoires non-stéroïdiens (AINS) les plus utilisés. Cette molécule inhibe l'action de cette enzyme COX en bloquant son site actif. L'apparition d'intolérance à l'aspirine a conduit depuis quelques années le milieu médical à lui préférer un autre AINS, l'ibuprofène.

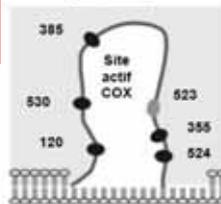
On cherche à montrer que l'ibuprofène a une action équivalente à celle de l'aspirine pour empêcher la transformation de l'acide arachidonique en prostaglandine par l'enzyme COX.

Mettre en œuvre le protocole fourni pour traiter des modèles moléculaires afin de montrer que l'ibuprofène a une action équivalente à celle de l'aspirine pour empêcher la transformation de l'acide arachidonique en prostaglandine par l'enzyme COX.

Exploiter les résultats pour montrer que l'ibuprofène a une action équivalente à celle de l'aspirine pour empêcher la transformation de l'acide arachidonique en prostaglandine par l'enzyme COX.

**SIC !**

### Document :



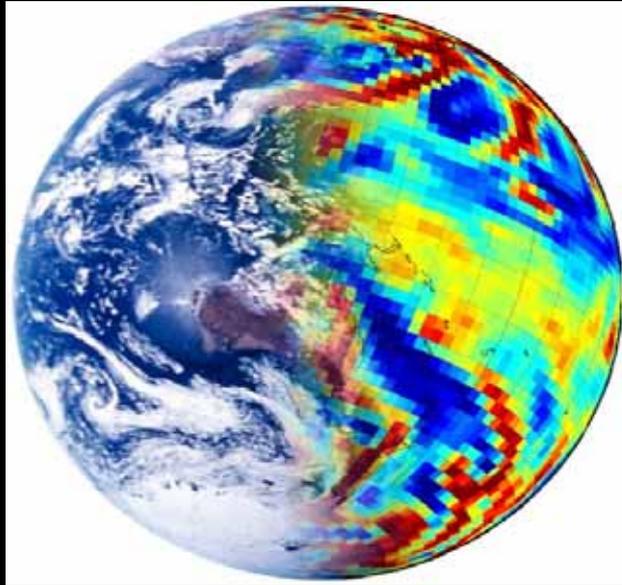
Représentation schématique du site actif de l'enzyme COX et des acides aminés assurant une liaison temporaire avec le substrat spécifique

### Protocole :

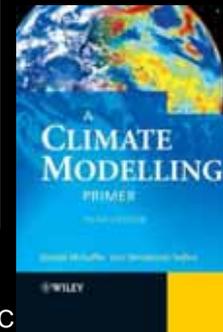
- Traiter les modèles moléculaires afin :
  - d'identifier les molécules de chaque complexe
  - de localiser les acides aminés assurant une liaison temporaire entre l'enzyme et son substrat

Appeler l'examineur pour vérification

## Avantages et limites de la modélisation climatique



LE HIR Guillaume, Université Paris 7 - IPGP



AFPSVT, 2 Juillet 2013

Sources : Chap. 8 de l'IPCC

## Avantages et limites de la modélisation climatique

Question de société : les conséquences d'une guerre nucléaire ?



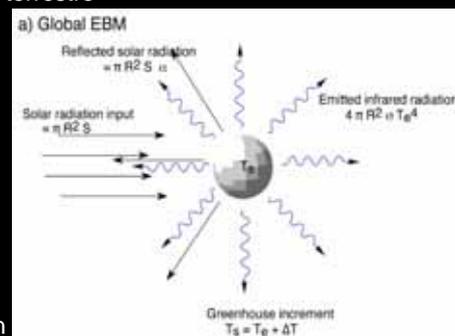
Mikhail BUDYKO, fit de la climatologie une science non plus qualitative mais **quantitative**.  
Méthode de calcul du bilan thermique de la surface terrestre

À l'équilibre radiatif

Puissance perdue = Puissance reçue

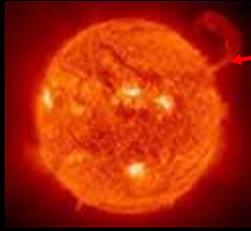
$$\sigma T_e^4 = \frac{S}{4}(1 - A)$$

Prise en compte des processus de surface  
sans dynamique et physique de l'atmosphère et océan



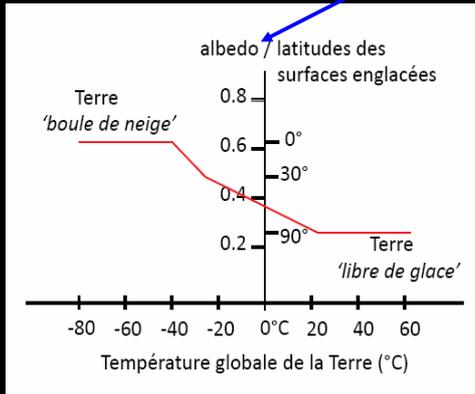
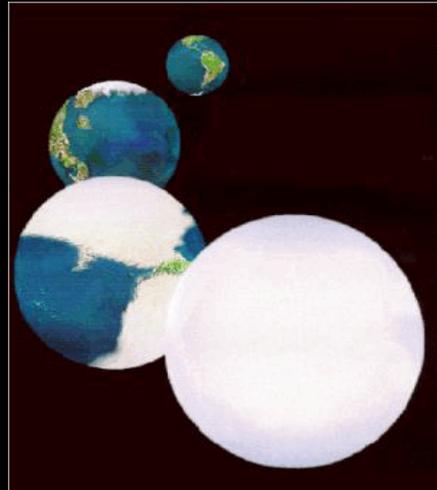
## Avantages et limites de la modélisation climatique

Calcul de la température Terrestre par un EBM (Energy Balance Model)



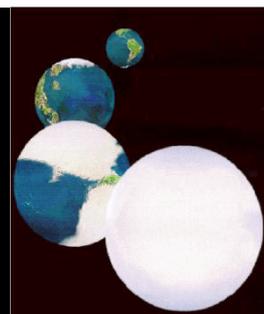
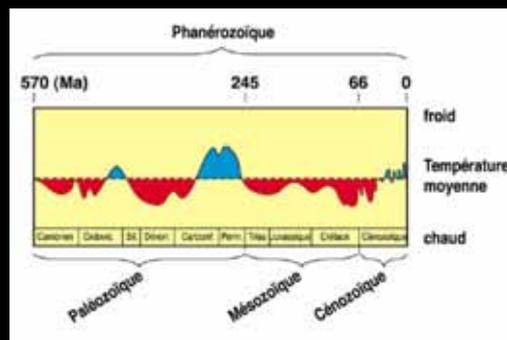
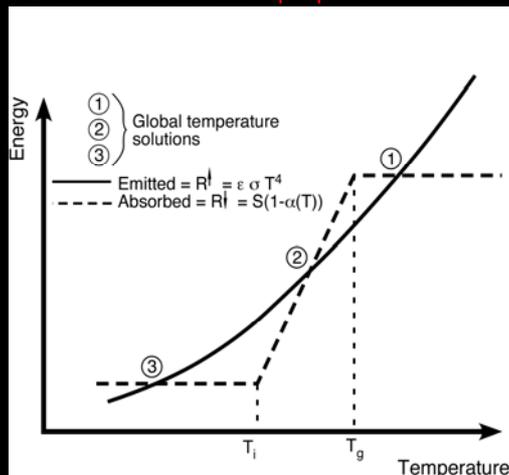
$$\sigma T_e^4 = \frac{S}{4}(1 - A)$$

RESULTATS



## Stabilité et Instabilités du climat à l'échelle des temps géologiques

La modélisation climatique prédit 3 états stables du climat



À l'échelle de la centaine de millions d'années le climat oscille  
 80% du temps, la Terre connaît des périodes chaudes  
 20% du temps, la Terre connaît des périodes froides  
 <1% du temps, la Terre connaît des périodes extrêmement froides

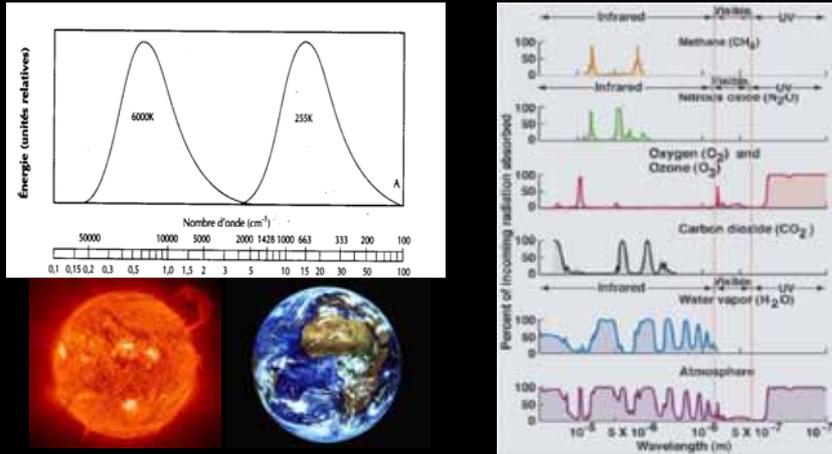
## Avantages et limites de la modélisation climatique

Question de société : les conséquences de l'augmentation de la pCO<sub>2</sub> ?

We have examined the principal attempts to simulate the effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on climate. In doing so, we have limited our considerations to the direct climatic effects of steadily rising atmospheric concentrations of CO<sub>2</sub> and have assumed a rate of CO<sub>2</sub> increase that would lead to a doubling of airborne concentrations by some time in the first half of the twenty-first century. As indicated in Chapter 2 of this report, such a rate is consistent

Charney Report (1979)

Comment quantifier l'effet d'un doublement de CO<sub>2</sub> ou comment modéliser l'effet de serre ?

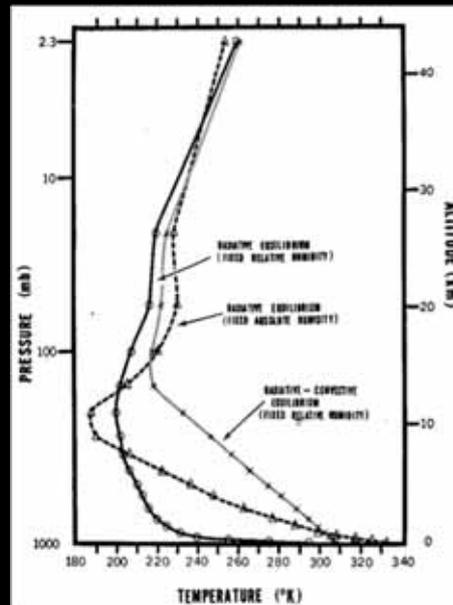
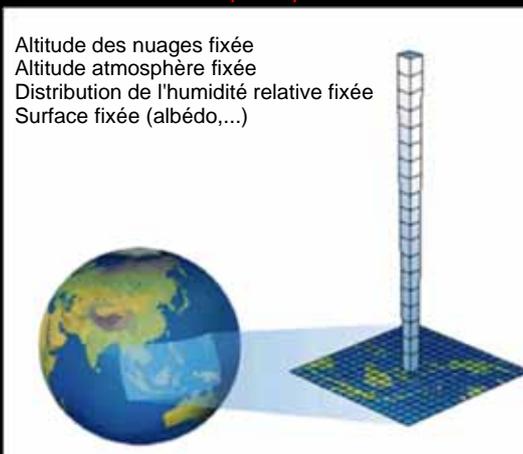


## Avantages et limites de la modélisation climatique

La prise en compte de la physique de l'atmosphère

Outil : modèle atmosphérique 1D

- Altitude des nuages fixée
- Altitude atmosphère fixée
- Distribution de l'humidité relative fixée
- Surface fixée (albédo,...)



Manabe and Wetherald, 1967

## Avantages et limites de la modélisation climatique

Quantification de l'effet du doublement de CO<sub>2</sub> par un modèle atmosphérique 1D :

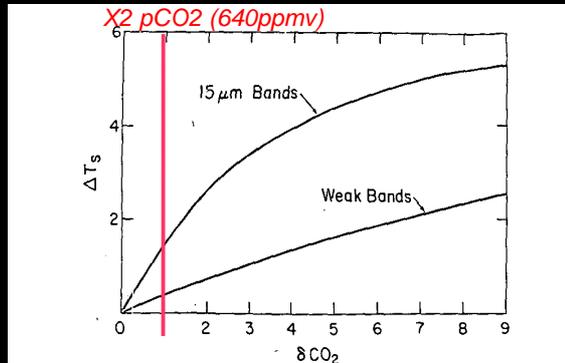


FIG. 1. Individual contribution to the increase in surface temperature by the  $15\ \mu\text{m}$  bands and the weak bands. The results are for the constant cloud top altitude model.  $\delta\text{CO}_2 = [\text{CO}_2(\text{perturbed}) - \text{CO}_2(\text{ambient})] / \text{CO}_2(\text{ambient})$ .  $\text{CO}_2(\text{ambient}) = 320\ \text{ppm}$  (by volume);  $T_s$  = surface temperature. The number of bands and their band centers included in the category of weak bands is given in the text.

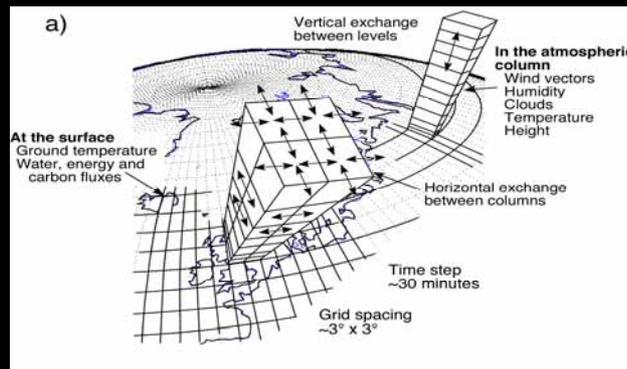
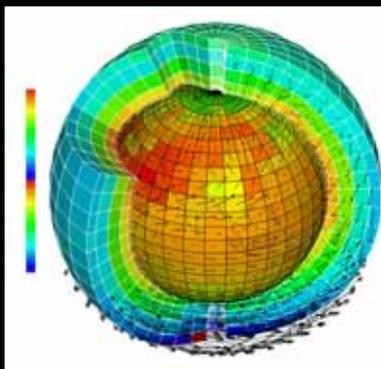
Augustsson et Ramanathan, 1977

Résultats = +2°C

(incertitude : +3°C, selon la rétroaction avec la vapeur d'eau)

## Avantages et limites de la modélisation climatique

Vers une augmentation du pouvoir prédictif (spatial et temporel)



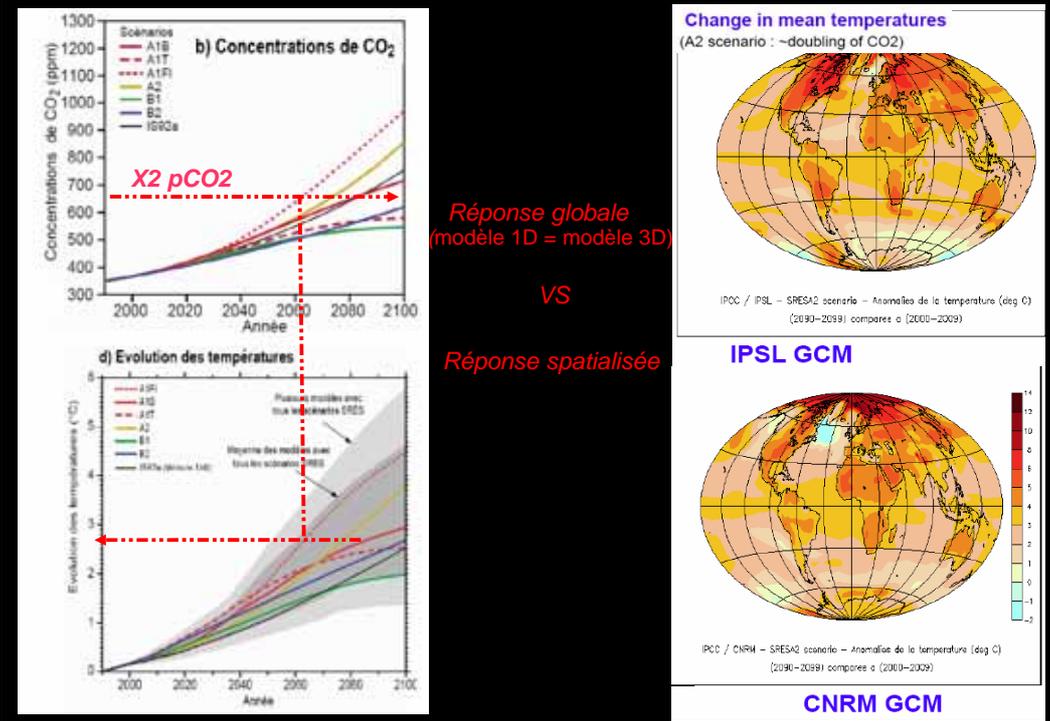
Mécanique des fluides

- Equilibre hydrostatique
- Sphère tournante
- Épaisseur de l'atmosphère et de l'océan très petite devant le rayon de la planète
- Equation de Navier-Stokes

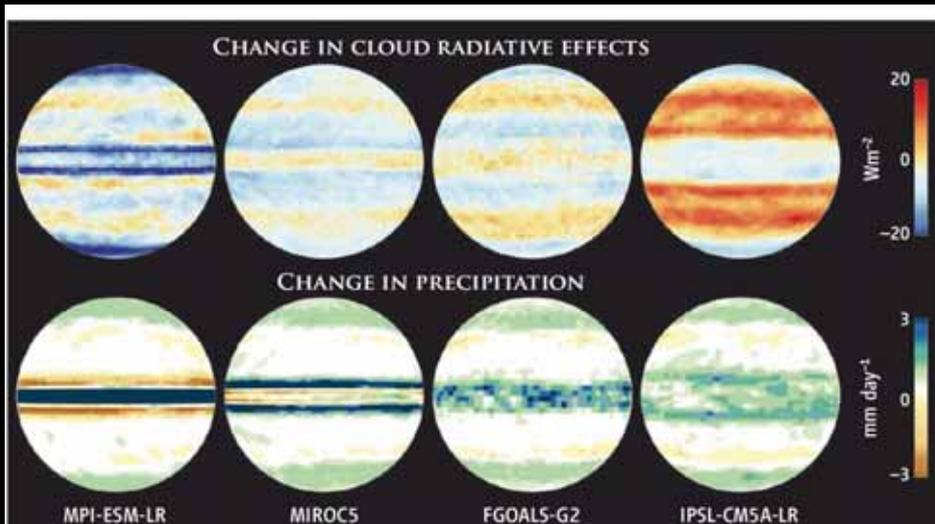
Thermodynamique

- atmosphère:
  - Évaporation-condensation de l'eau
  - Gaz parfait
- océan: densité fonction de la température et de la pression

## Avantages et limites de la modélisation climatique



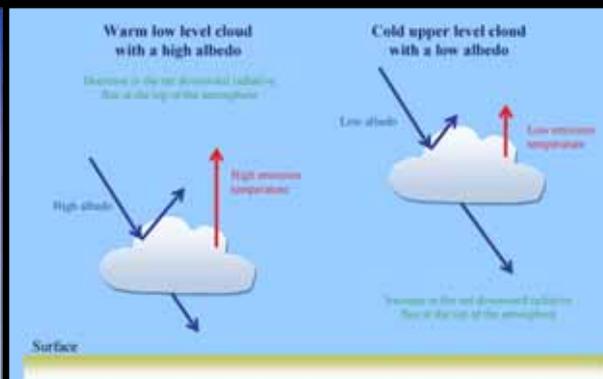
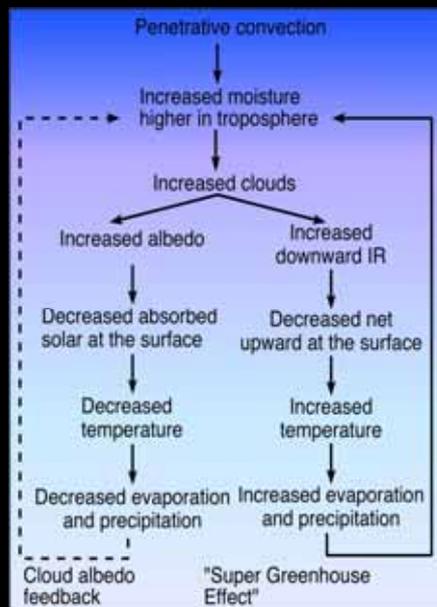
## Avantages et limites de la modélisation climatique



**Wide variation.** The response patterns of clouds and precipitation to warming vary dramatically depending on the climate model, even in the simplest model configuration. Shown are changes in the radiative effects of clouds and in precipitation accompanying a uniform warming (4°C) predicted by four models from Phase 5 of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) for a water planet with prescribed surface temperatures.

Stevens and Bony, 2013

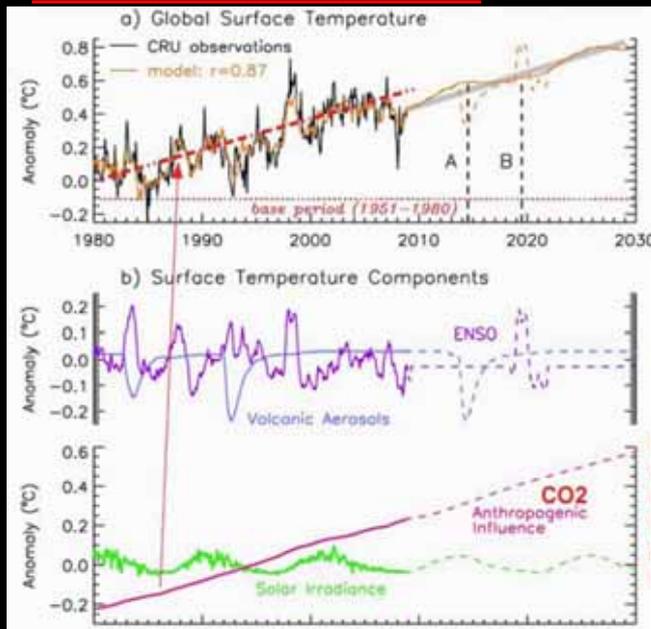
## Avantages et limites de la modélisation climatique



- réponse régionale hautement variable
- la rétro-action des nuages/convection constitue une source d'incertitude dans la prédiction des modèles de climat.

## Avantages et limites de la modélisation climatique

### Peut-on croire aux modèles de climat ?



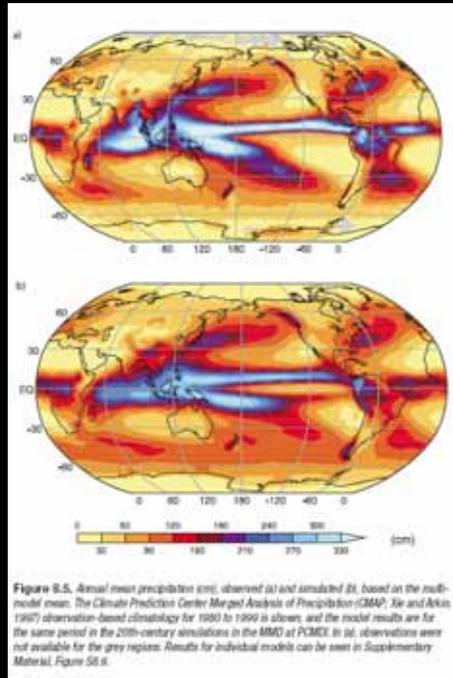
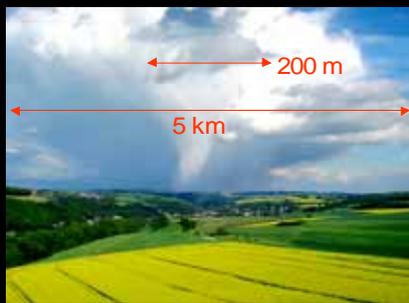
- sur la base des simulations du climat présent (et des climats passés), les modèles arrivent à simuler les principaux aspects du climat (voir ci-contre)

**TOUTEFOIS les modèles ne représentent pas une réalité !!!**

## Avantages et limites de la modélisation climatique

Si en globale la réponse climatique semble correcte (les modèles 1D/3D donnent une réponse cohérente), suggérant que les processus physiques de premier ordre sont bien représentés, dans le détail il y a de grandes variabilités.

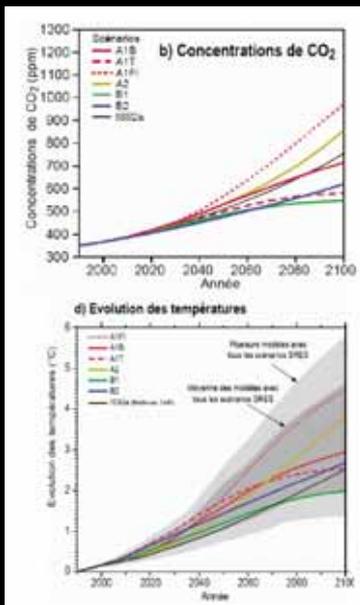
- Ces variabilités sont dues :
- rétro-actions et instabilités  
→ ex : ice-albedo feedback
  - processus sous grilles (nuages)  
ou aux processus physiques encore mal connus ou difficiles à représenter



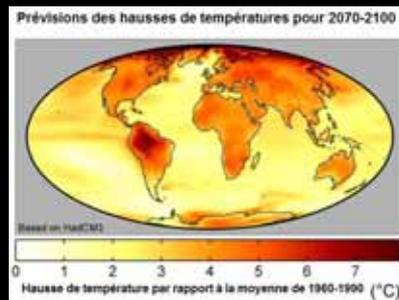
## Avantages et limites de la modélisation climatique

**L'étude des processus climatiques est le véritable intérêt de la modélisation climatique**

Ex : effet du CO2



Ex : effets des rétroactions (instabilités)

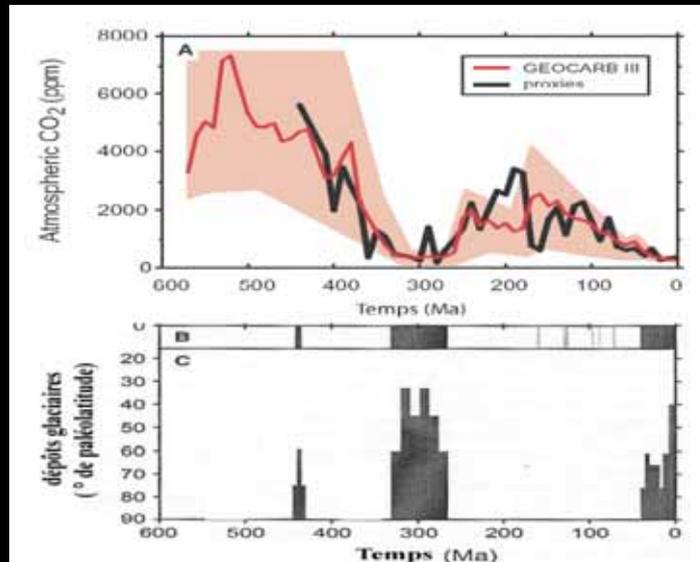


Ex : climat théorique des exoplanètes



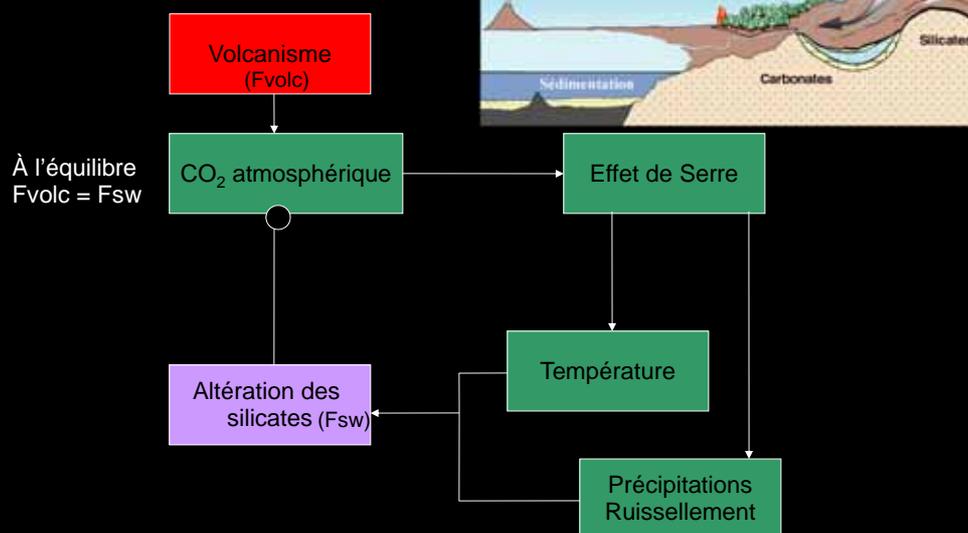
## Avantages et limites de la modélisation climatique

Vers une meilleure compréhension des processus qui régulent le climat à l'échelle de la centaine de millions d'années.



## Avantages et limites de la modélisation climatique

Rétroaction négative  
climat-carbone  
(Walker et al. 1981)



## Avantages et limites de la modélisation climatique

Exemple d'approche à l'équilibre: Modèle **GEOCARB** (Berner, 1991)

$$F_{vol} = F_{sw}$$

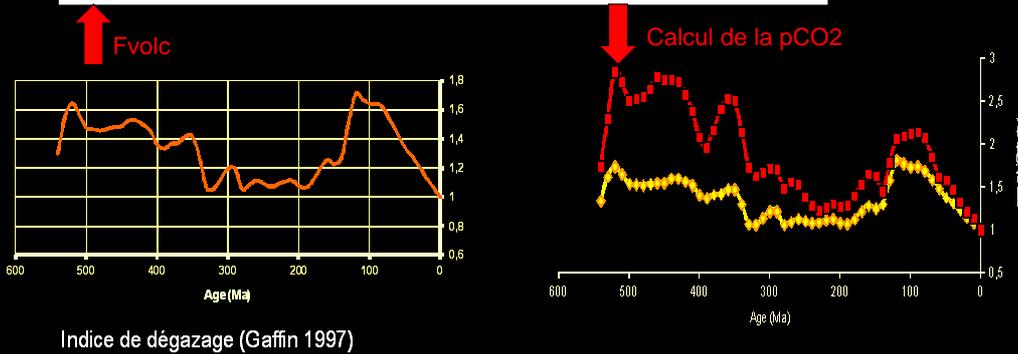
$$F_{vol} = k \text{ Runoff } pCO_2^{0.3} \exp[(T-288.15)/17.7]$$

Où  $T = 288.15 + 6.5 \ln(pCO_2)$

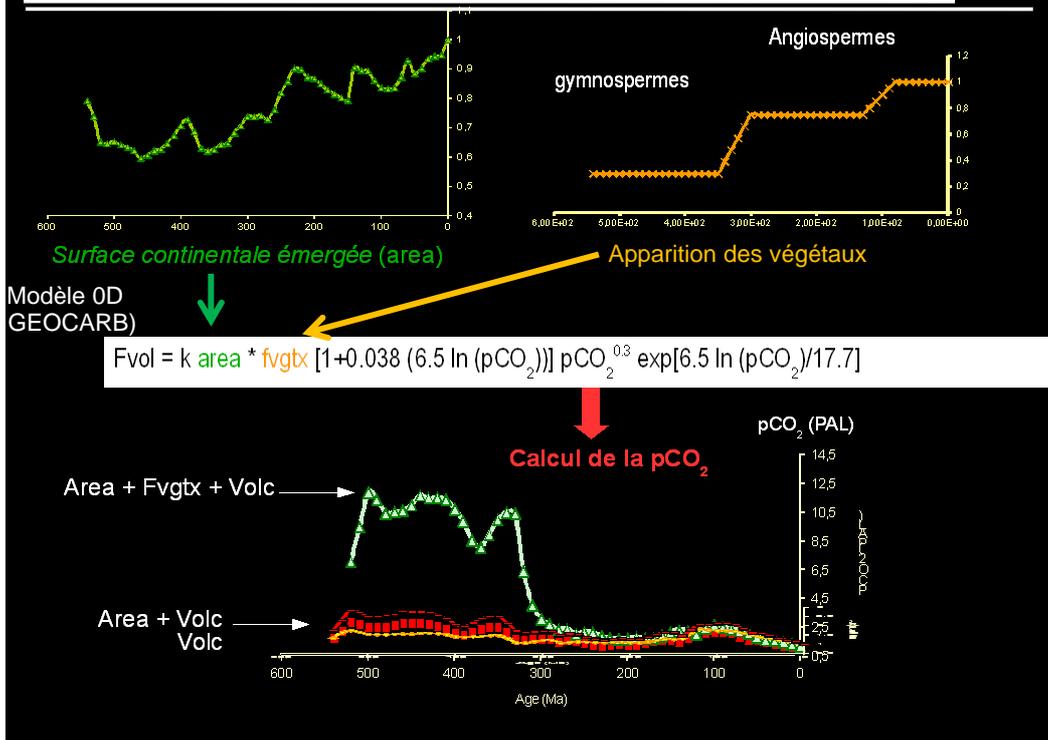
$$\text{Runoff} = [1 + 0.038 (T-288.15)]$$

↓

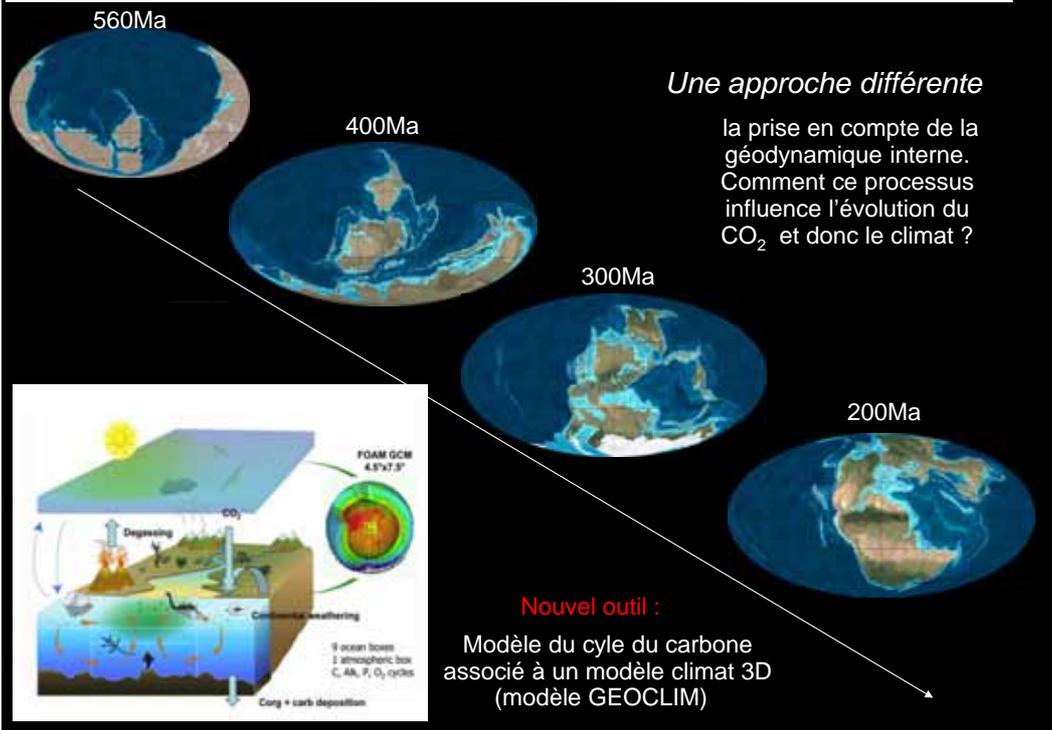
$$F_{vol} = k [1 + 0.038 (6.5 \ln(pCO_2))] pCO_2^{0.3} \exp[6.5 \ln(pCO_2)/17.7]$$



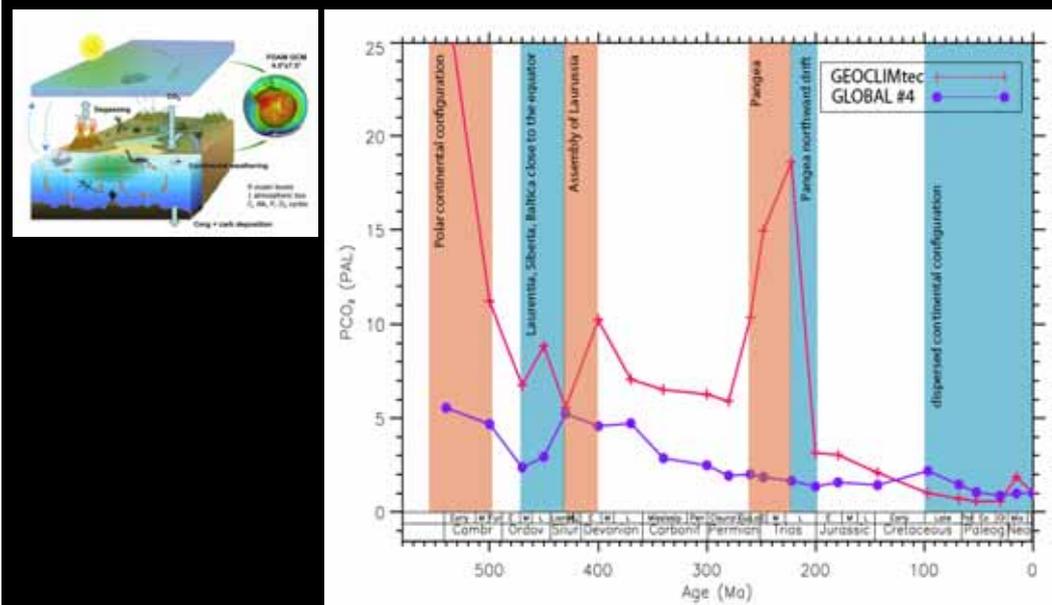
## Avantages et limites de la modélisation climatique



## Avantages et limites de la modélisation climatique

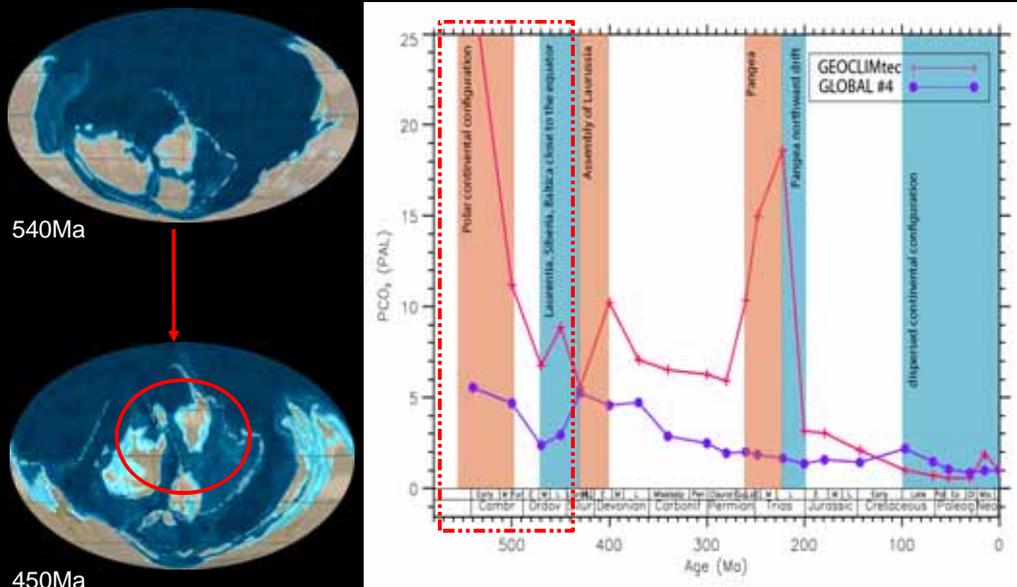


## Avantages et limites de la modélisation climatique



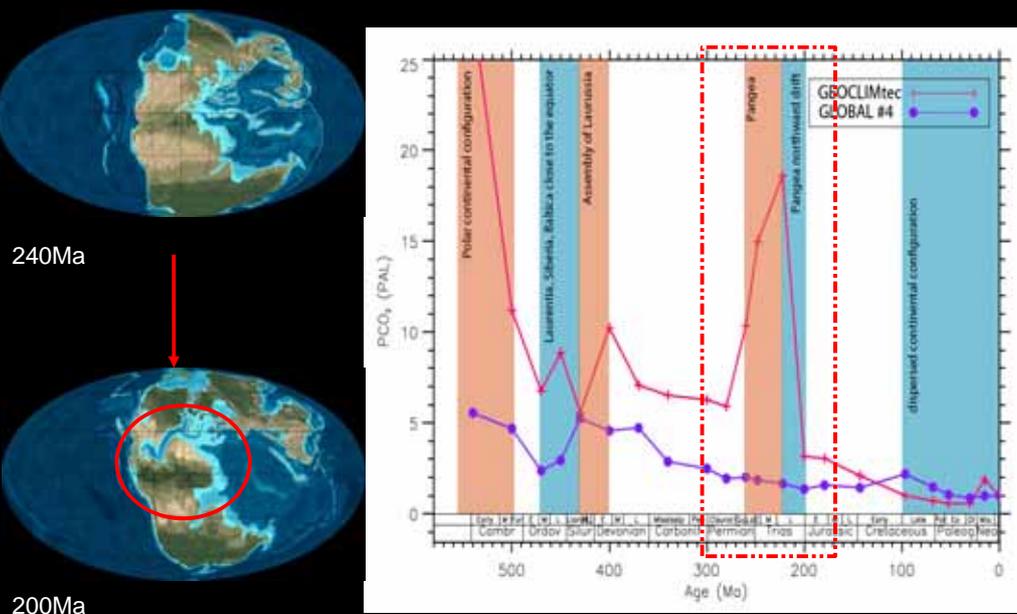
**La tectonique (paléogéographie) est le principal facteur qui contrôle le climat à long-terme**

## Avantages et limites de la modélisation climatique

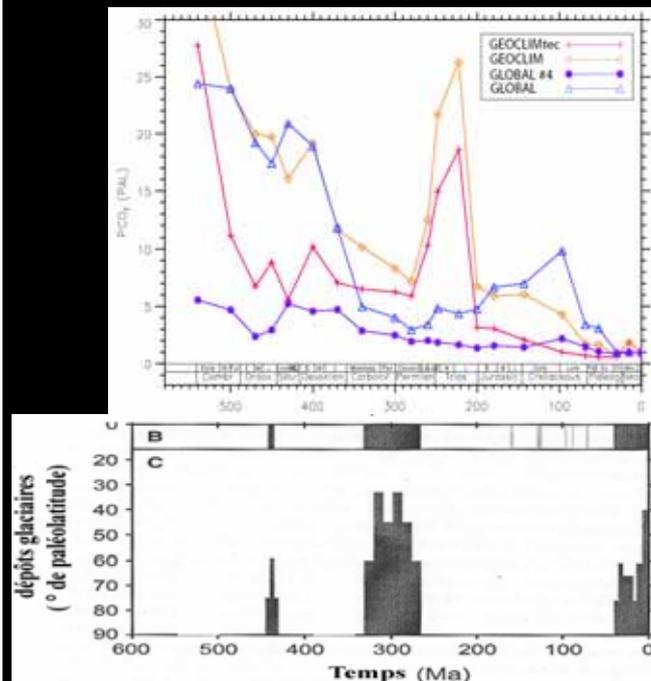


Les changements de géographie modifie l'altérabilité des continents  
 (ex : à 540Ma, la position polaire des continents ne favorise pas l'altération. Cela induit une pCO<sub>2</sub> élevée, condition nécessaire pour que la consommation de CO<sub>2</sub> par l'altération compense le CO<sub>2</sub> dégazé)

## Avantages et limites de la modélisation climatique



## Avantages et limites de la modélisation climatique



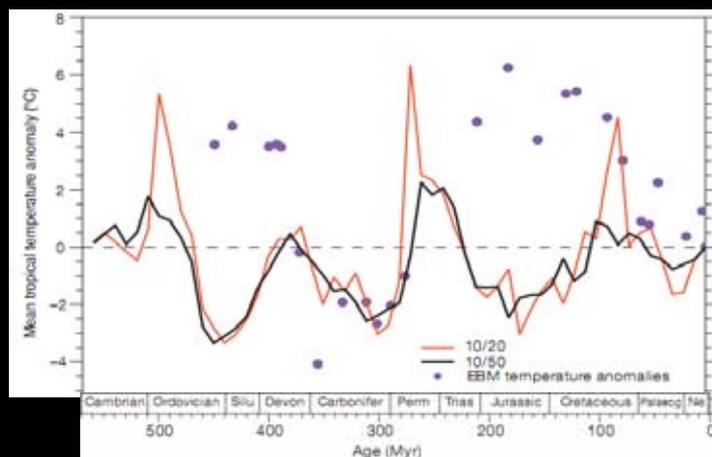
1- GEOCARB (modèle 0D) et GEOCLIM (modèle 3D) donnent des réponses assez similaires mais pour des raisons très différentes.

2- GEOCLIM suggère que la pCO<sub>2</sub> est contrôlée, au premier ordre, par l'évolution de la géographie.

3 – en quantifiant l'effet de la tectonique, il est possible d'expliquer les transitions climatiques (cf. les 3 états stables du climats).

## Avantages et limites de la modélisation climatique

### Inconsistances Modèle/Données ?



Veizer, Goddérès, François, 2000

OBS : la pCO<sub>2</sub> modélisée ne correspond pas toujours aux températures reconstruites (proxies)

Hypothèses : la modélisation du cycle carbone – climat est incomplète  
L'effet radiatif du CO<sub>2</sub> varie selon les périodes (rétroactions?)

# Modèles et modélisation en biologie et géologie

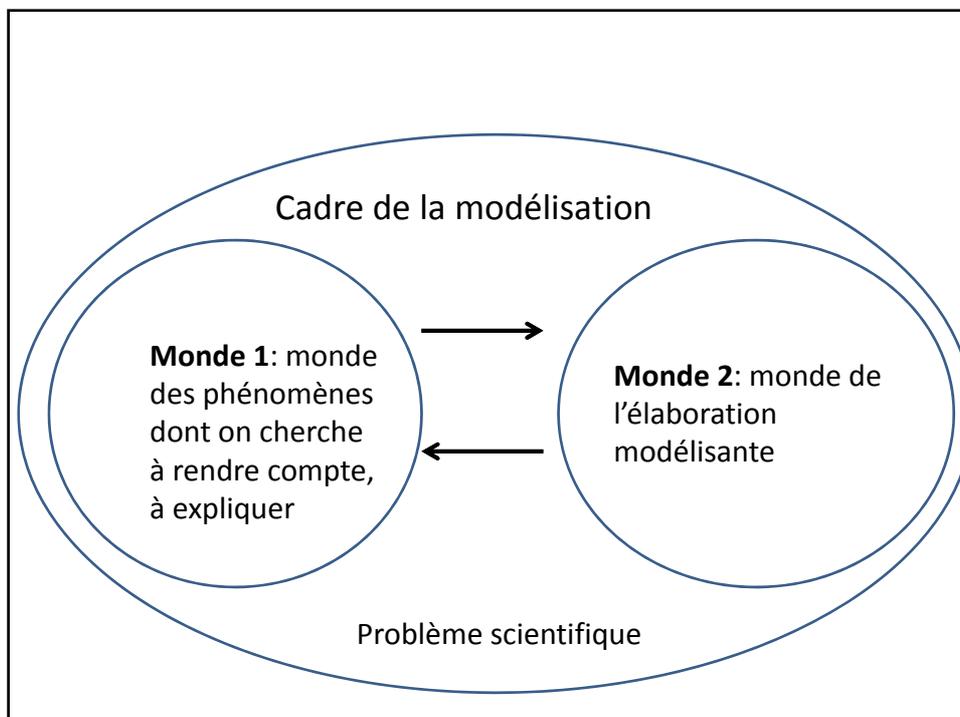
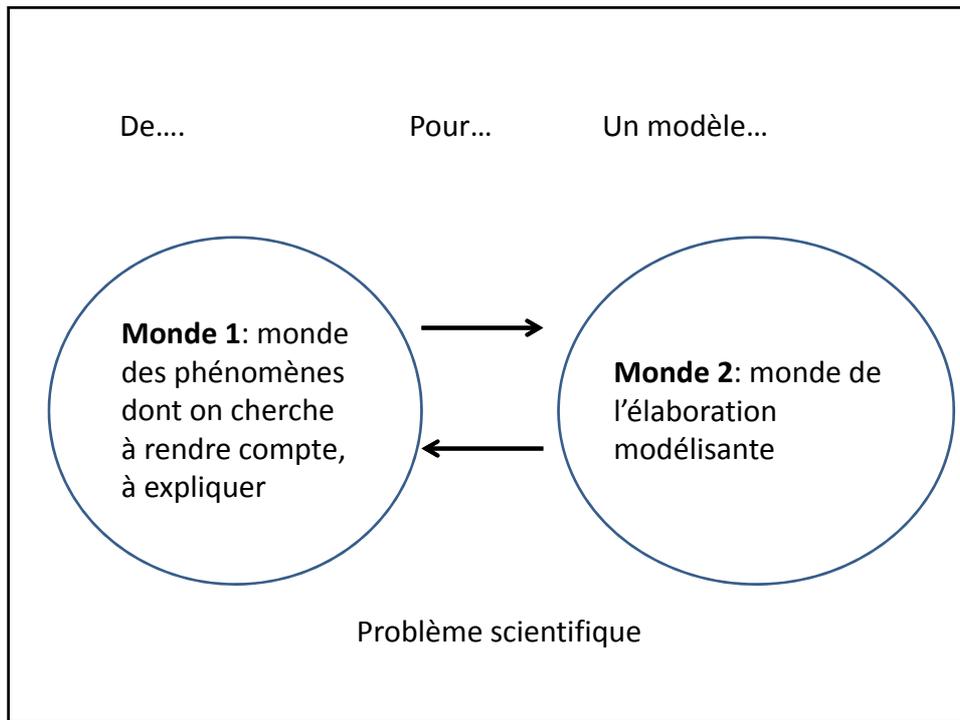
Quelques points de  
discussion didactique à partir  
des présentations de la  
journée



Christian Orange  
ULB Chaire de didactique comparée

AFPSVT 2 juillet 2013

Un modèle ... de  
pour ...



## Garder la distance

### Quelques termes et expressions à interroger:

Substitut

Réducteur

Représentation partielle

Juste (vrai) ou faux

Hypothétique

## Garder la distance

- Ouverture maintenue par le problème (sinon est-ce encore de la modélisation?)

Mais

- Factualisation et boîtes noires nécessaires

(il s'agit bien d'un processus)

## Ouvertures didactiques

- Modélisation plutôt que modèle= maintenir ouvert le problème
- Maintenir le problème ouvert .... Et ouvrir de nouveaux problèmes (fonction heuristique)
- Problèmes et factualisation (les boites noires)