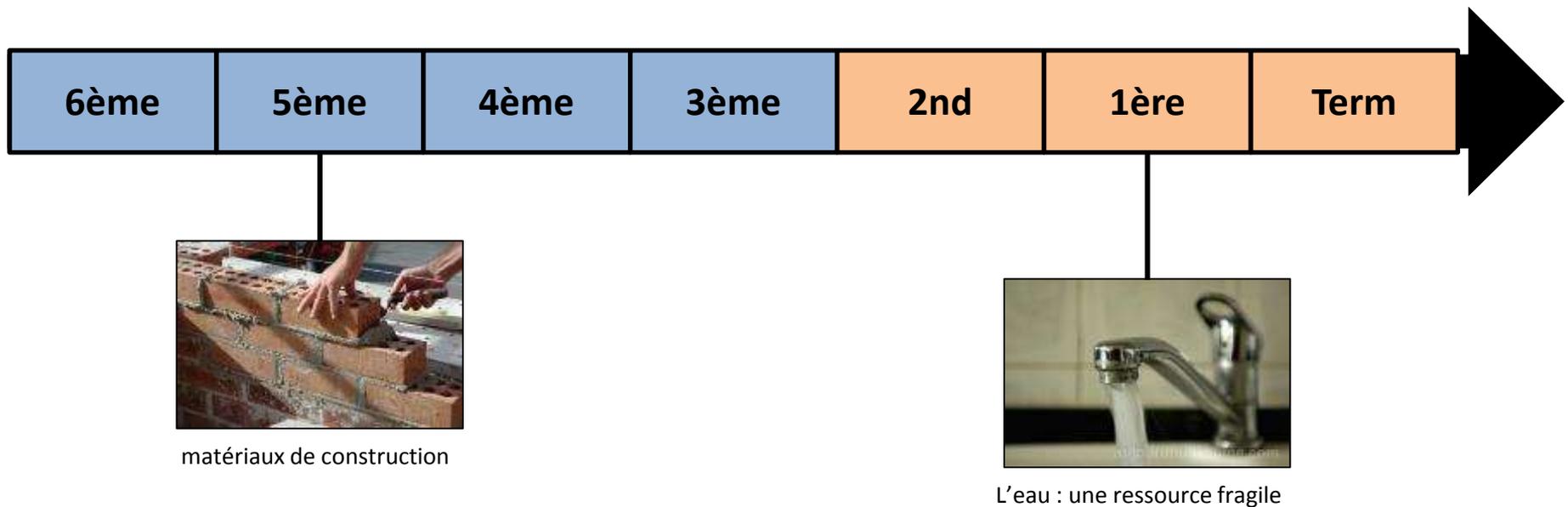


## COLLOQUE AFPSVT 13/11/2012

### "Les ressources géologiques, nouvelles visions pour l'enseignement"

Les ressources géologiques dans les **anciens** programmes du secondaire :



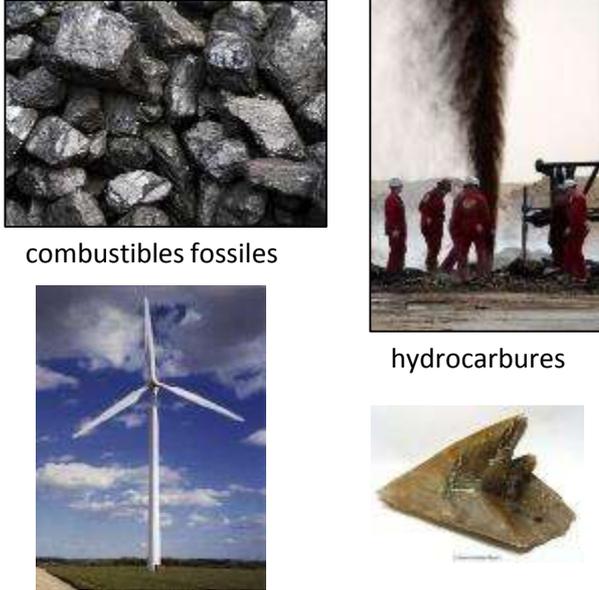
**COLLOQUE AFPSVT 13/11/2012**  
**"Les ressources géologiques, nouvelles visions pour l'enseignement"**

Les ressources géologiques dans les **nouveaux** programmes du secondaire :

« Enjeux planétaires contemporains »




matériaux de construction



combustibles fossiles

hydrocarbures

autres énergies « solaires »

ressource locale

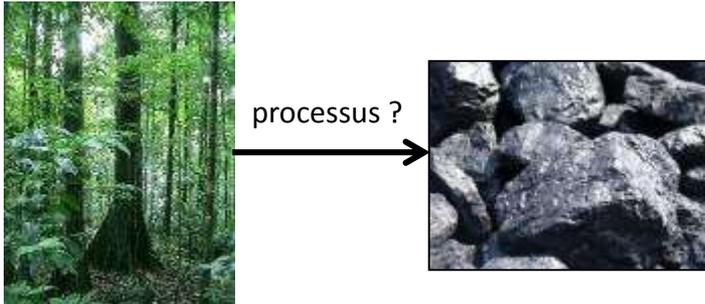


géothermie

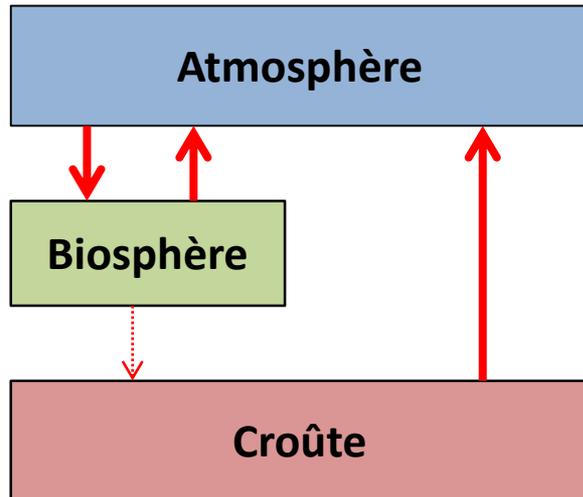
10h15 Anne-Sylvie ANDRÉ-MAYER :  
*"Ressources géologiques et enjeux sociétaux"*

## Seconde

Origine des combustibles fossiles :



Impacts de l'utilisation des combustibles fossiles sur le cycle du C :



11h François BAUDIN :

*"De la biomasse aux combustibles fossiles :  
une longue histoire"*

14h Raymond MICHELS :

*"Les ressources pétrolières non conventionnelles :  
nature et enjeux"*

14h45 Isabelle Martinez :

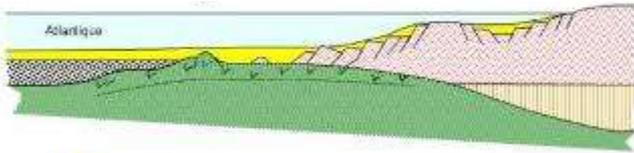
*"La séquestration géologique du CO2 anthropique"*

16h Denise ORANGE-RAVACHOL et Christian Orange :

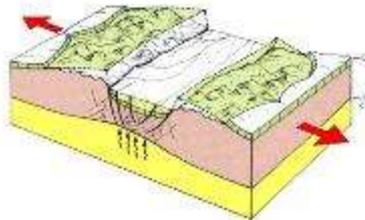
*"Les ressources géologiques, une difficile affaire de  
temps, d'espace et d'Homme"*

## Première S

Tectonique des plaques et recherche d'hydrocarbures



Tectonique des plaques et ressource locale



## Cinquième

Ressources et modification des paysages



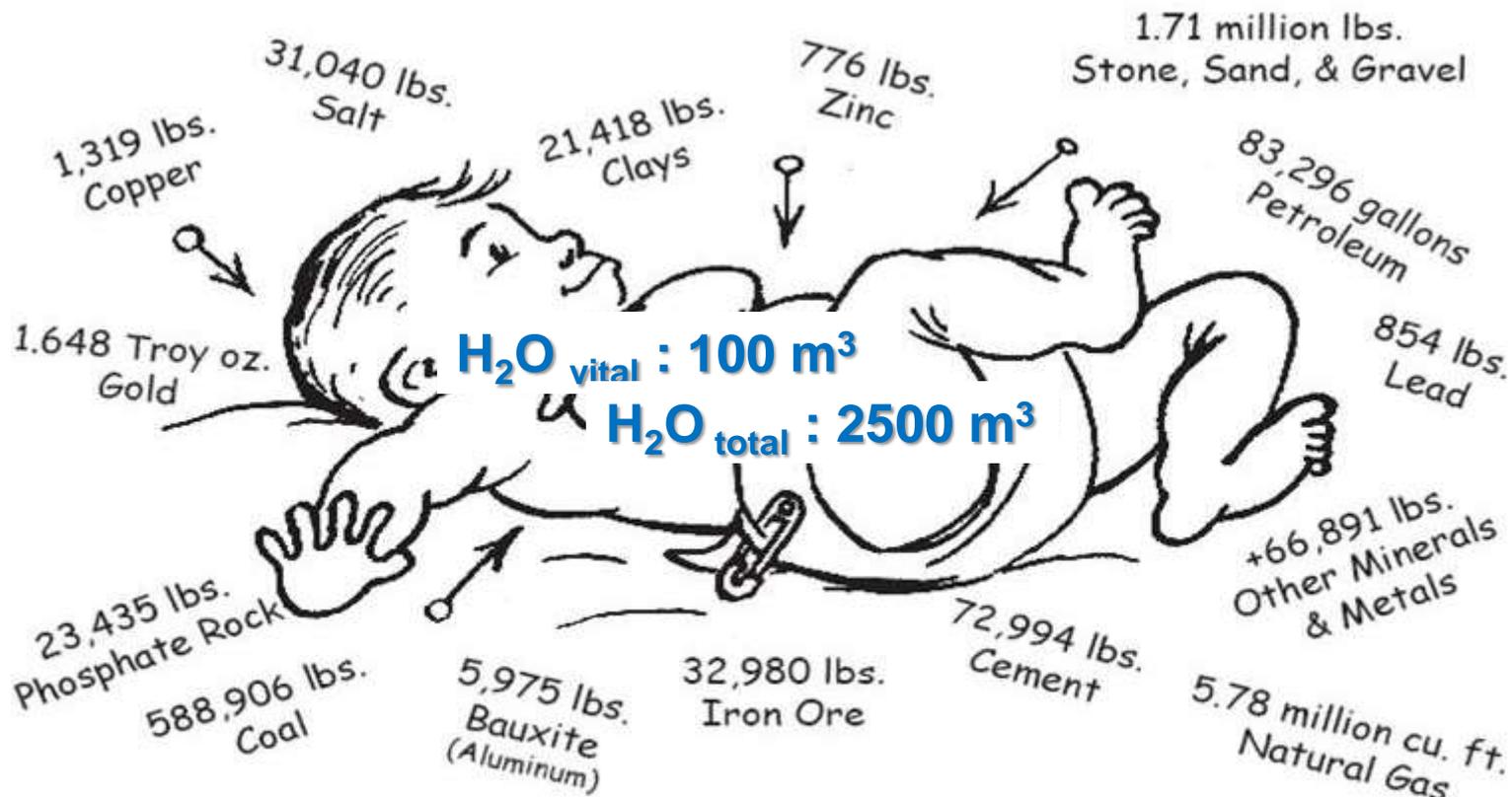
11h45 : Laurie BARRIER & Olivier BROUCKE :  
*"Tectonique des plaques et recherche d'hydrocarbures :  
l'exemple des marges passives"*

16h45 : Samuel PÉRON :  
*"Sorties de terrain sur le thème des  
ressources géologiques"*

# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux



13 Novembre 2012 - IUFM Paris



3.7 million pounds of minerals, metals, and fuels in their lifetime

© 2006, Mineral Information Institute



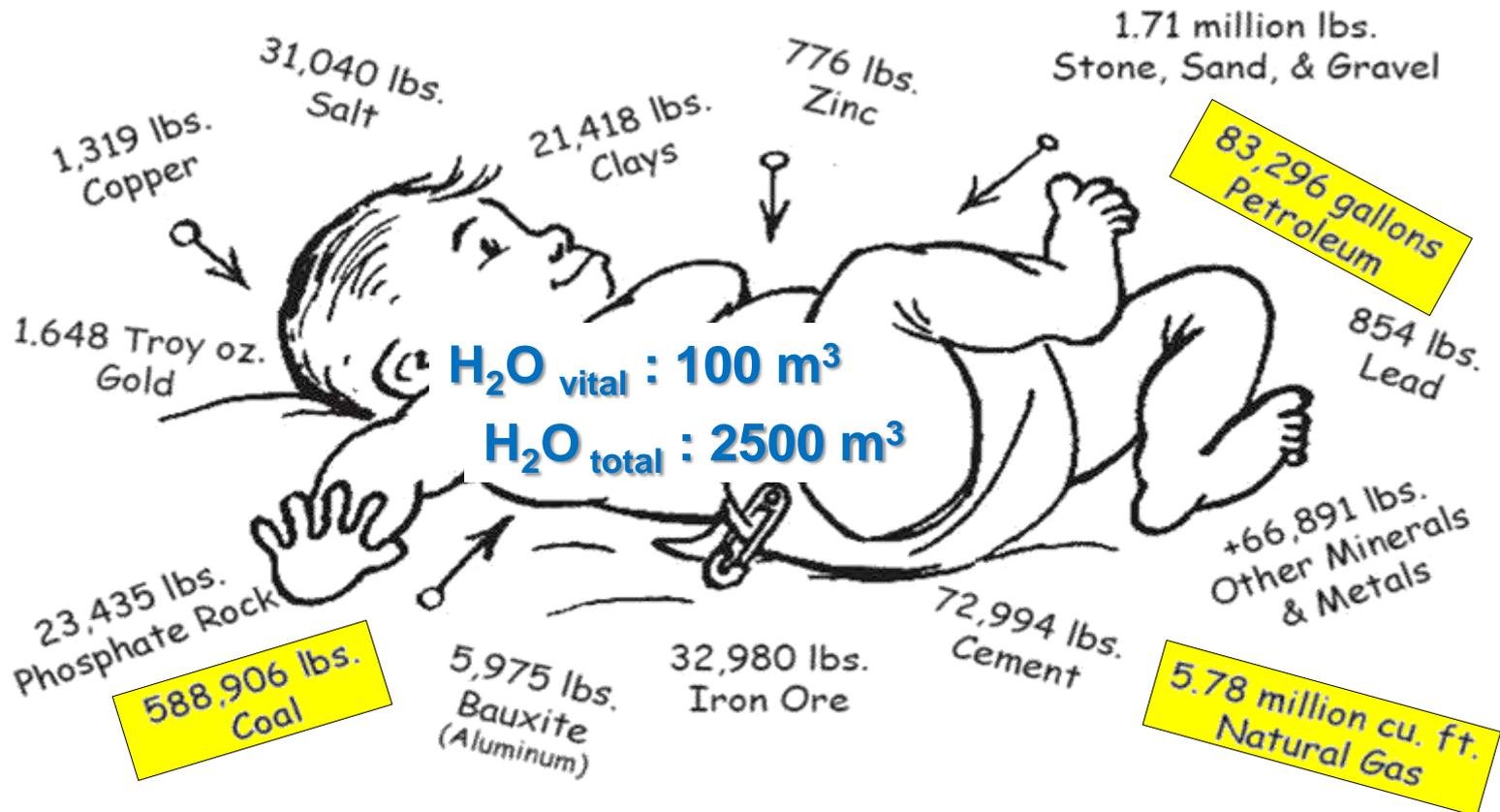
A.S. André-Mayer  
Professeur  
anne-sylvie.andre@univ-lorraine.fr



# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux

- Qu'est ce qu'une Ressource ?
- Les modalités de sa formation en milieu géologique,
- Les modalités de son prélèvement dans le milieu géologique, i.e. l'exploitation et son traitement pour utilisation,
- Son utilisation par le milieu industriel (donc son utilité sociétale) et discuter de sa disponibilité ou rareté dans le milieu naturel,
- Son recyclage potentiel avec l'essor de la mine urbaine pour pallier aux difficultés d'approvisionnement de certaines ressources,
- Les enjeux économiques et géopolitiques sous-jacents,

# Qu'est ce qu'une RESSOURCE ?

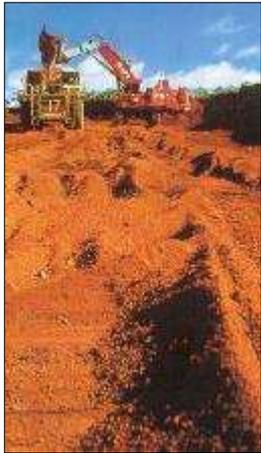


**3.7 million pounds of minerals, metals, and fuels in their lifetime**

© 2008, Mineral Information Institute

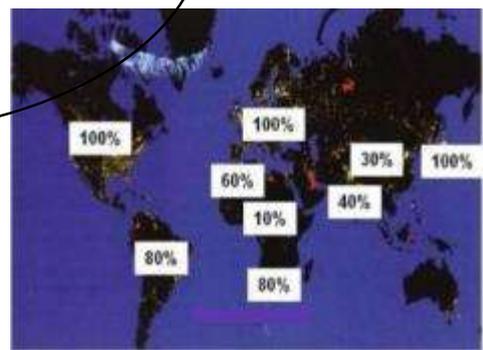
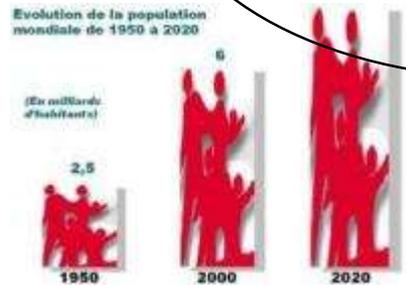
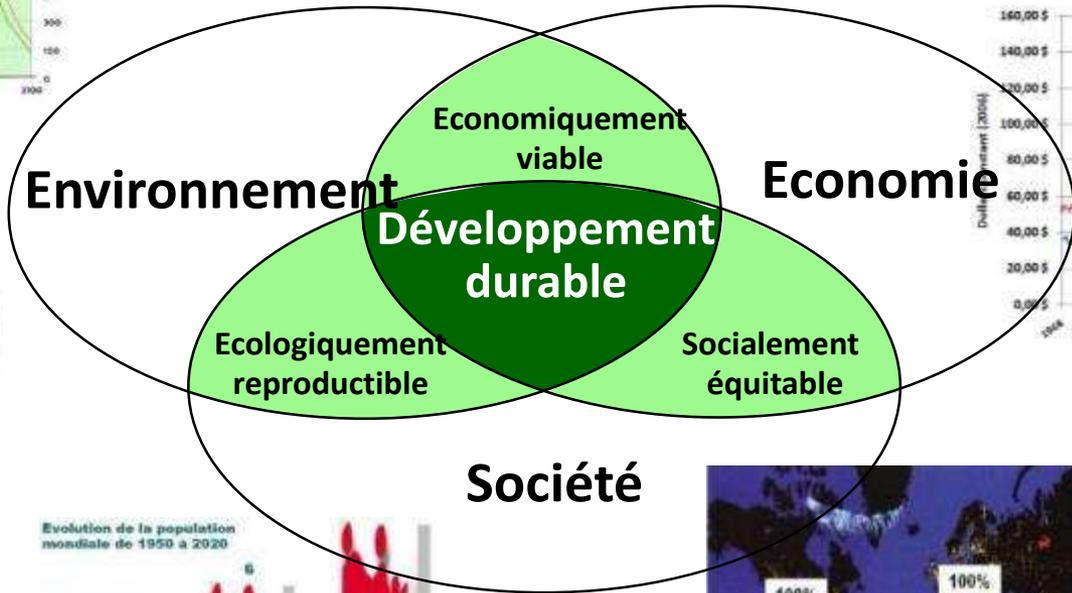
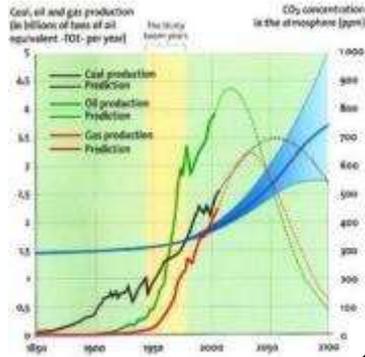
**...une réponse à un BESOIN.**

Ensemble des potentialités qu'offre le milieu minéral (eau, sels minéraux, ...) et organique (faune, flore,...)



# Trouver des métaux, fournir de l'énergie, un problème sociétal

## "De TOUT, pour TOUT le MONDE, et pour TOUJOURS"



Rapport Bruntland (1987) : "un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs".

# Réchauffement climatique et développement durable Quelle(s) éthique(s) pour une éducation au développement durable citoyenne

Global Warming:  
It's the SUN, Stupid!



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

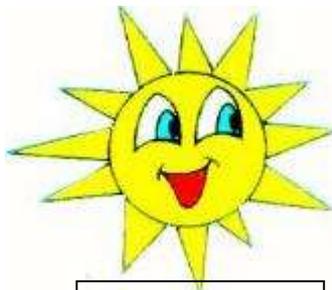


**Benoît URGELLI**

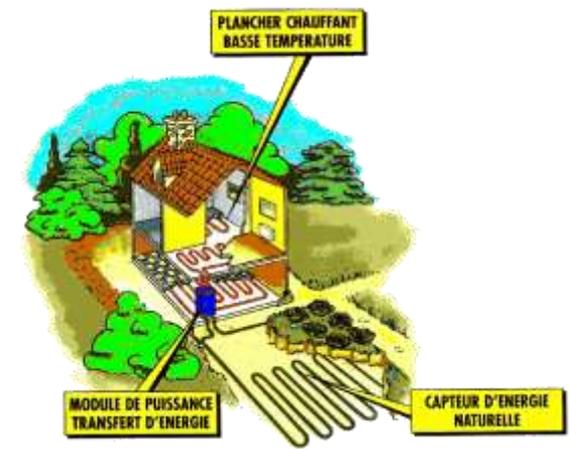
École normale supérieure – École nationale de la formation agronomique  
Chercheur associé au programme ANR *Éducation au développement durable* (2009-2013)



**EAU**



**SOLEIL**



**GEOOTHERMIE**

**MATERIAU**



**SOLS**

# LES RESSOURCES EN GEOLOGIE

**VENT**



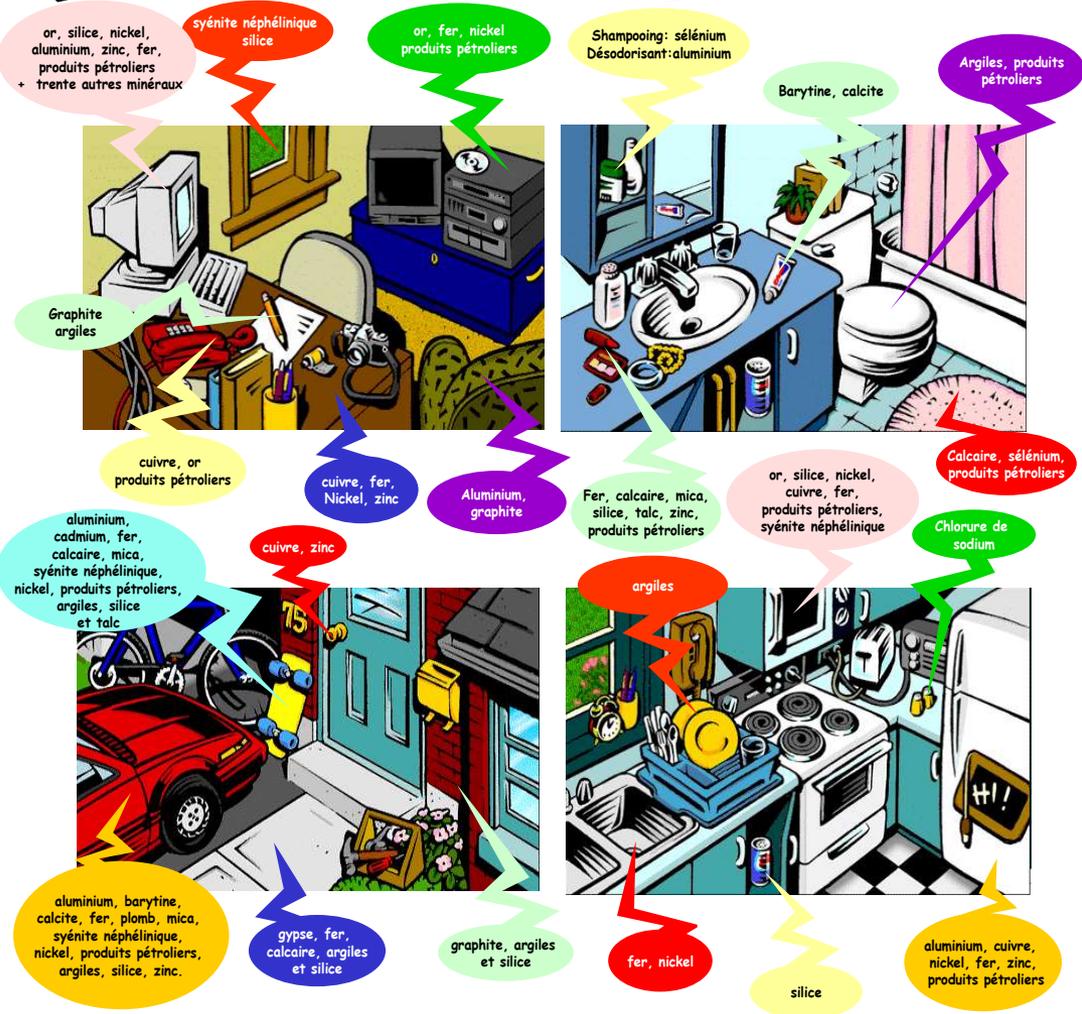
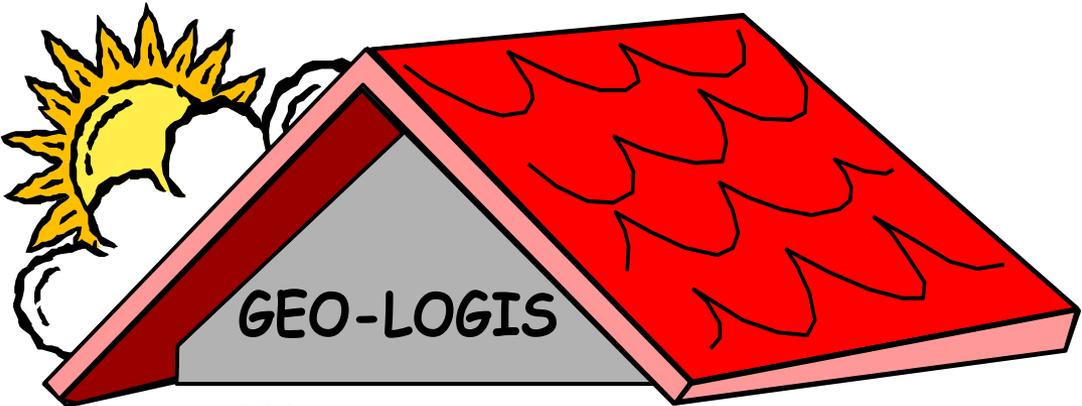
**MINERAI**



# MATERIAU

Les matériaux géologiques entrant dans la construction d'une maison...

CIMENT,  
BETON,  
BRIQUE,  
PLATRE,  
ARDOISE



# MINERAI

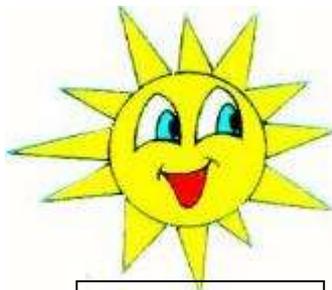
**Minerai** = anomalie de concentration d'éléments habituellement dispersés dans les enveloppes terrestres de subsurface.

**Minerai** = tout solide, liquide ou gaz naturel à valeur économique

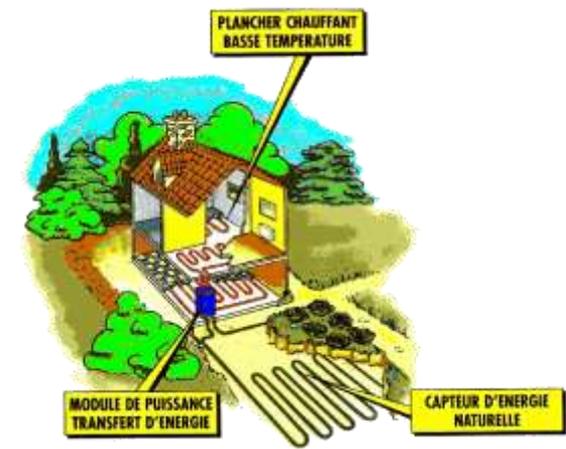




**EAU**



**SOLEIL**



**GEOOTHERMIE**

**MATERIAU**



**SOLS**

# LES RESSOURCES EN GEOLOGIE

**MINERAI**



**VENT**



*'Le développement durable nécessite que les besoins présents soient satisfaits sans compromettre l'aptitude des générations futures à répondre à leurs propres besoins.'*

Gro Harlem Bruntland,

Présidente de la Commission mondiale sur l'environnement de l'ONU et premier ministre de Norvège

**Ceci soulève une première question :**

**Devrait-on réserver les ressources définies **aujourd'hui** pour les générations futures ?**

**Comme les besoins évoluent, que les connaissances et donc les technologies évoluent, ce qui est aujourd'hui une roche utile, donc un minerai, un matériau aujourd'hui sera peut être inutile demain.**

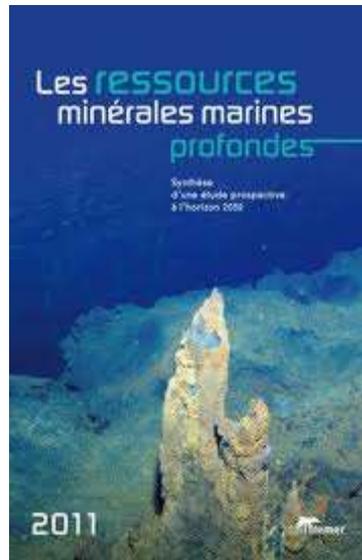


**AMIANTE = Ex-MINERAI !**

**Comme les besoins évoluent, que les connaissances et donc les technologies évoluent, ce qui est aujourd'hui une roche « inutile » aujourd'hui constituera peut être une ressource demain ?**

## **Gaz de schiste - Gaz de Houille**

**Les ressources pétrolières non conventionnelles : nature et enjeux**  
Raymond Michels – CR CNRS – G2R Nancy



## **Nodules polymétalliques**



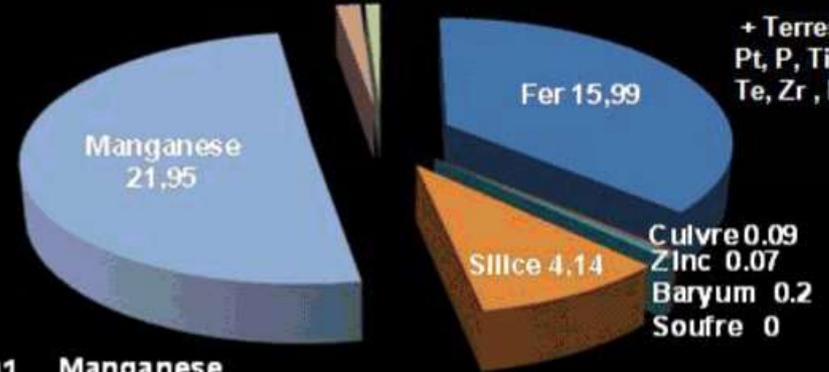
# Compositions

## Encroûtements



Cobalt 0.69  
Nickel 0.41

+ Terres rares,  
Pt, P, Ti, TI, V,  
Te, Zr, Mo, Te

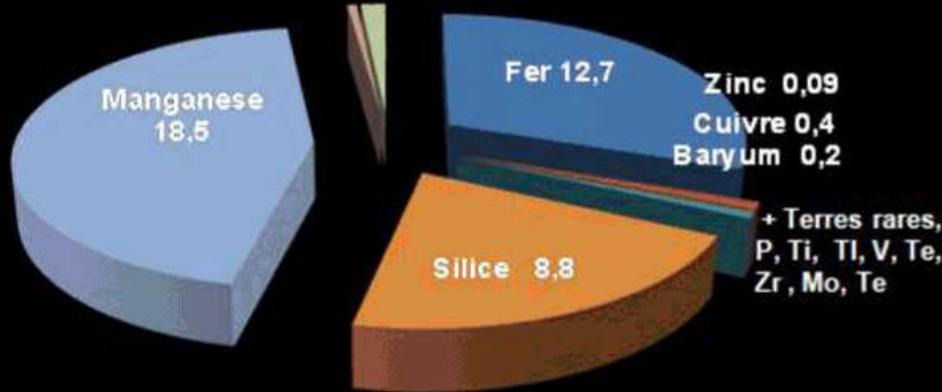


## Nodules

Nickel 0.63  
Cobalt 0.24

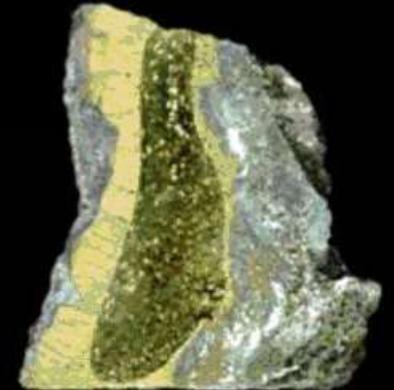
Zinc 0,09  
Cuivre 0,4  
Baryum 0,2

+ Terres rares,  
P, Ti, TI, V, Te,  
Zr, Mo, Te



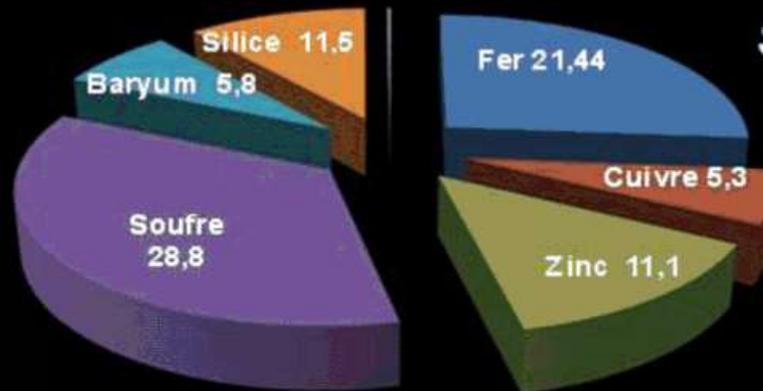
Nickel 0.01  
Cobalt 0.05  
Manganese 0.09

## Sulfures Hydrothermaux



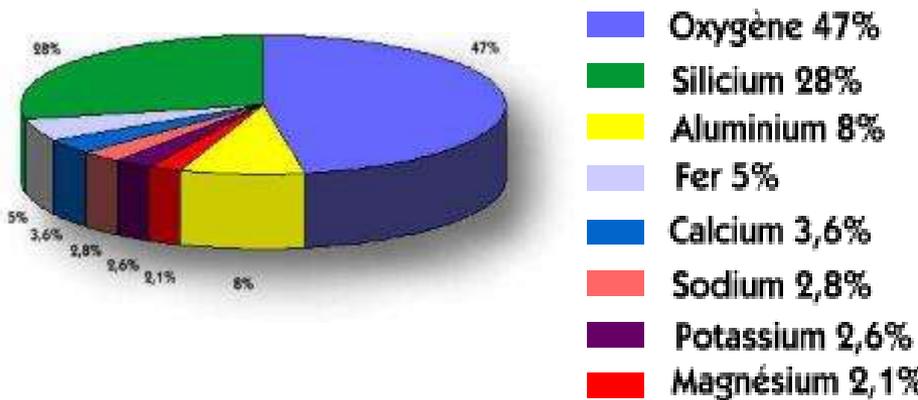
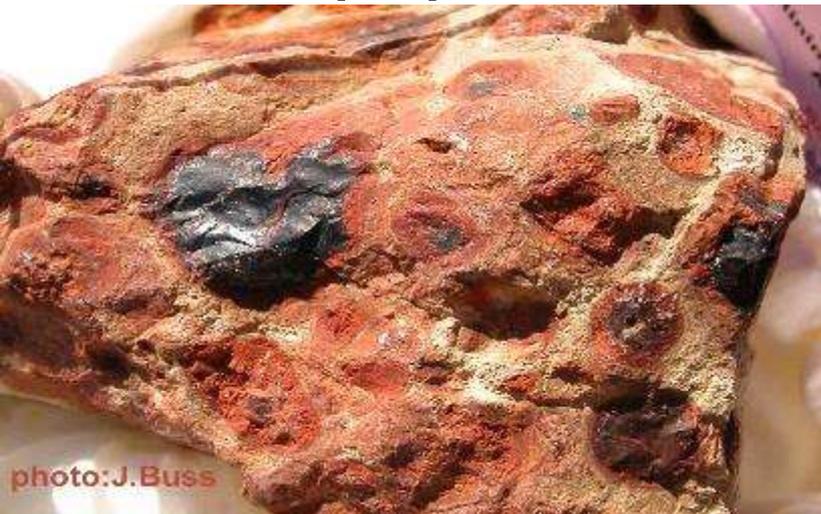
+ Au, Ag, Pb, Co In, Ge, Se,  
Co, Cd, Bi, Te, Ga, Ge

+Hydrogène Naturel



# ALUMINIUM

Bauxite (Al) = Minerai d'Al



ROCHE

MINERAI ?



100 % de l'aluminium trié est recyclé

Granite, futur minerai d'Al ?

# Halogénures et Alcalins

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U													

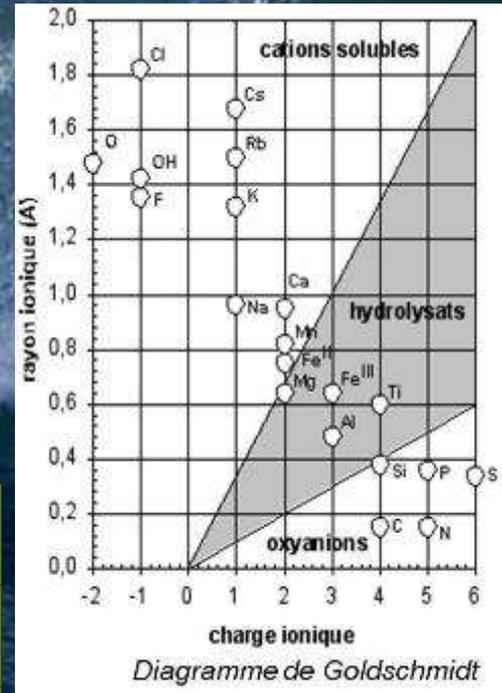
Sidérophile

Lithophile

Chalcophile

Atmosphère

*Goldschmidt*



# Halogénures et Alcalins

## Lithium : l'enjeu stratégique de demain ?

Dispositifs nomades, véhicules électriques... les besoins en source d'énergie indépendante et en autonomie sont toujours plus grands. Pour les satisfaire, les batteries Li-ion semblent être la technologie la plus prometteuse. Mais y aura-t-il suffisamment de Lithium et à quel prix ?

300 \$ / t en 2003



3000 \$/t en 2012

Or blanc

Publié le 8 mai 2012

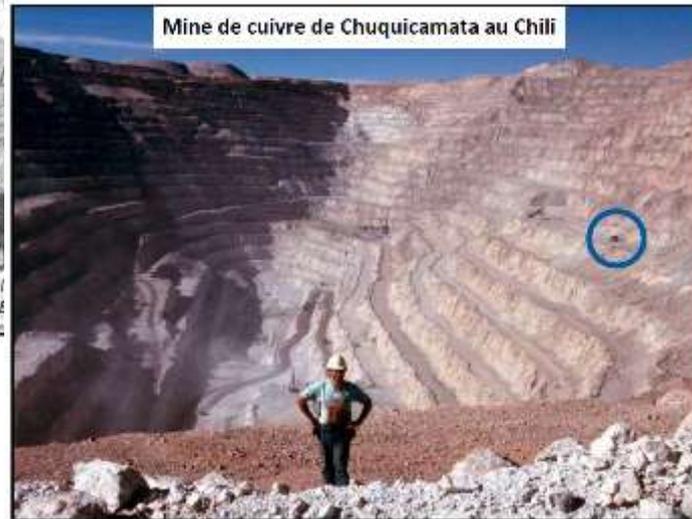
## Le lithium, en passe de devenir le pétrole du futur ?

Alors que les médias ont le nez rivé sur la hausse des prix à la pompe, le prix du lithium atteint lui aussi des sommets, témoignant d'un engouement international pour ce métal, que les prix du pétrole tirent vers le haut.

**GISEMENT** = Anomalie de concentration  
**ECONOMIQUEMENT RENTABLE** d'un élément  
habituellement dispersés dans la croûte terrestre

# Les ressources exploitées aujourd'hui ne sont pas les mêmes que celle d'hier et fort probablement pas les mêmes que celles de demain

# Cu



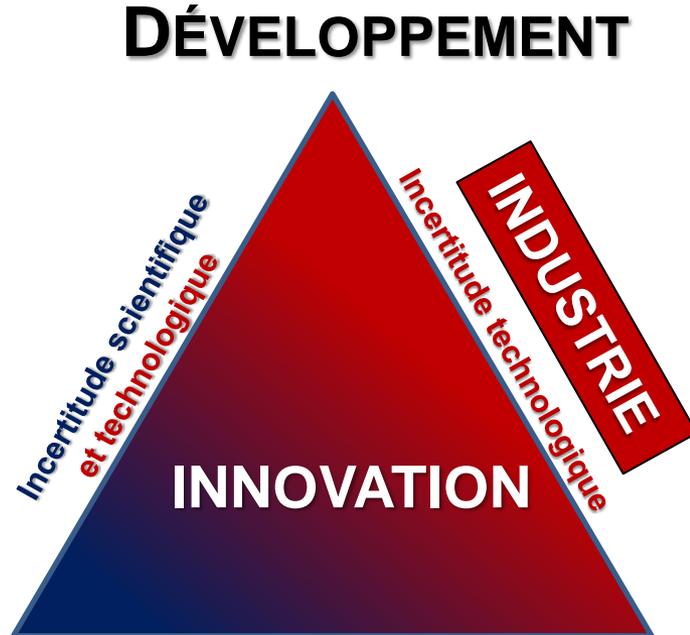
**Baisse des teneurs => Augmentation des volumes**

## Innovation pour l'exploration

Tectonique des plaques et recherche d'hydrocarbures  
(Laure Barrier – MCU IPGP et Olivier Broucke – Ingénieur Total)

# Les ressources exploitées aujourd'hui ne sont pas les mêmes que celle d'hier et fort probablement pas les mêmes que celles de demain

## Innovation scientifique et technologique



**RECHERCHE**

**ACADEMIE**

*Incertitude scientifique*

**EXPERTISE**

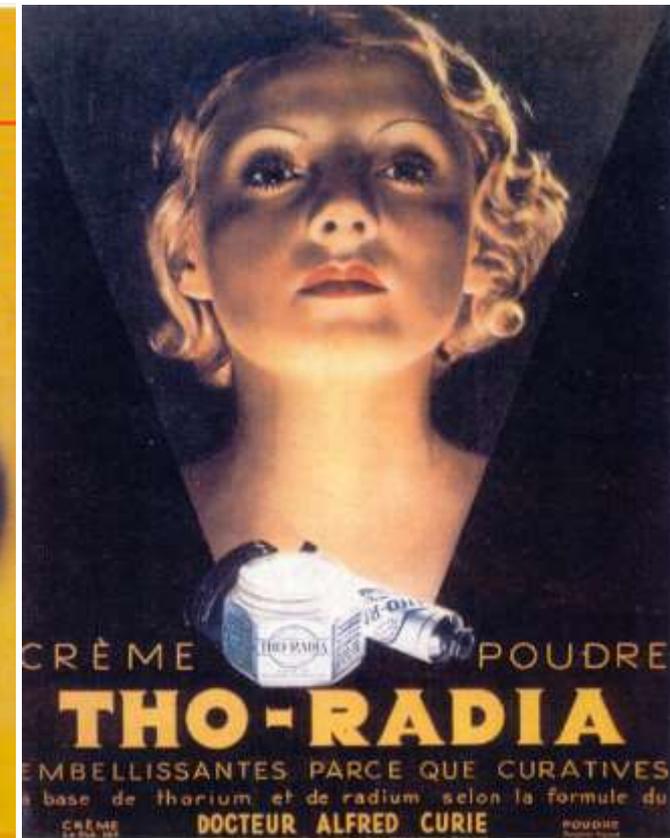
Le Pyrochlore en 1959: Remarquable exemple d'un nouveau minéral utile né du partenariat d'une compagnie minière junior avec une université et un centre de recherche gouvernemental



# URANIUM = ENERGIE !



Etats-Unis, 1921 : des femmes américaines offrent un gramme de radium à Marie-Curie.



Le scandale des  
potions au  
Radium!

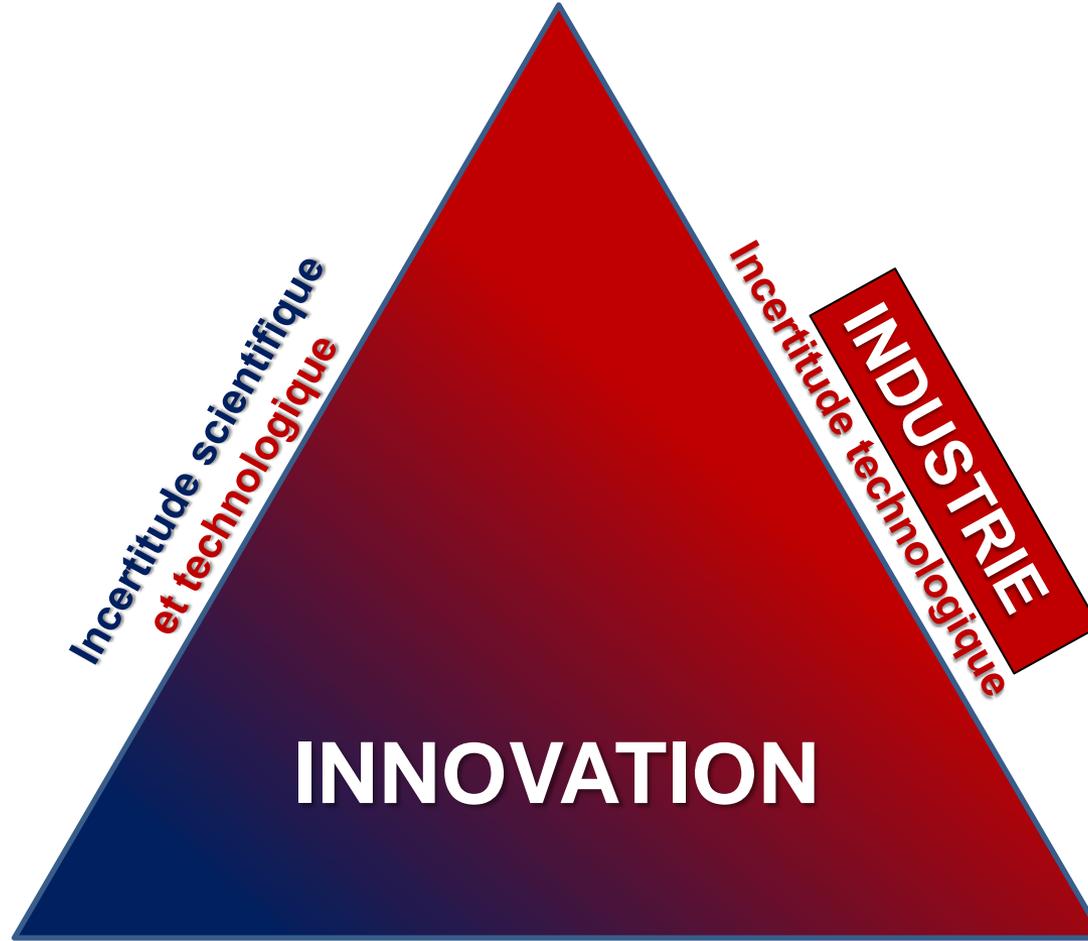
Et aussi :

- La laine **Oradium** préconisée pour les bébés !
- Bains de **boues radioactives** contre les rhumatismes
- Ceintures en **caoutchouc radioactif** pour maigrir
- **Radia**, appât radioactif, pour attirer poissons et écrevisses...



# Innovation scientifique et technologique

**DÉVELOPPEMENT**

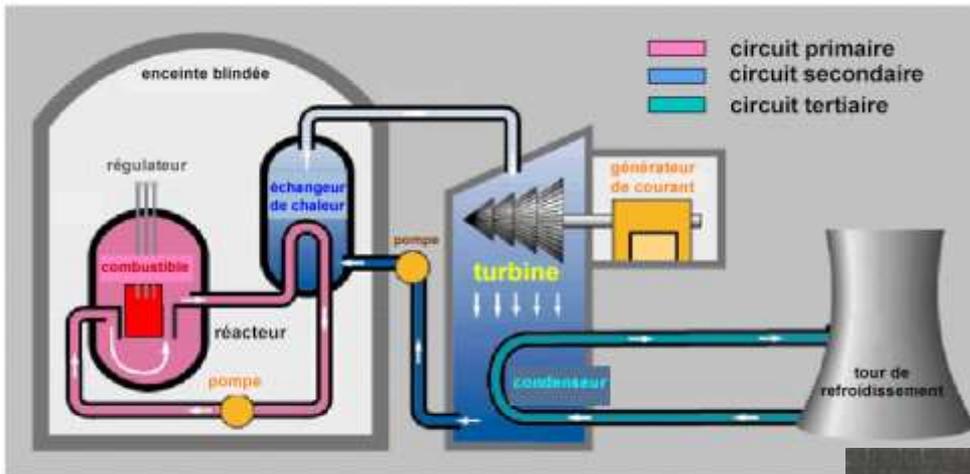


**RECHERCHE**

**ACADEMIE**

*Incertitude scientifique*

**EXPERTISE**

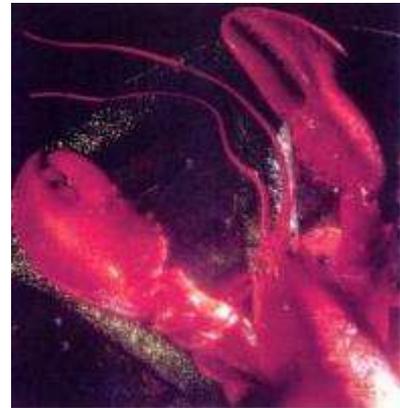
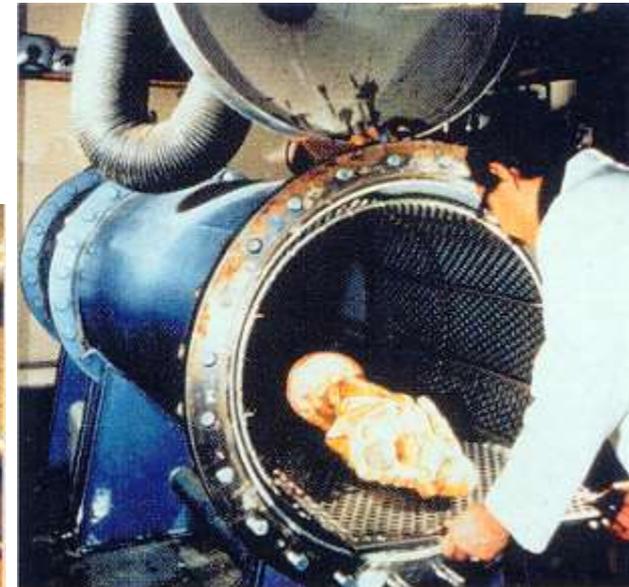


**Production électrique :**  
première application industrielle

**Contrôle :** qualité de soudures



**Médical :** gammathérapie,  
scintigraphie, traçage ... etc.



**L'âge du homard!**  
 $Ra^{226} \rightarrow Th^{232}$  lorsque  
le homard calcifie sa carapace.

**Effets pyrotechniques**

**Ionisation :** conservation des aliments... et des œuvres d'art ou momies

# La notion de **RESSOURCE**....

## ...est donc **INSTANTANEE** !

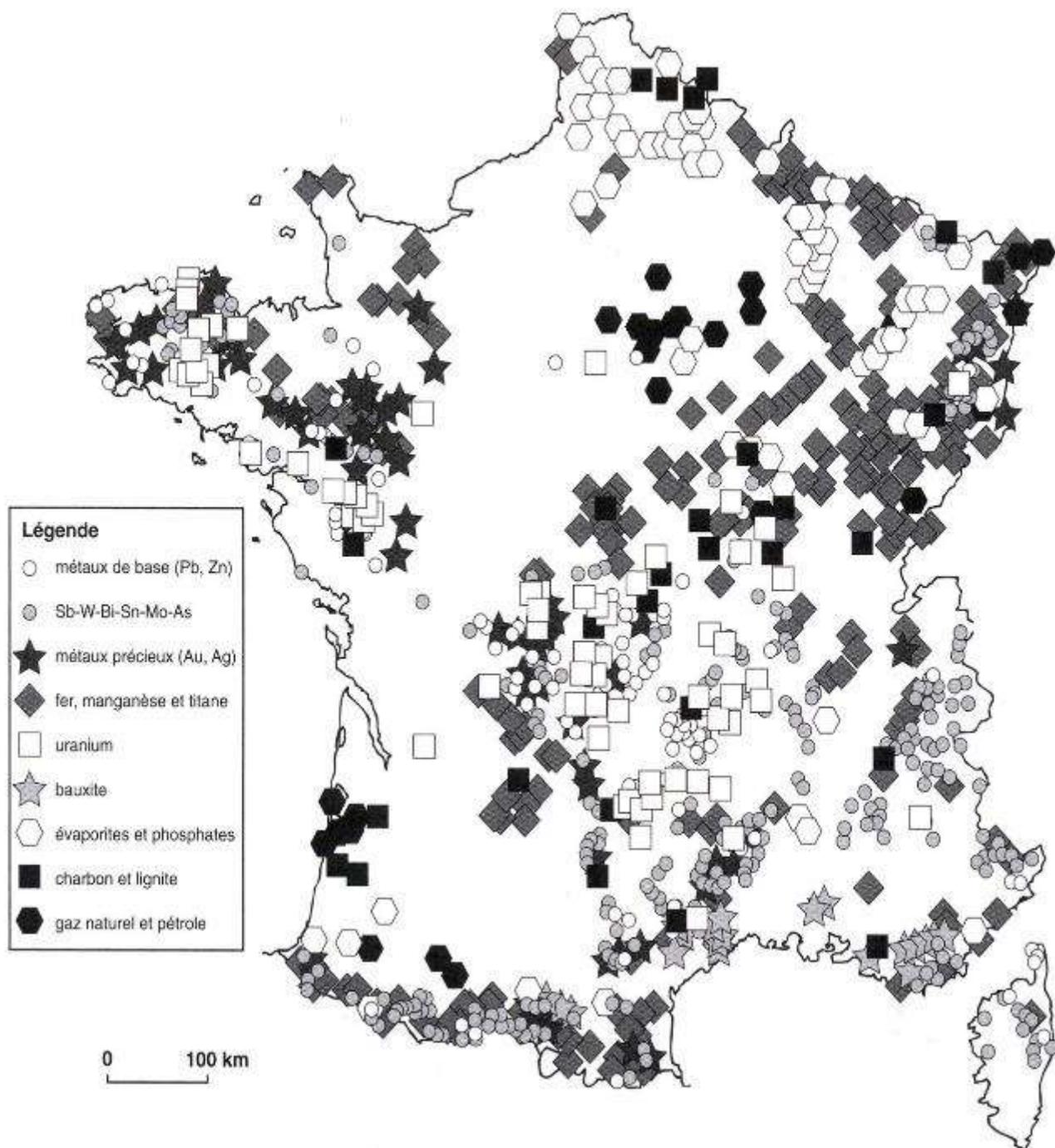
1<sup>ère</sup>

### conclusion

Comme ce qui fait la différence entre une 'roche' et un 'minerai' est momentanée:

- Conserver les gisements '**définis**' aujourd'hui pour les générations futures serait une erreur.
- La richesse minérale '**définie**' doit être exploitée immédiatement car demain elle se sera peut être évaporée!

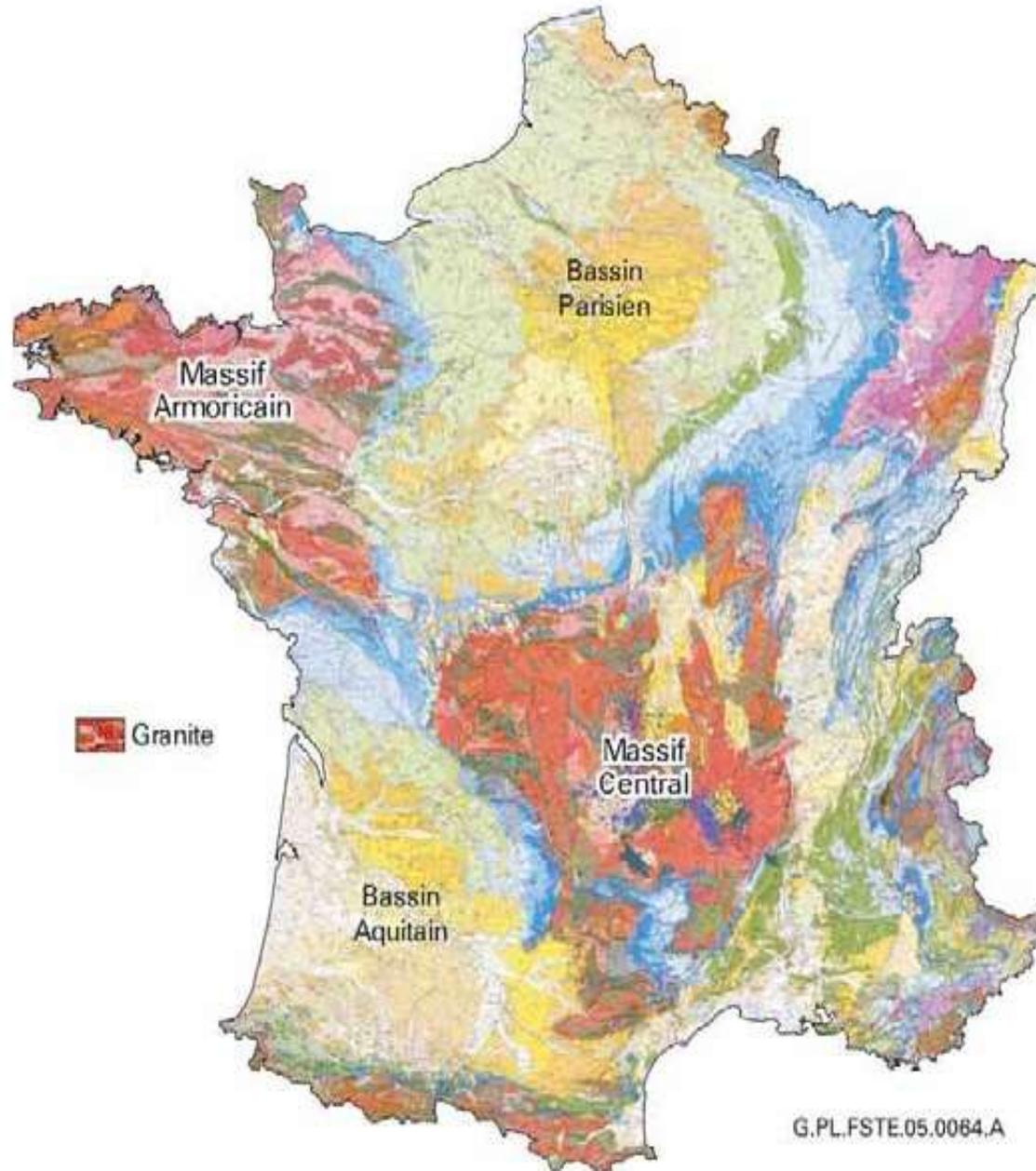
## Ressources renouvelables, non renouvelables ?

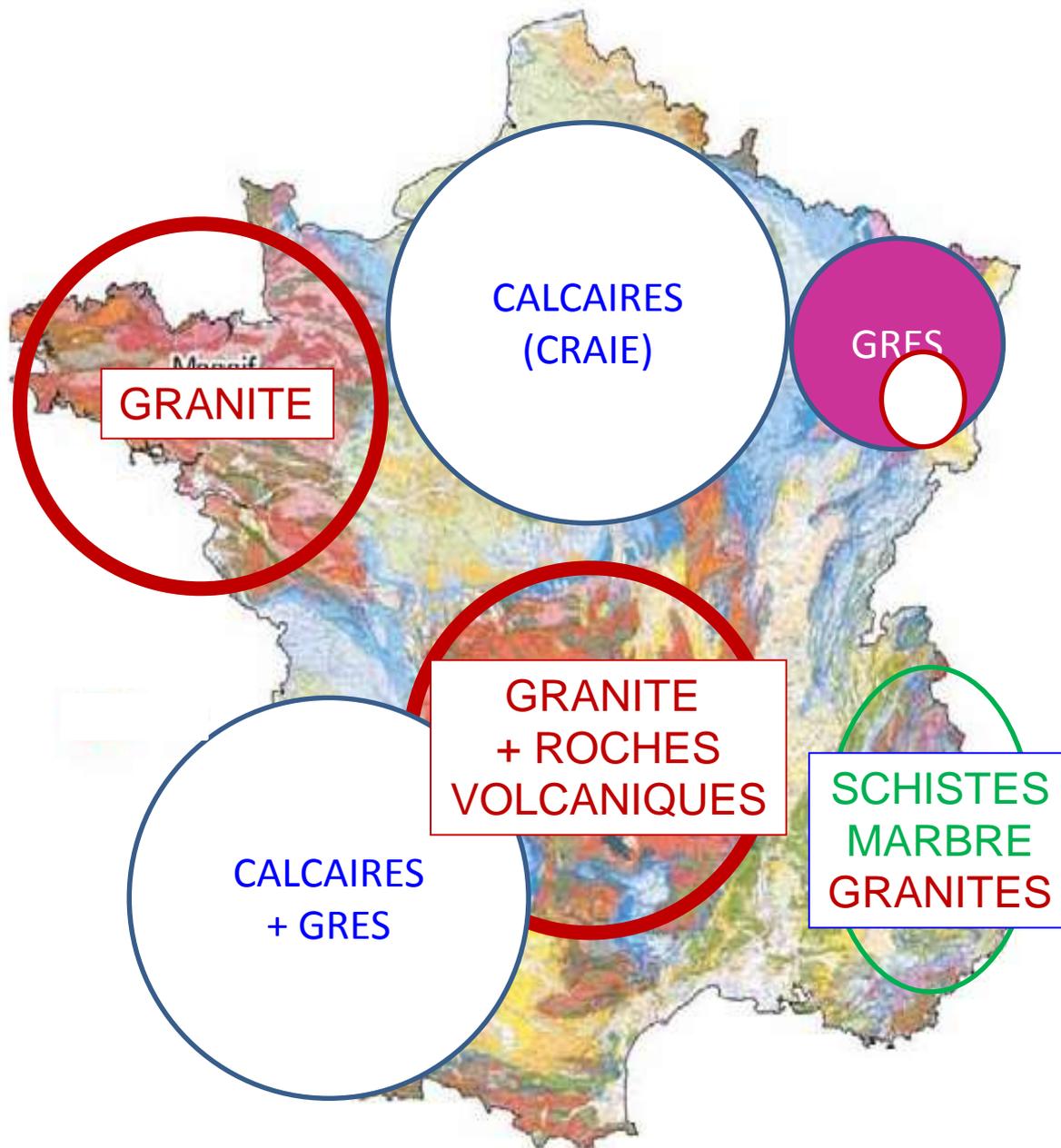


# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux

- Qu'est ce qu'une Ressource ?
- Les modalités de sa formation en milieu géologique,
- Les modalités de son prélèvement dans le milieu géologique, i.e. l'exploitation et son traitement pour utilisation,
- Son utilisation par le milieu industriel (donc son utilité sociétale) et discuter de sa disponibilité ou rareté dans le milieu naturel,
- Son recyclage potentiel avec l'essor de la mine urbaine pour pallier aux difficultés d'approvisionnement de certaines ressources,
- Les enjeux économiques et géopolitiques sous-jacents,

# Où trouve t-on les matériaux rocheux ?





GRANITE

CALCAIRES  
(CRAIE)

GRES

GRANITE  
+ ROCHES  
VOLCANIQUES

CALCAIRES  
+ GRES

SCHISTES  
MARBRE  
GRANITES

# Où trouver les métaux ?

## LES MÉTAUX, DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES...

The periodic table is color-coded to show different groups of metals. Labels in colored boxes indicate these groups: Sidérophile (yellow), Lithophile (orange), Chalcophile (blue), and Atmosphile (green). A thick black line separates the metals from the non-metals. The lanthanide and actinide series are shown below the main table, connected by arrows.

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U													

**Sidérophile** (yellow): Mn, Fe, Co, Ni, Cr, Mo, W, Re, Os, Ir, Pt, Au

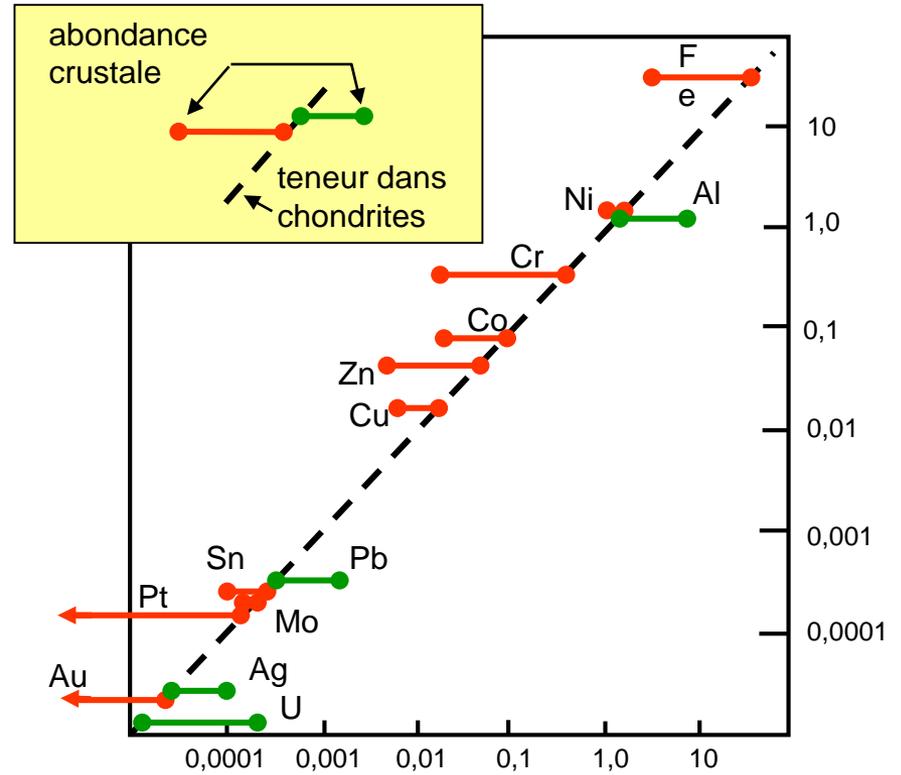
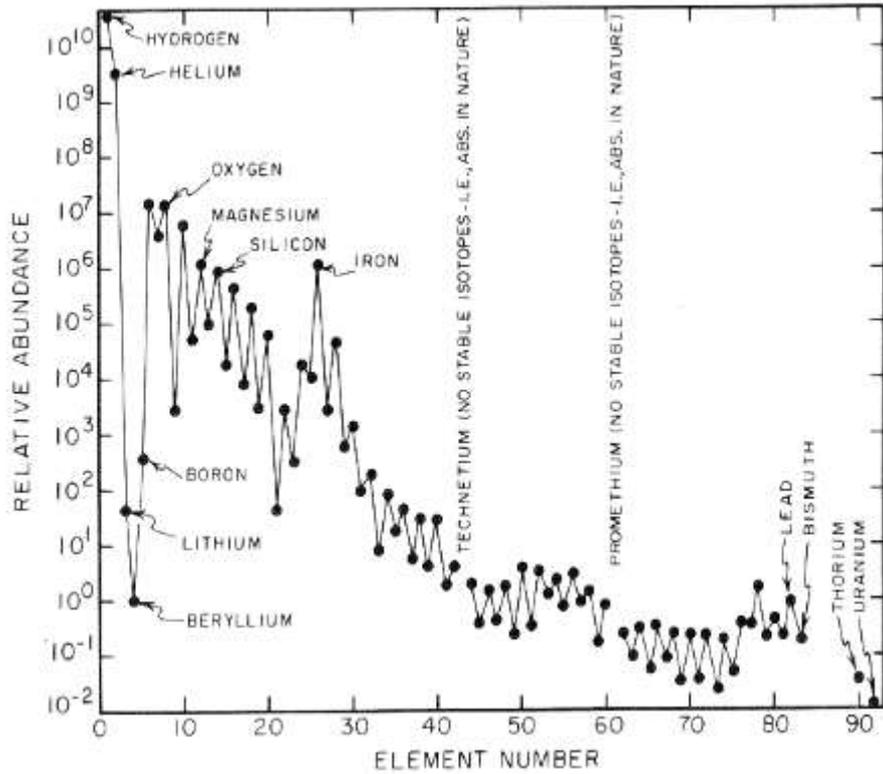
**Lithophile** (orange): Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, Pa, U

**Chalcophile** (blue): Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn

**Atmosphile** (green): H, He, N, O, F, Ne, P, S, Cl, Ar, Se, Br, Kr, Te, I, Xe, Po, At, Rn

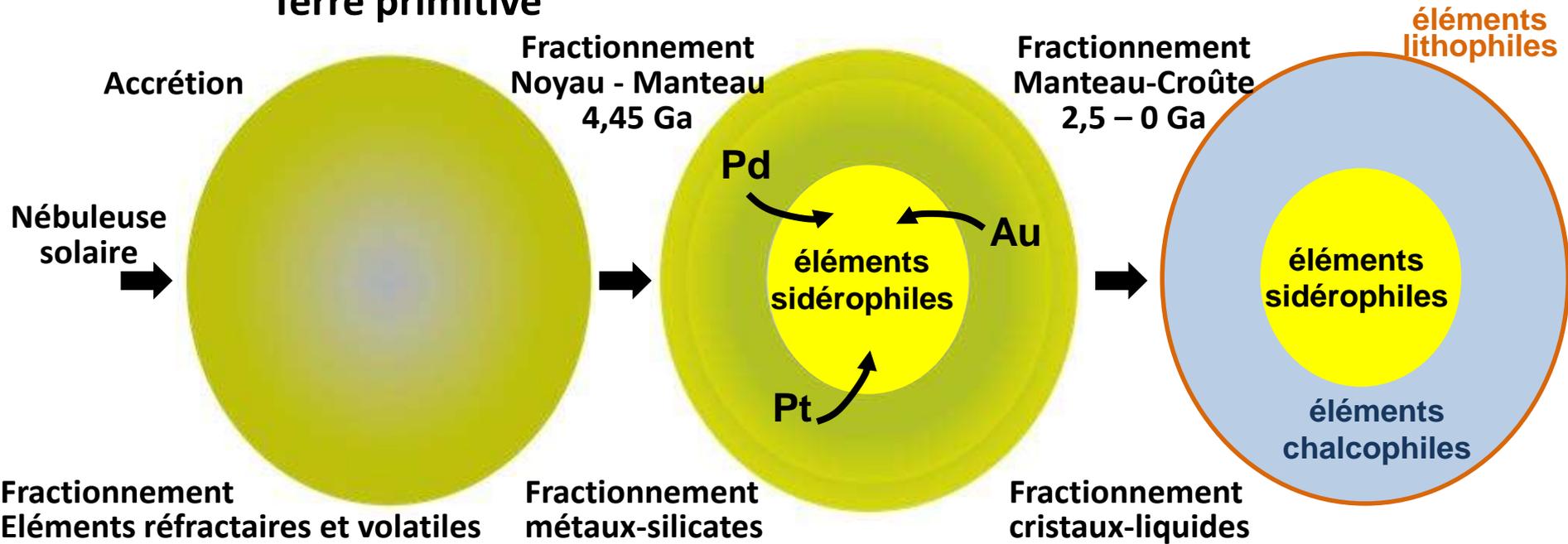
...AVEC DES COMPORTEMENTS CHIMIQUES VARIABLES

# Notions de clarke



# Processus primaires de concentrations

## Terre primitive



H	Sidérophile																Lithophile										He
Li	Be	Chalcophile										Atmosphile						B	C	N	O	F	Ne				
Na	Mg	Goldschmidt																Al	Si	P	S	Cl	Ar				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr										
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe										
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn										
Fr	Ra	Ac	Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu Th Pa U																								

# Du clarke au gisement

De la teneur moyenne dans la croûte...

...à une teneur anormale économiquement rentable

## Clarke

Teneur moyenne d'un  
élément  
dans la croûte terrestre

3-4 ppb pour l'Au  
2,7 ppm pour l'U

Processus de  
concentration

## Gisement

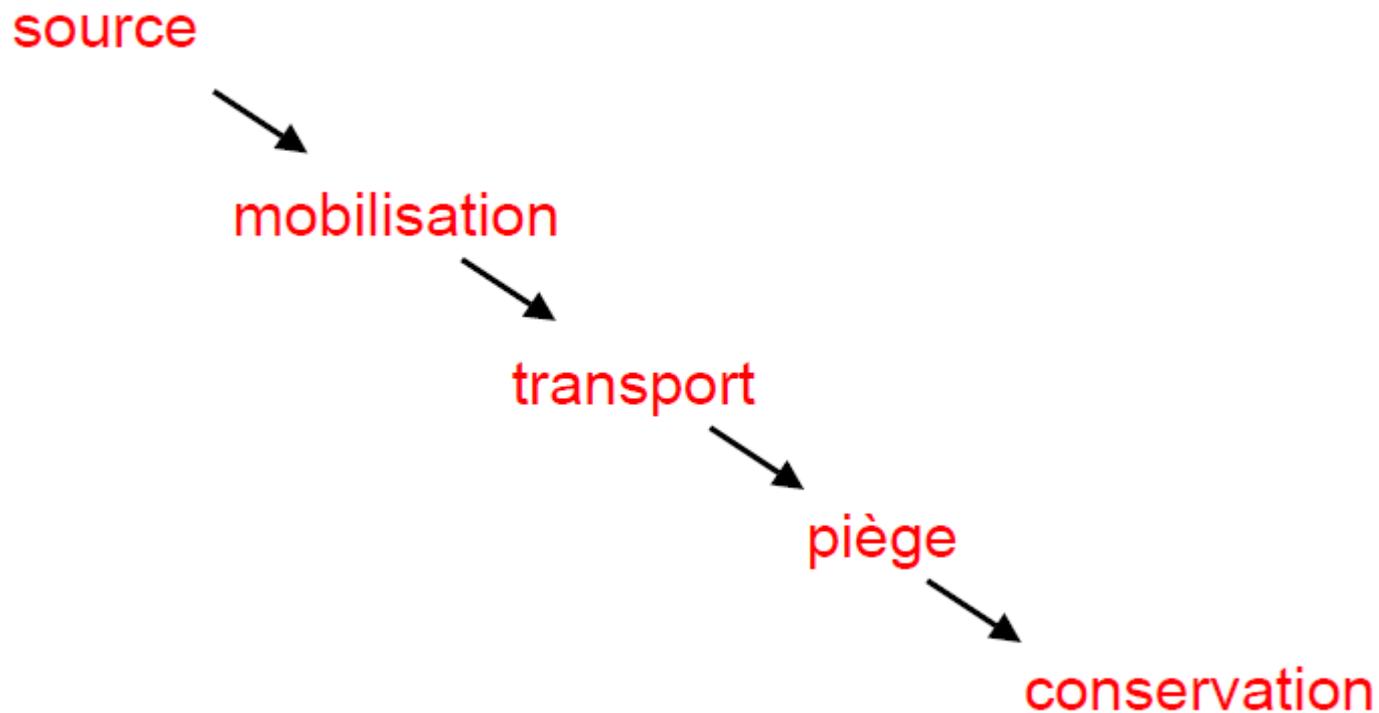
Anomalie de concentration  
économiquement rentable

1-2 ppm pour Au  
Centaines de ppm U

De la **biomasse** aux **combustibles fossiles**

François Baudin – PU, UMC

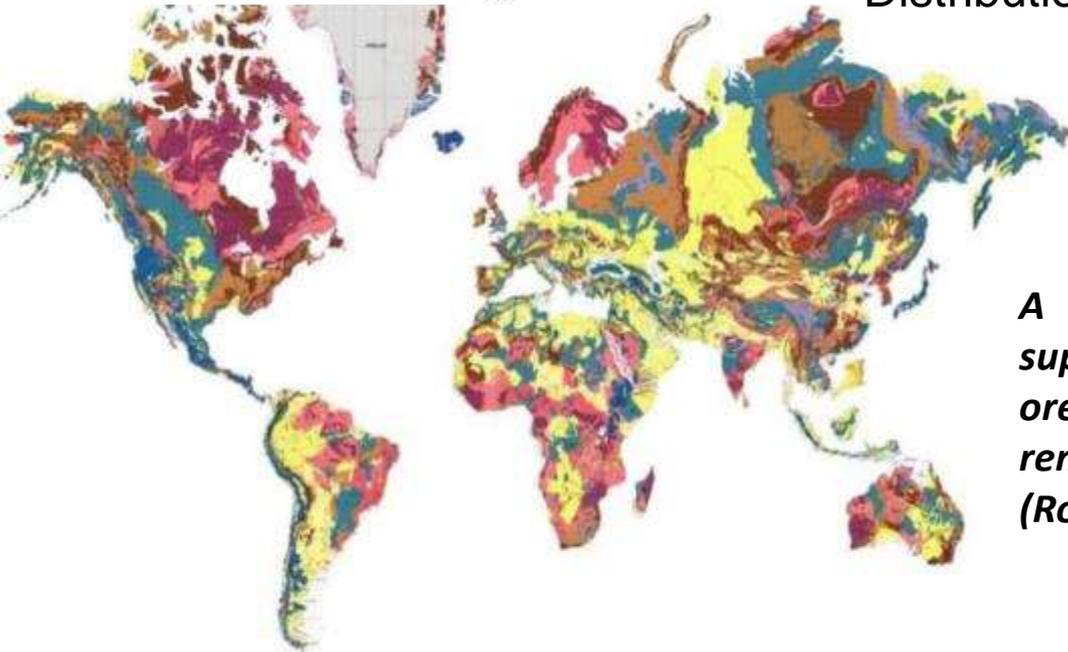
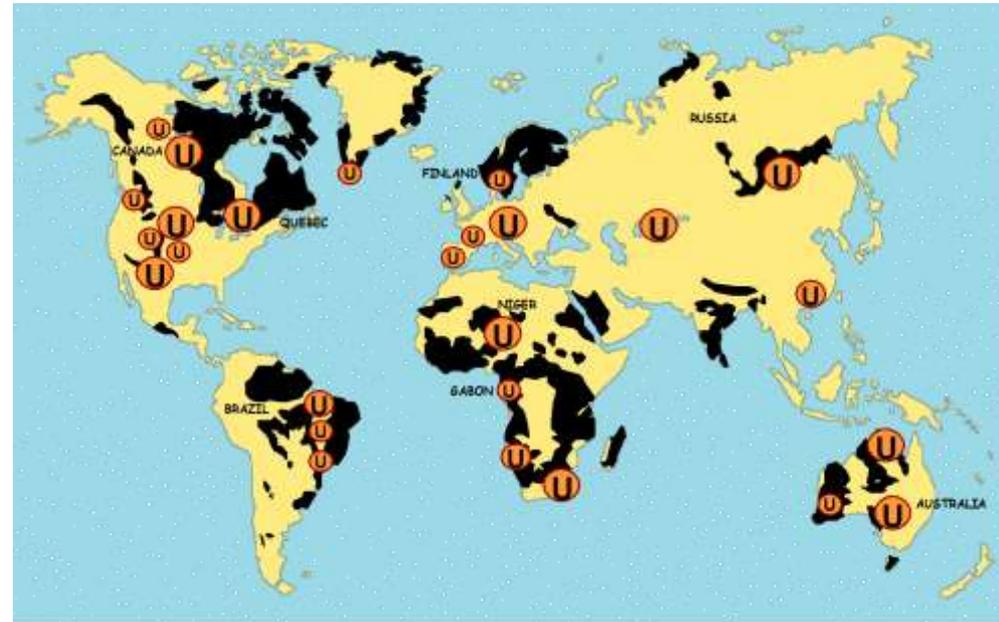
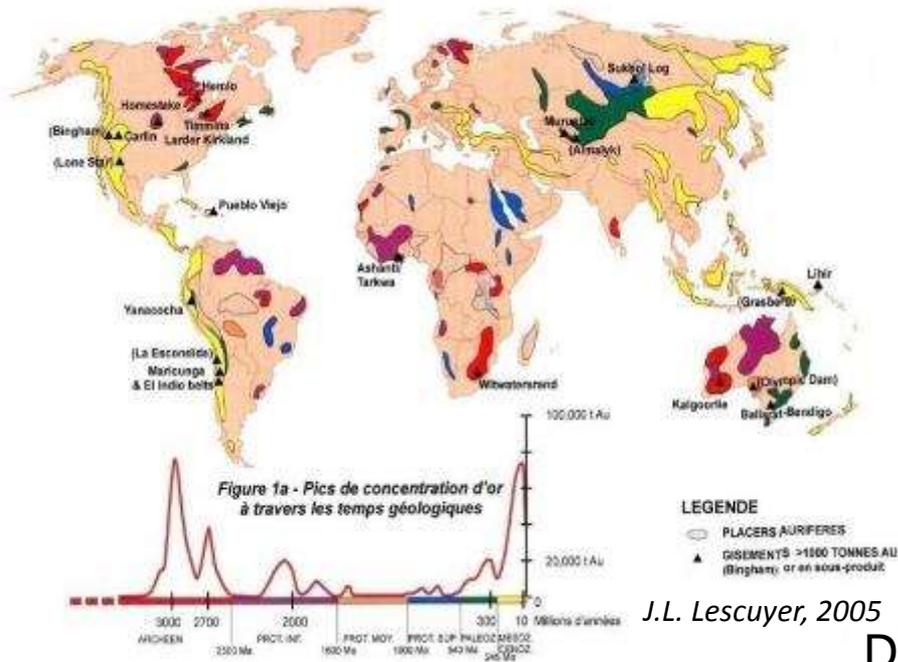
Reprise du paradigme « source --> piège » des pétroliers



Implicites dans cette définition du système :

- son emprise géographique (l'**architecture** du système)
- son **emprise temporelle**

# Epoques et provinces métallogéniques



*A detailed understanding of how the supercontinent cycle can be used in the study of ore deposits is a complex issue and likely to remain a profitable area for future research (Robb, 2005)*

Unibras

Les messieurs se placent toujours du côté gauche

Les dames sont à droite

Collibataires  
ou gaz rares

1 H 1						2 He 2		
Deux-bras		Trois-bras		Quatre-bras	Cinq-bras	Deux-bras dames (Six-bras messieurs)	Unibras dames	
3 Li 3	4 Be 4	5 B 5	6 C 6	7 N 7	8 O 8	9 F 9	10 Ne 10	
11 Na 11	12 Mg 12	13 Al 13	14 Si 14	15 P 15	16 S 16	17 Cl 17	18 Ar 18	



M. (ou Mme) Soufre est androgyne:  
- tantôt dame avec deux bras,  
- tantôt monsieur avec six bras!

---

# Les mariages obéissent à quelques règles simples:

---



**Monogamie**  
**NaCl : Halite**

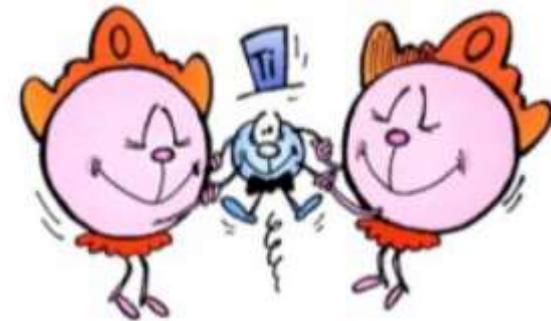
1. Les unions possibles sont la monogamie, la polygamie, la polyandrie, les communautés.
2. Les partenaires doivent globalement compter autant de bras féminins que masculins.
3. Toutes les mains doivent être liées à des mains d'atomes de sexe opposé.



**Communauté**  
**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Hématite**



**Polyandrie**  
**Ag<sub>2</sub>S : Argentite**



**Polygamie**  
**TiO<sub>2</sub> : Rutile**

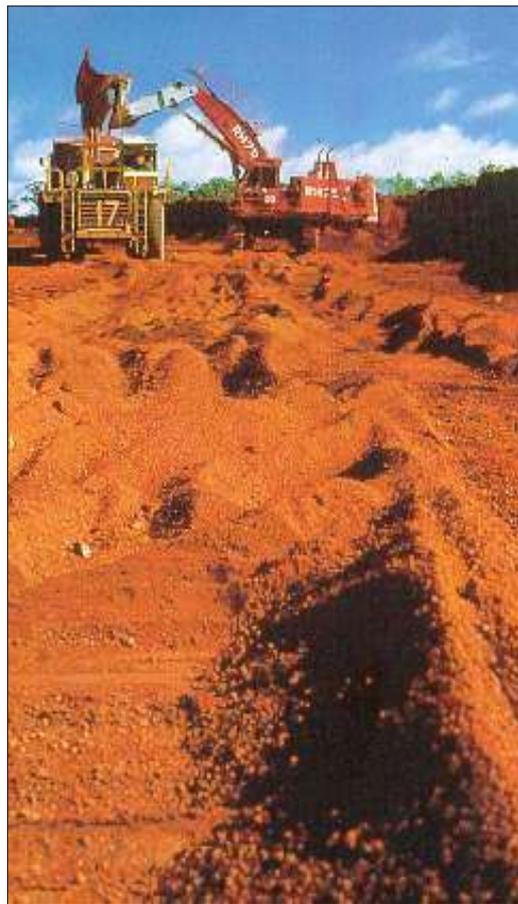
# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux

- Qu'est ce qu'une Ressource ?
- Les modalités de sa formation en milieu géologique,
- Les modalités de son prélèvement dans le milieu géologique, i.e. l'exploitation et son traitement pour utilisation,
- Son utilisation par le milieu industriel (donc son utilité sociétale) et discuter de sa disponibilité ou rareté dans le milieu naturel,
- Son recyclage potentiel avec l'essor de la mine urbaine pour pallier aux difficultés d'approvisionnement de certaines ressources,
- Les enjeux économiques et géopolitiques sous-jacents,

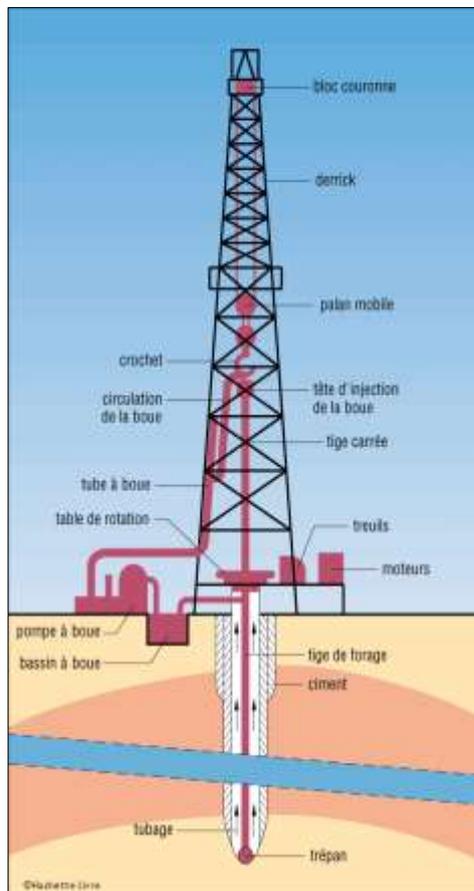
# Modalités variables selon la substance cible



**charbon**



**bauxite**



**pétrole**



**granite**

# Extraction Minière ISR

## Points clefs

Terrains imperméables (argiles)

(1) CHAMP DE PUIITS

Maîtrise environnementale

INJECTION

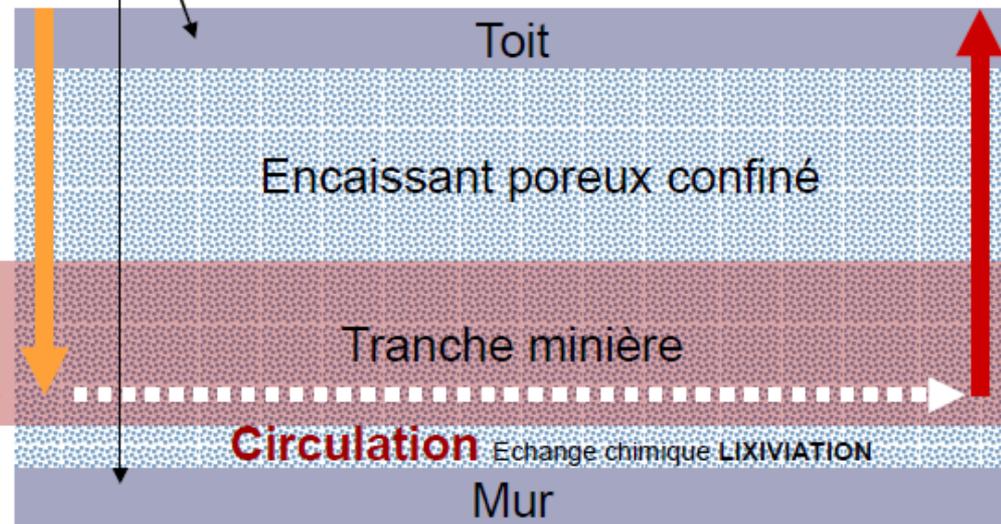
POMPAGE

Solution d'échange

(2) REACTIF

Extraction  
**URANIUM**

minerai



(3) VOLUMES

Concentration U x Volume échangé = Quantité d'**URANIUM EXTRAIT**



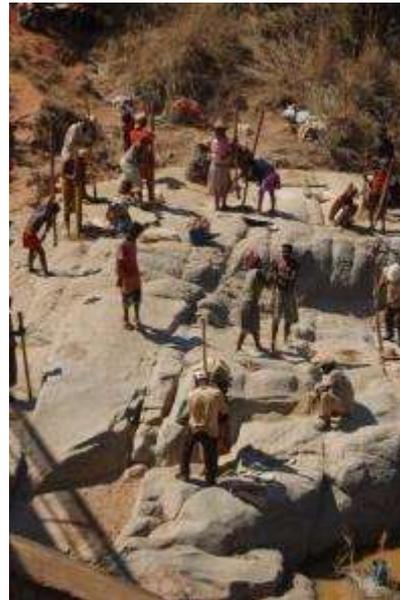
**MCO, Mines à Ciel Ouvert**  
Imiter, Maroc, Ag

**Métaux**  
**= Mines**



## **Souterraines**

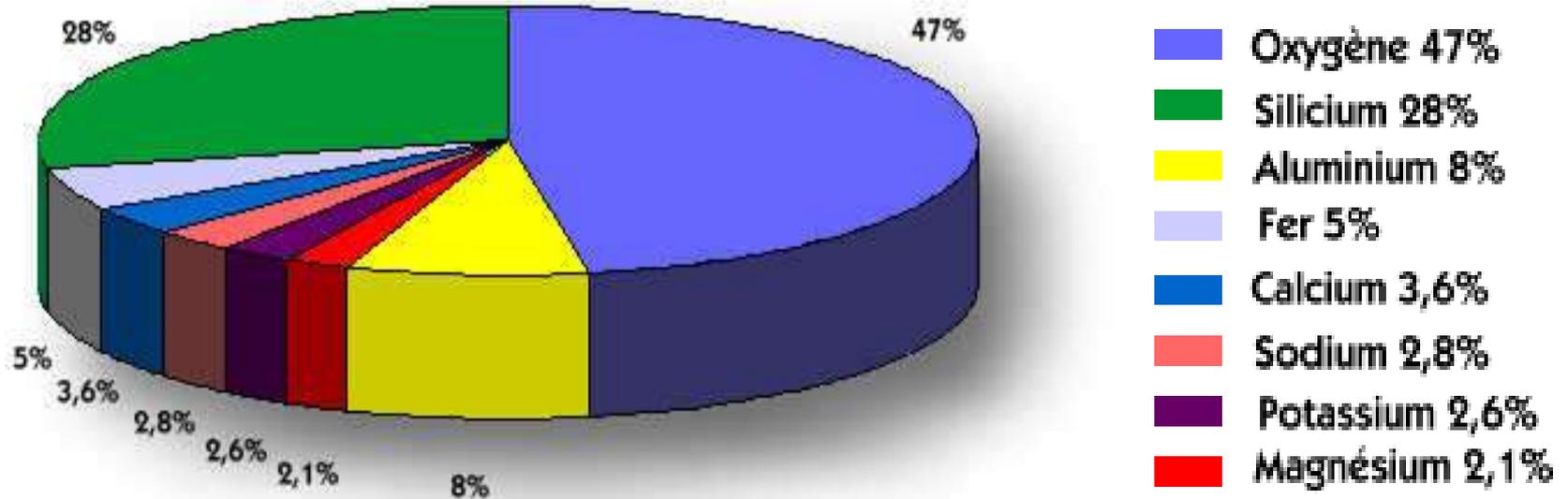
Bou Azzer, Maroc, BiCoNiAgU – Shila, Pérou, Au épithermal



...ou de manière complètement artisanale - Ambilobe, Madagascar

# L'élément Aluminium dans la croûte

Principaux éléments retrouvés dans l'écorce terrestre



**Al = métal le plus répandu à la surface de la Terre**



**Composés complexes dans granites et argiles**



**Difficulté d'extraire l'Al de ces roches et/ou minéraux**

# Traitement du minerai : exemple de la Bauxite

Al

1- Minéralurgie : formation d'un concentré riche en Al



2- Métallurgie extractive : à partir du concentré, obtenir le métal brut



3- Raffinage : Débouche sur un produit ultrapur (Al pur à 99,998%)

EAU + ENERGIE !

# Traitement du minerai : Exemple des gemmes



► Les principales formes de taille pour le diamant.



Brillant Rond



Ovale



Radiant



Marquise



Coeur



Émeraude



Poire



Princesse



Triangle

**Diamant**  
**C**

**Émeraude**  
 **$\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$**



**Corindon**  
 **$\text{Al}_2\text{O}_3$**

Saphir (Ti, Fe)



Rubis (Cr)



# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux

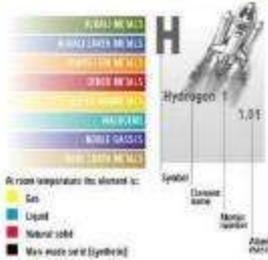
- Qu'est ce qu'une Ressource ?
- Les modalités de sa formation en milieu géologique,
- Les modalités de son prélèvement dans le milieu géologique, i.e. l'exploitation et son traitement pour utilisation,
- Son utilisation par le milieu industriel (donc son utilité sociétale) et discuter de sa disponibilité ou rareté dans le milieu naturel,
- Son recyclage potentiel avec l'essor de la mine urbaine pour pallier aux difficultés d'approvisionnement de certaines ressources,
- Les enjeux économiques et géopolitiques sous-jacents,

# PERIODIC TABLE of the ELEMENTS



Proudly sponsored by the  
**SHUTTLEWORTH FOUNDATION**  
A member of the British Science Association

He  
Helium 2  
4.00

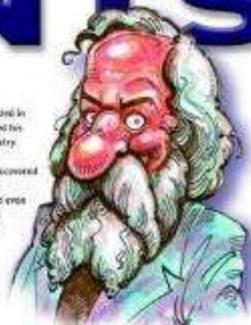


## DMITRI MENDELEYEV (1834 - 1907)

The Russian chemist, Dmitri Mendeleev, was the first to observe that if elements were listed in order of atomic mass, they showed regular (periodic) repeating properties. He formulated his discovery in a periodic table of elements, now regarded as the backbone of modern chemistry.

The growing achievement of Mendeleev's periodic table lay in his prediction of then, undiscovered elements. In 1869, the year he published his periodic classification, the elements gallium, germanium and scandium were unknown. Mendeleev left spaces for them in his table and even predicted their atomic masses and other chemical properties. Six years later, gallium was discovered and his predictions were found to be accurate. Other discoveries followed and their chemical behaviour matched that predicted by Mendeleev.

This remarkable man, the youngest in a family of 17 children, was left the school's chemistry with a classification system so powerful that it became the cornerstone in chemistry teaching and set the prediction of new elements on a track. In 1925, element 101 was named after him: Md, Mendelevium.



B Boron 5 10.81	C Carbon 6 12.01	N Nitrogen 7 14.01	O Oxygen 8 16.00	F Fluorine 9 19.00	Ne Neon 10 20.18
Al Aluminum 13 26.98	Si Silicon 14 28.09	P Phosphorus 15 30.97	S Sulphur 16 32.06	Cl Chlorine 17 35.45	Ar Argon 18 39.95

H Hydrogen 1 1.01	Li Lithium 3 6.94	Be Beryllium 4 9.01
Na Sodium 11 22.99	Mg Magnesium 12 24.31	
K Potassium 19 39.10	Ca Calcium 20 40.08	
Rb Rubidium 37 85.47	Sr Strontium 38 87.62	
Cs Cesium 55 132.91	Ba Barium 56 137.33	
Fr Francium 87 [223]	Ra Radium 88 [226]	

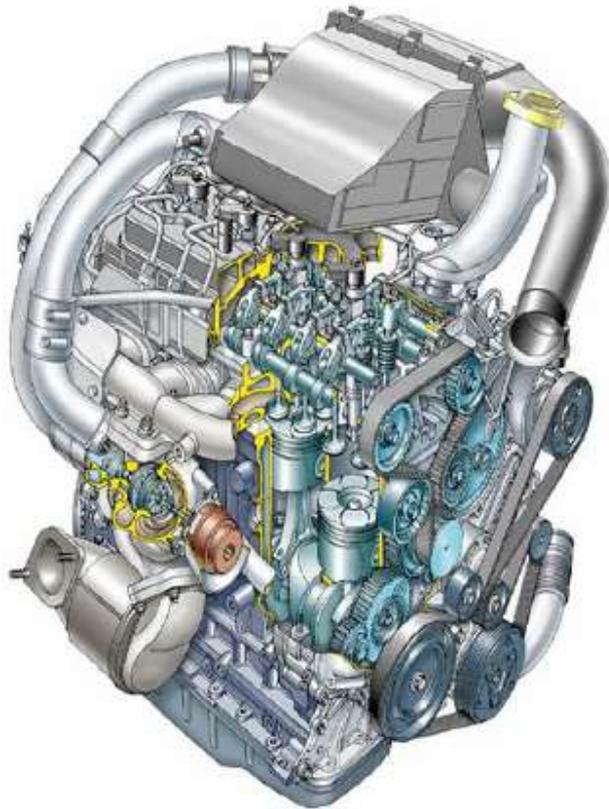
Sc Scandium 21 44.96	Ti Titanium 22 47.88	V Vanadium 23 50.94	Mn Manganese 25 54.94	Fe Iron 26 55.85	Co Cobalt 27 58.93	Ni Nickel 28 58.69	Cu Copper 29 63.55	Zn Zinc 30 65.39	Ga Gallium 31 69.72	Ge Germanium 32 72.61	As Arsenic 33 74.92	Se Selenium 34 78.96	Br Bromine 35 79.90	Kr Krypton 36 83.80								
Y Yttrium 39 88.91	Zr Zirconium 40 91.22	Nb Niobium 41 92.91	Mo Molybdenum 42 95.94	Tc Technetium 43 (98)	Ru Ruthenium 44 101.07	Rh Rhodium 45 101.07	Pd Palladium 46 106.42	Ag Silver 47 107.87	Cd Cadmium 48 112.41	In Indium 49 114.82	Sn Tin 50 118.71	Sb Antimony 51 121.76	Te Tellurium 52 127.60	I Iodine 53 126.90	Xe Xenon 54 131.29							
Lanthanide Series		Hf Hafnium 72 178.49	Ta Tantalum 73 180.95	W Tungsten 74 183.85	Re Rhenium 75 186.21	Os Osmium 76 190.23	Ir Iridium 77 192.22	Pt Platinum 78 195.08	Au Gold 79 196.97	Hg Mercury 80 200.59	Tl Thallium 81 204.38	Pb Lead 82 207.20	Bi Bismuth 83 208.98	Po Polonium 84 [209]	At Astatine 85 [210]	Rn Radon 86 [222]						
Actinide Series		Rf Rutherfordium 104 [261]	Db Dubnium 105 [262]	Sg Seaborgium 106 [263]	Bh Bohrium 107 [264]	Hs Hassium 108 [265]	Mt Meitnerium 109 [266]	La Lanthanum 57 138.91	Ce Cerium 58 140.12	Pr Praseodymium 59 140.91	Nd Neodymium 60 144.24	Pm Promethium 61 [145]	Sm Samarium 62 150.36	Eu Europium 63 151.96	Gd Gadolinium 64 157.25	Tb Terbium 65 158.93	Dy Dysprosium 66 162.50	Ho Holmium 67 164.93	Er Erbium 68 167.26	Tm Thulium 69 168.93	Yb Ytterbium 70 173.05	Lu Lutetium 71 174.97

Ac Actinium 89 [227]	Th Thorium 90 232.04	Pa Protactinium 91 231.04	U Uranium 92 238.03	Np Neptunium 93 [237]	Pu Plutonium 94 [244]	Am Americium 95 [243]	Cm Curium 96 [247]	Bk Berkelium 97 [247]	Cf Californium 98 [251]	Es Einsteinium 99 [252]	Fm Fermium 100 [257]	Md Mendelevium 101 [258]	No Nobelium 102 [259]	Lr Lawrencium 103 [260]
----------------------------	----------------------------	---------------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-------------------------------





## Matières premières et industrie automobile



**160 pièces dans un moteur**

- **60** qualités d'alliages métalliques
- **20** matières organiques différentes

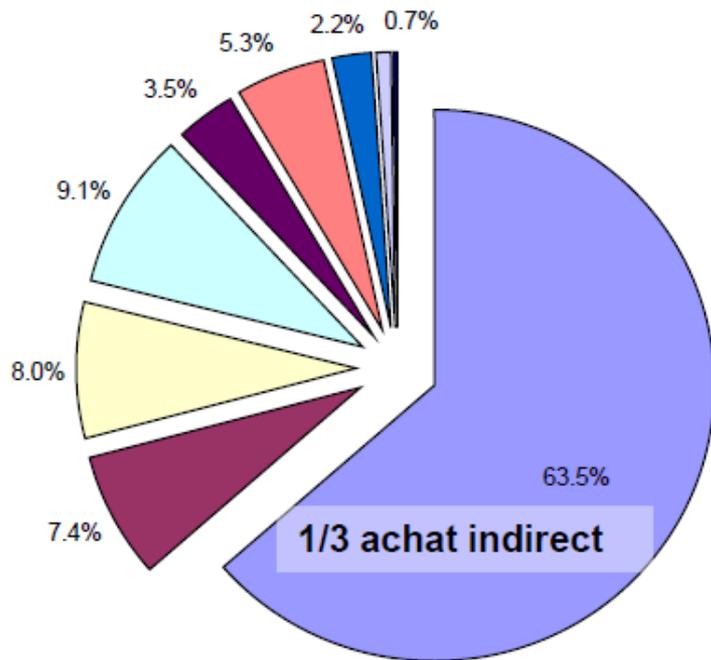
**Pour assurer des propriétés physico-chimiques :**

- **Résistance**
  - Mécanique
  - Température
  - Corrosion
  - Abrasion & usure
- **Usinage**

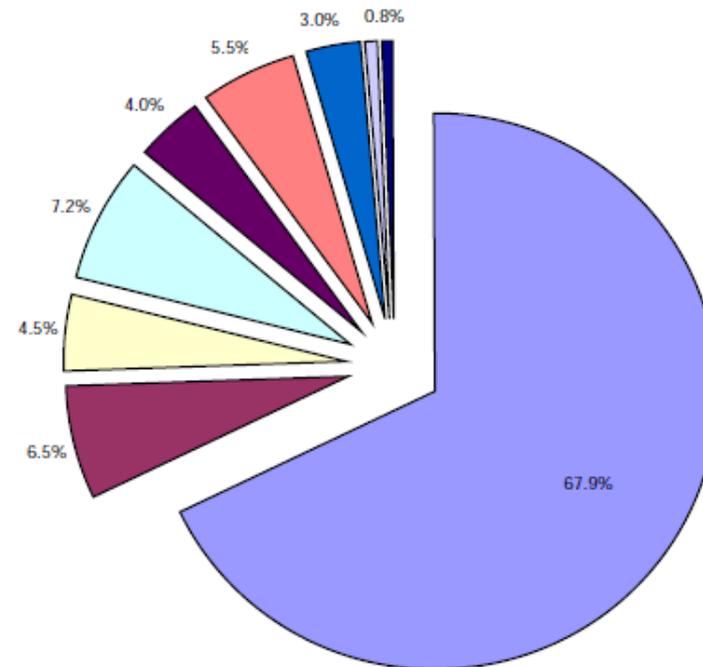
**Des matières premières variées présentes dans nos véhicules...  
... fonction des marchés et des cibles visées**



**Mégane**



**Logan**



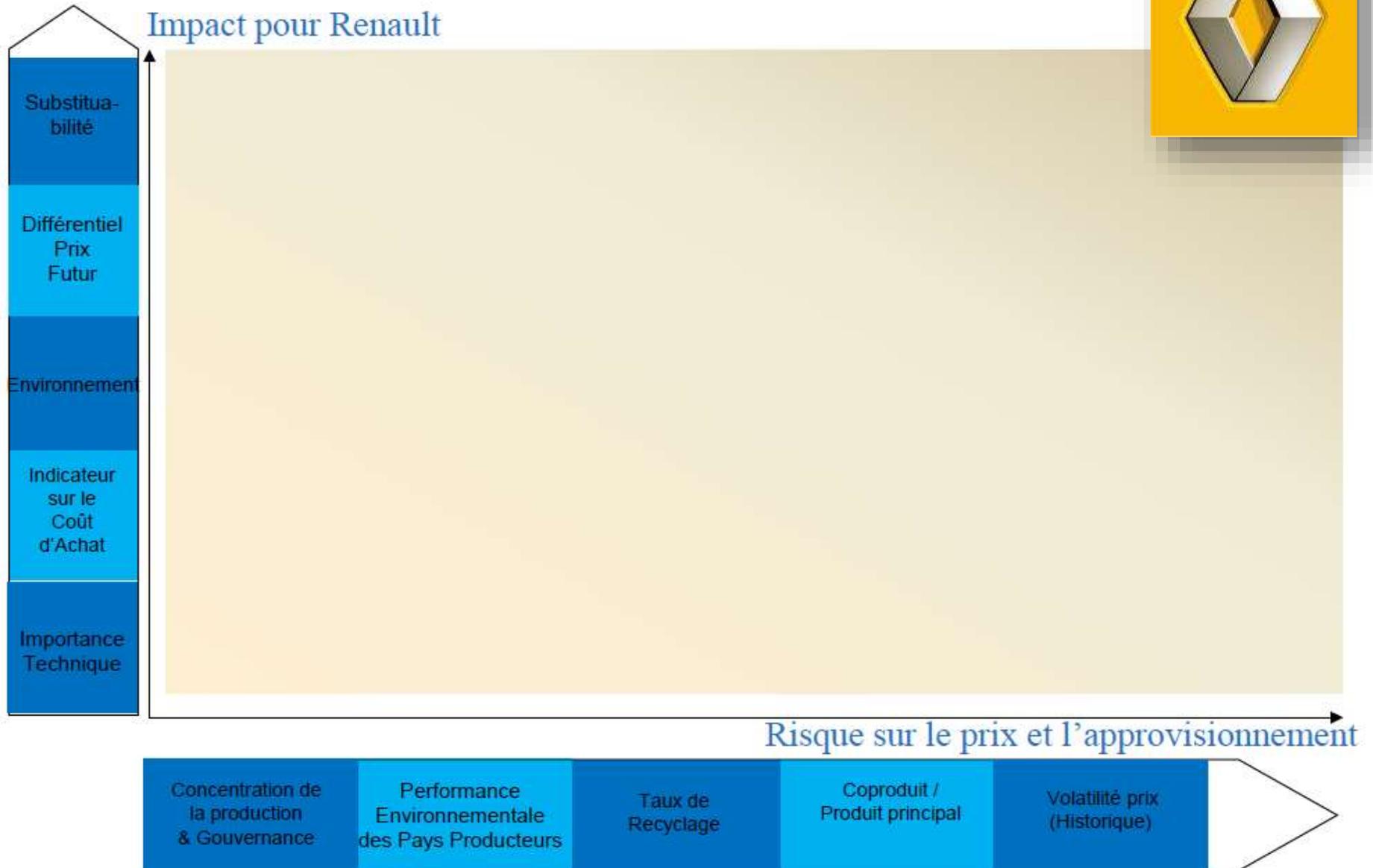
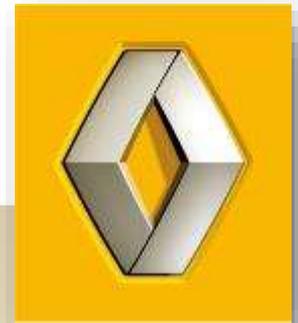
- Ferrous metals
- Non-ferrous metals
- Polymers - PP & PE
- Polymers - others
- Elastomers
- Fluids
- Glasses
- MOMN
- Others

**3.1 : 1**

**Rapport acier : polymères**

**4.3 : 1**

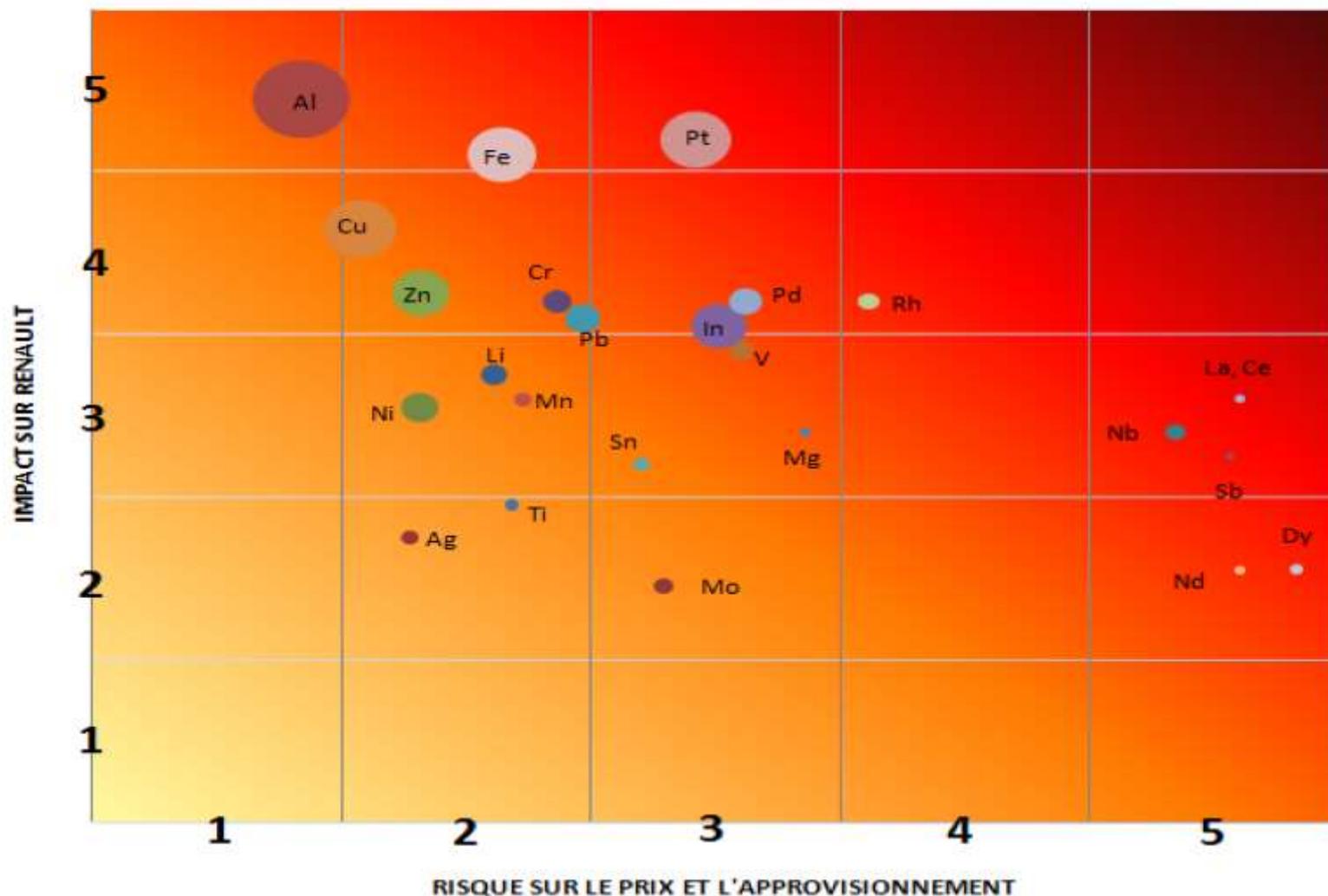
# Matrice de Criticité développée par Renault (2010)



# Les métaux sur lesquels nous sommes les plus exposés représentent des volumes & enjeux financiers limités

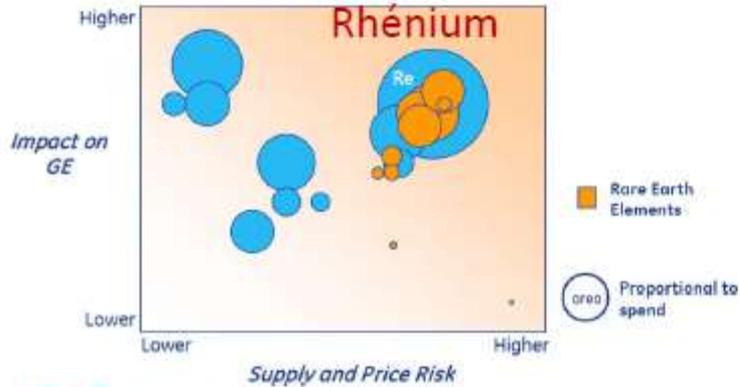


**CRITICITÉ RELATIVE RENAULT, 2010**  
*avec les impacts financiers pondérés*

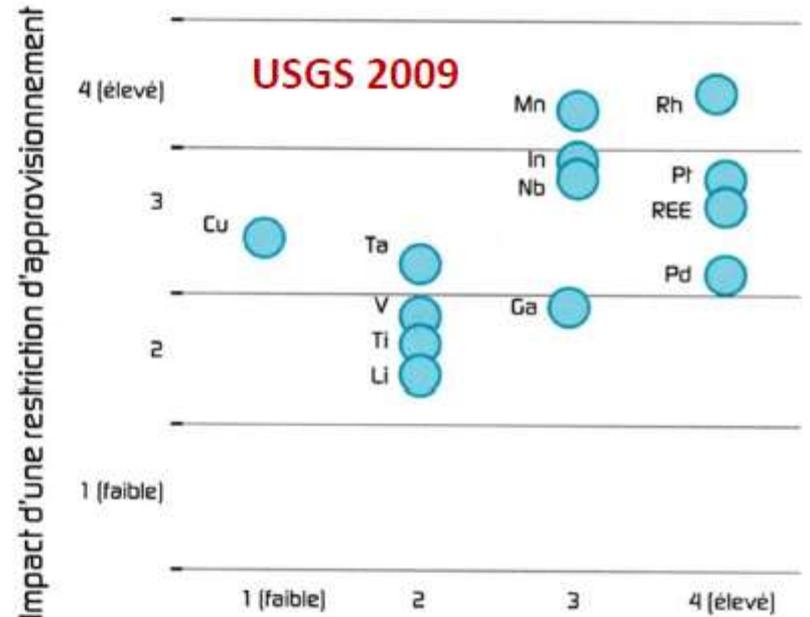
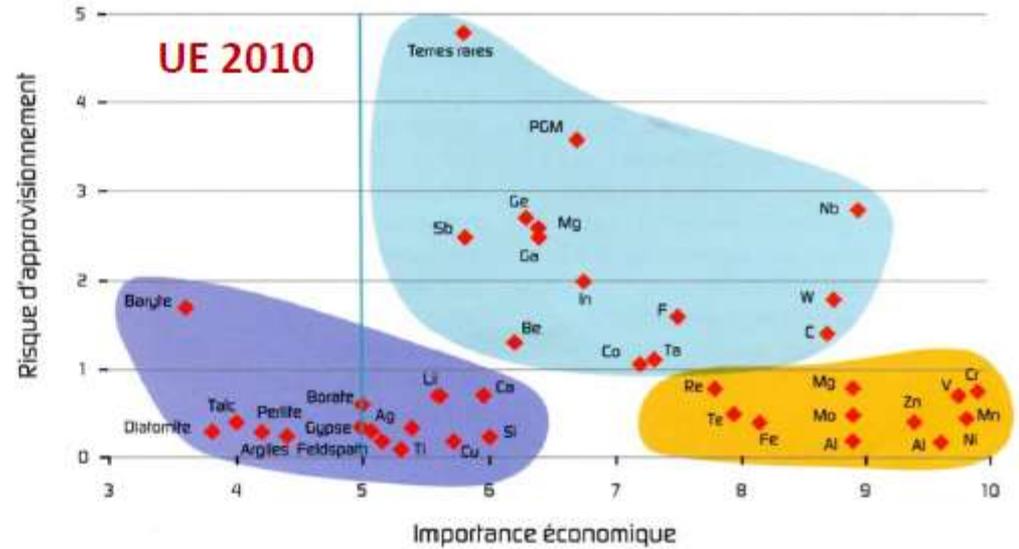
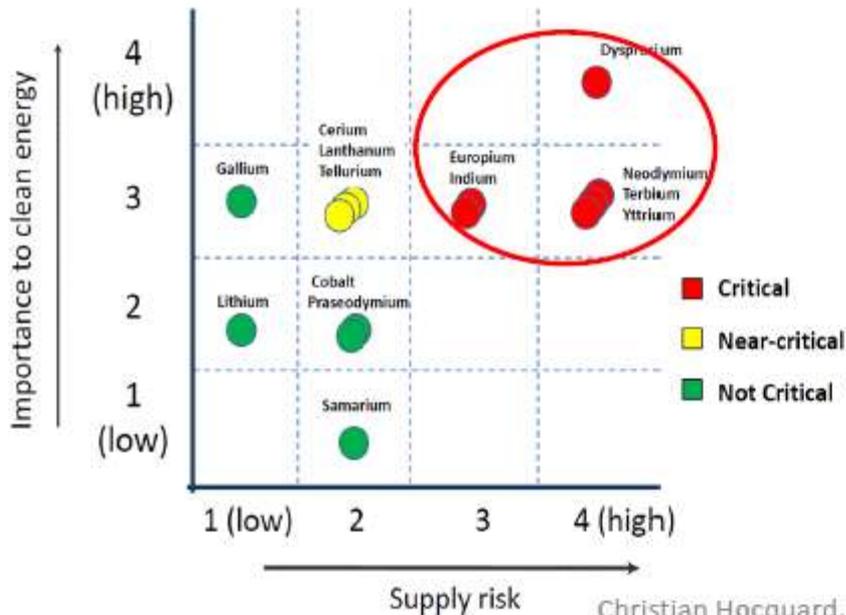


# Matrices de risques

## Industriels manufacturiers GE Criticality Diagram



## DoE : short-term (0-5 years)



Montréal

Paris

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

October 2019



U.S. DEPARTMENT OF ENERGY  
**Critical Materials Strategy**



**Critical raw materials for the EU**

Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials

The ad-hoc Working Group is a sub-group of the Raw Materials Supply Group and is chaired by the European Commission

Version of 30 July 2019

Note: The full report will be available on the Enterprise and Industry Directorate General website [http://ec.europa.eu/eu/energy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/eu/energy/index_en.htm)



European Commission  
Enterprise and Industry

We Mean Business



Montréal

Paris

## The questions of changes in the sources of mineral supplies:

Over the past 50 years, a slow but steady movement has shifted the sources of metallic mineral supplies from today's industrial countries to the developing countries. That trend is likely to continue for some years into the future. However, I think that over the next century, there will be a slow reversal and that when geologists gather to celebrate the 53rd IGC in 2088, mining will still be alive and strong in North America and Europe.

# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux

- Qu'est ce qu'une Ressource ?
- Les modalités de sa formation en milieu géologique,
- Les modalités de son prélèvement dans le milieu géologique, i.e. l'exploitation et son traitement pour utilisation,
- Son utilisation par le milieu industriel (donc son utilité sociétale) et discuter de sa disponibilité ou rareté dans le milieu naturel,
- **Son recyclage potentiel avec l'essor de la mine urbaine pour pallier aux difficultés d'approvisionnement de certaines ressources,**
  - Les enjeux économiques et géopolitiques sous-jacents,

# Recyclage & réutilisation

- Renault leader dans l'utilisation de matières plastiques recyclées (plus de 100 pièces dans Laguna ou Scenic)
- Collecte et recyclage des pots catalytiques usagés
- Recyclage de déchets métalliques en boucles courtes dans nos usines
  
- Concentration de métaux critiques dans les produits en fin de vie parfois plus élevée que dans les mines...mais difficulté de collecte en masse
- Analyse économique + Analyse de Cycle de Vie



# Remplacement - Substitution

- Câblage Aluminium en substitution au Cuivre
- **Moteurs électriques sans terres rares**  
(moteurs asynchrones à rotor bobiné, moteurs à reluctance)
- **Innovation & mise en échelle**



Source: 11 August 2011 GE announcement

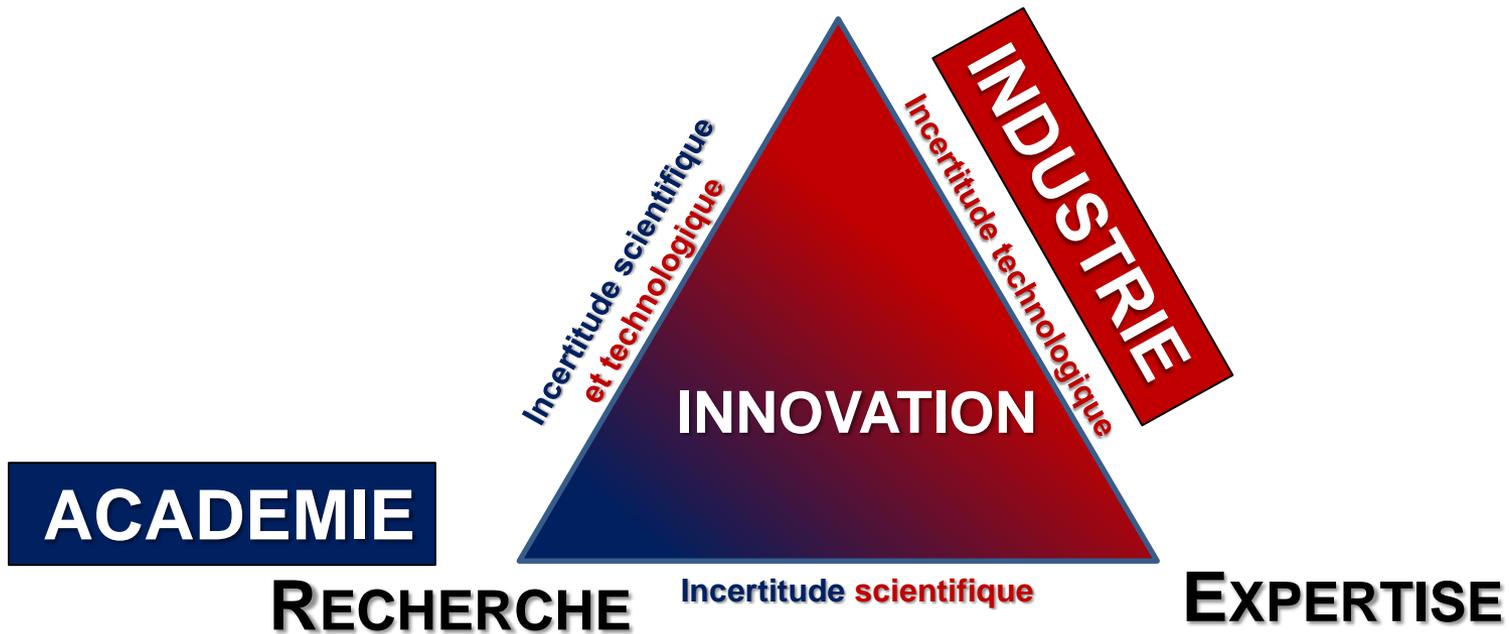


Source: 20 September 2011 Newcastle University announcement

# Innovation scientifique et technologique



**DÉVELOPPEMENT**

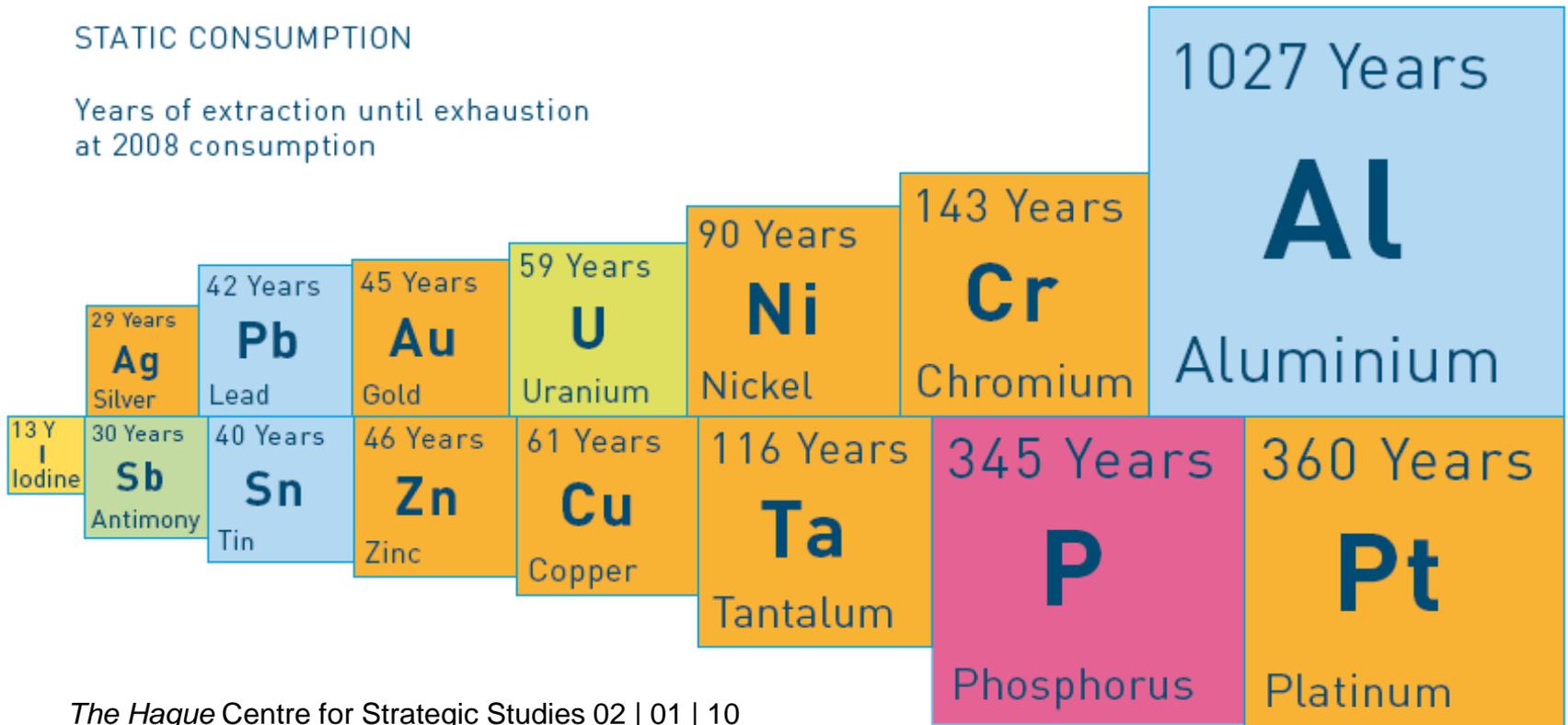


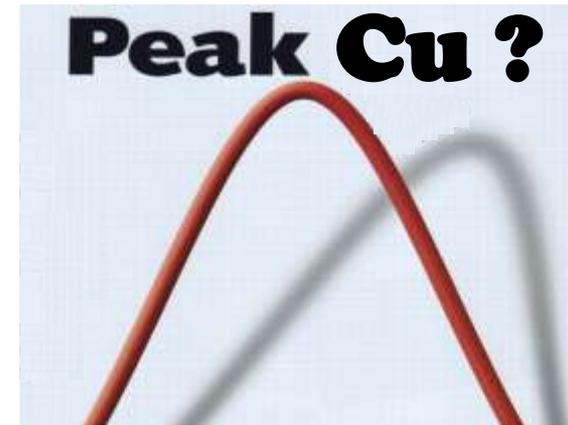
# Ressources Géologiques et Enjeux Sociétaux

- Qu'est ce qu'une Ressource ?
- Les modalités de sa formation en milieu géologique,
- Les modalités de son prélèvement dans le milieu géologique, i.e. l'exploitation et son traitement pour utilisation,
- Son utilisation par le milieu industriel (donc son utilité sociétale) et discuter de sa disponibilité ou rareté dans le milieu naturel,
- Son recyclage potentiel avec l'essor de la mine urbaine pour pallier aux difficultés d'approvisionnement de certaines ressources,
- Les enjeux économiques et géopolitiques sous-jacents,

# Epuisement de la ressource Y en aura-t-il assez ? une vraie fausse question

## Raisonnement statique





# Epuisement de la ressource Y en aura-t-il assez ?

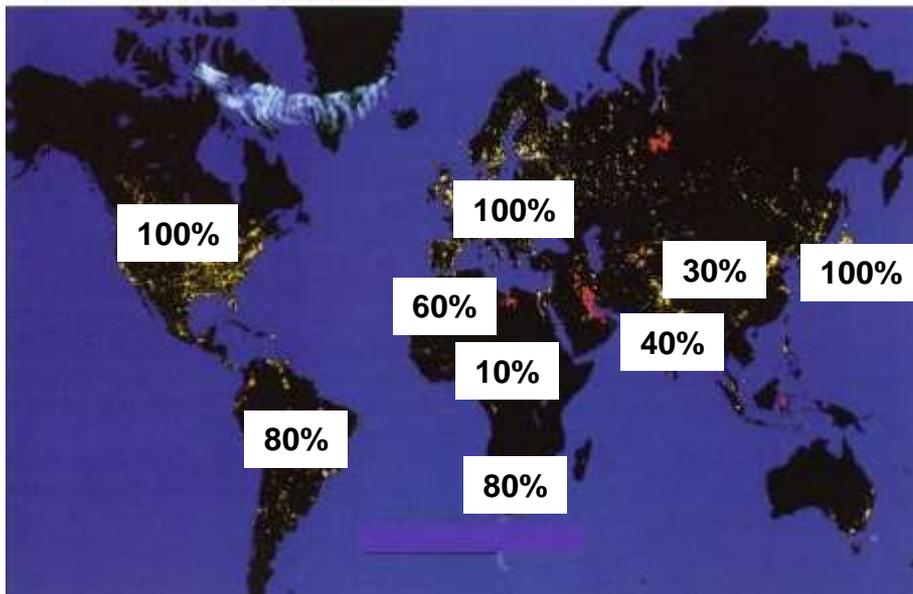
## Raisonnement dynamique – face à la croissance de la demande :

- Exploration minière (découverte de nouveaux gisements)
- Nouveaux procédés (mine & métallurgie)
  - productivité
  - Nouvelles typologies (gisements non conventionnels)
- Prix (ressources à teneurs plus basses deviennent exploitables)
- Consommation moindre et plus efficace (substitution, réduction, réutilisation)
- Recyclage
- **Démographie**

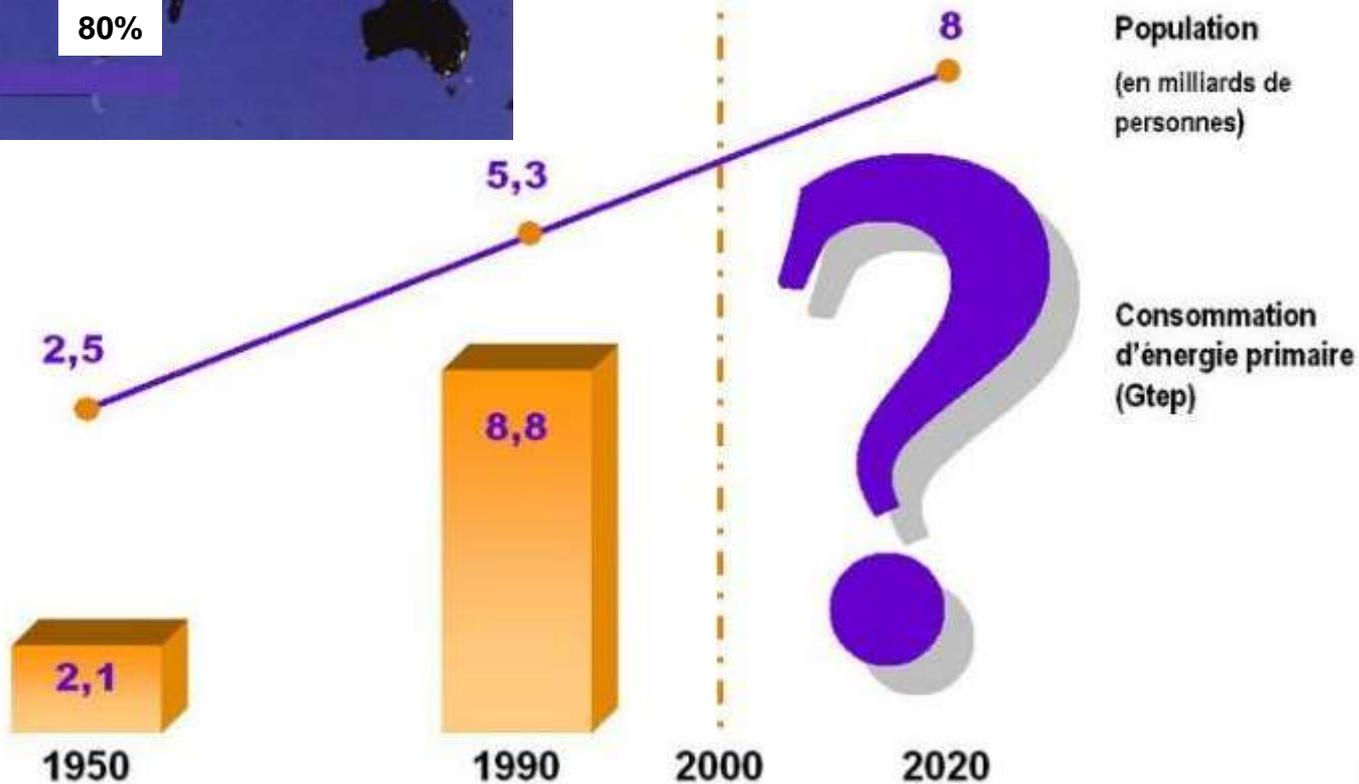
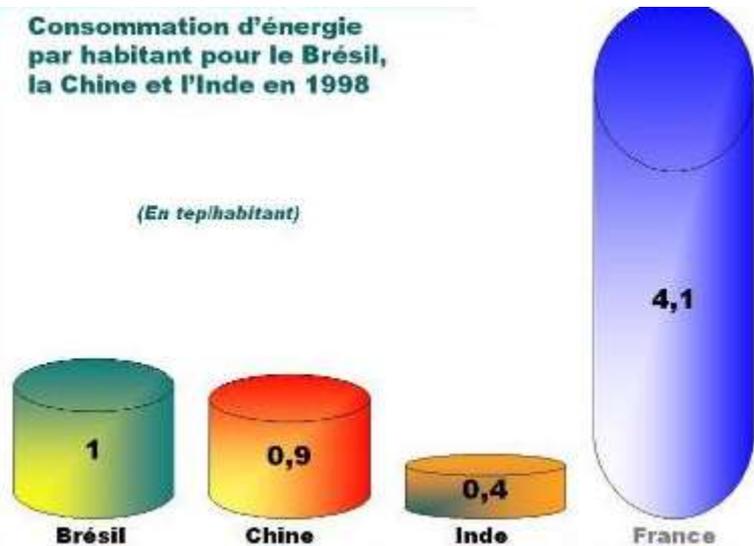
*Distinguer la problématique de l'épuisement de la ressource (« copper peak » )  
de celui de la rareté liée à des capacités insuffisantes de production*

**“ Mineral scarcity, not depletion ”**

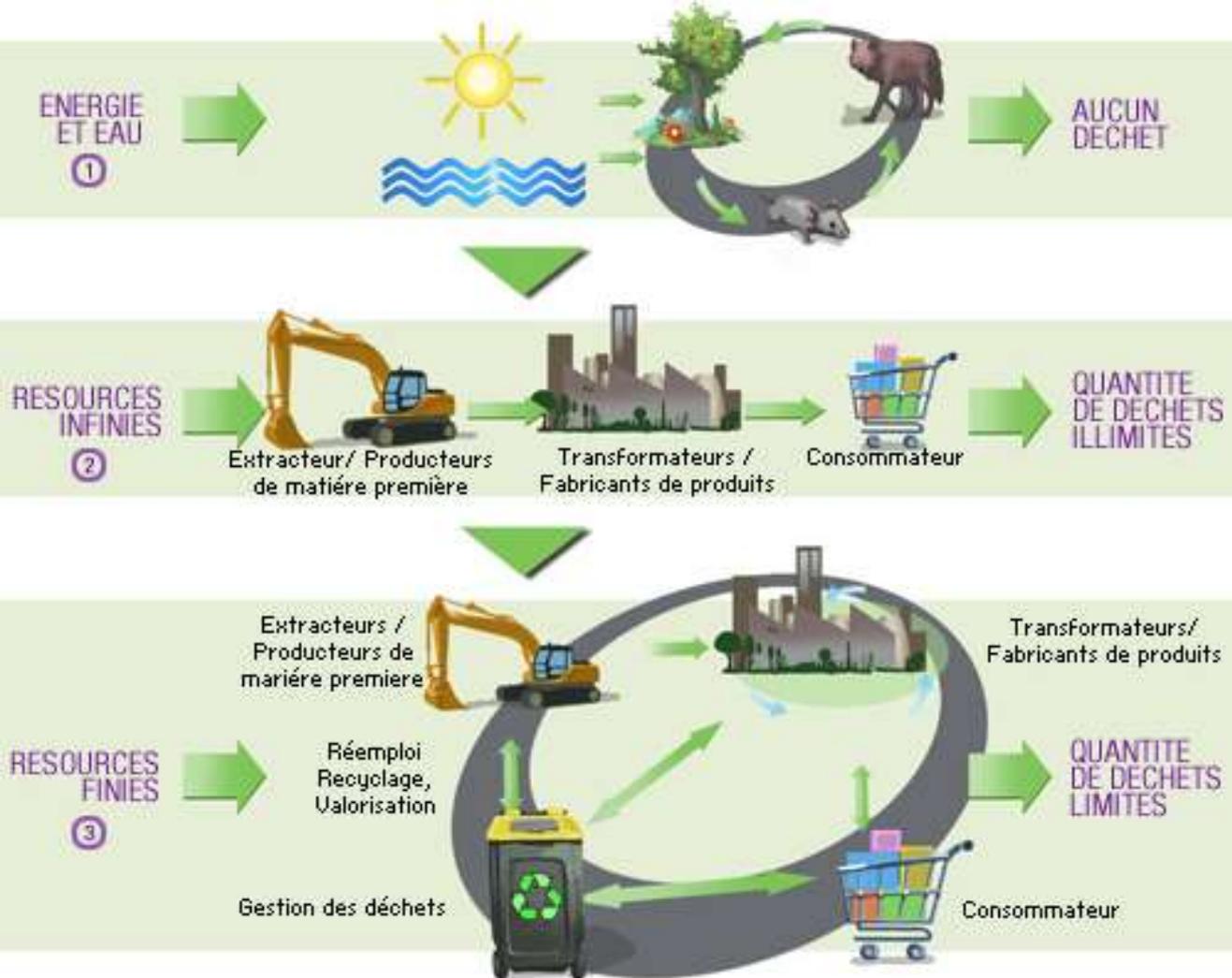
### Carte du monde, la nuit



### Consommation d'énergie par habitant pour le Brésil, la Chine et l'Inde en 1998



# ECONOMIE CIRCULAIRE



- ① Fonctionnement des écosystèmes naturels
- ② Fonctionnement linéaires des systèmes industriels "classiques"
- ③ Fonctionnement circulaires des systèmes éco-industriels

« rapprocher nos écosystèmes industriels du fonctionnement équilibré et quasi-cyclique des écosystèmes naturels ».

Il n'y a pas de problème de la **QUANTITE** de la ressource

Il y a un problème de la **QUALITE** de la ressource, les teneurs baissent régulièrement par épuisement des gisements les « plus économiques »

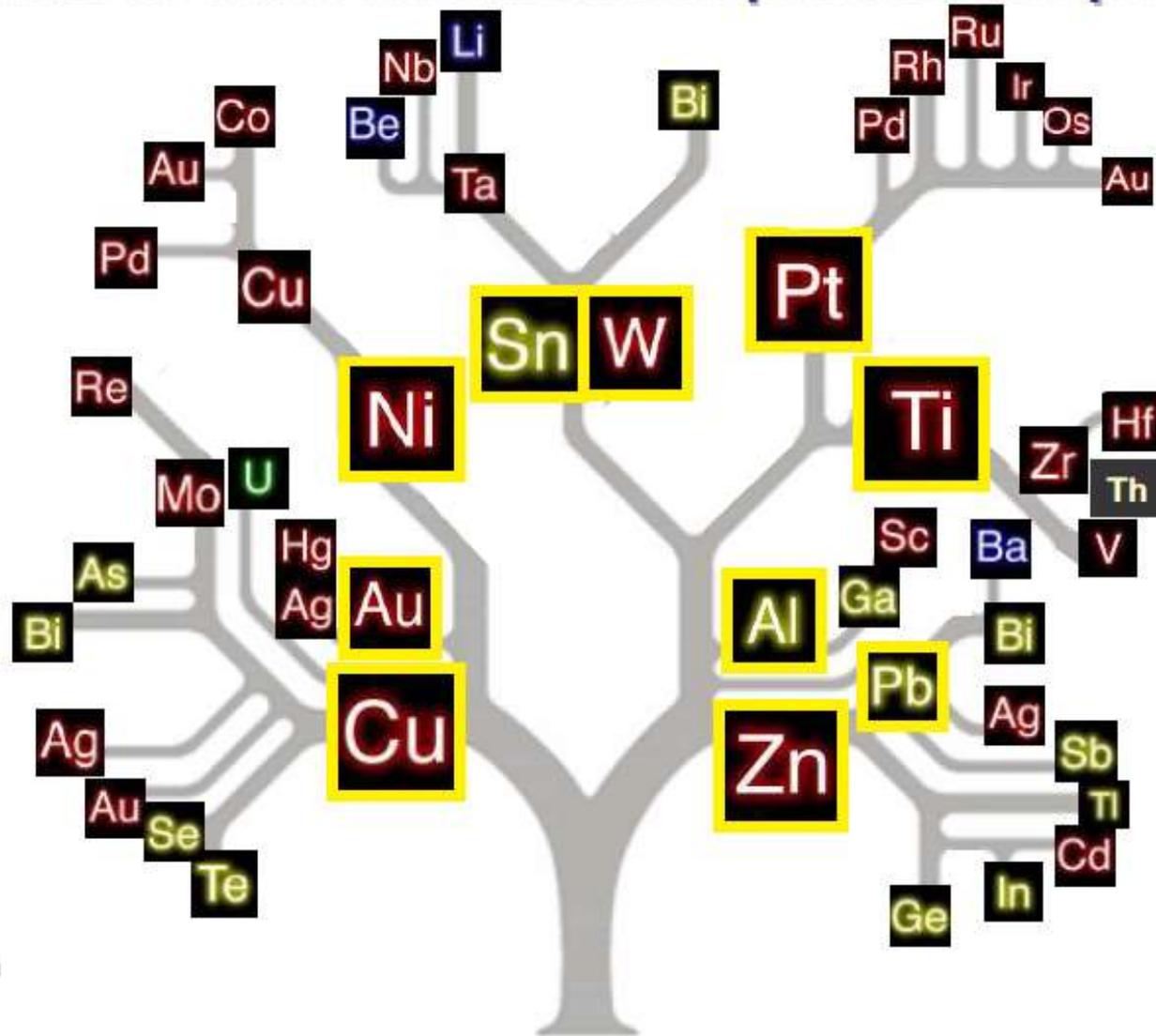
Exemple du Cu :

Fin des gisements riches	3% Cu
Fin des gisements sulfurés secondaires	1,5 % Cu
Début des sulfurés primaires ( $\pm$ Mo ou Au)	0,6% Cu

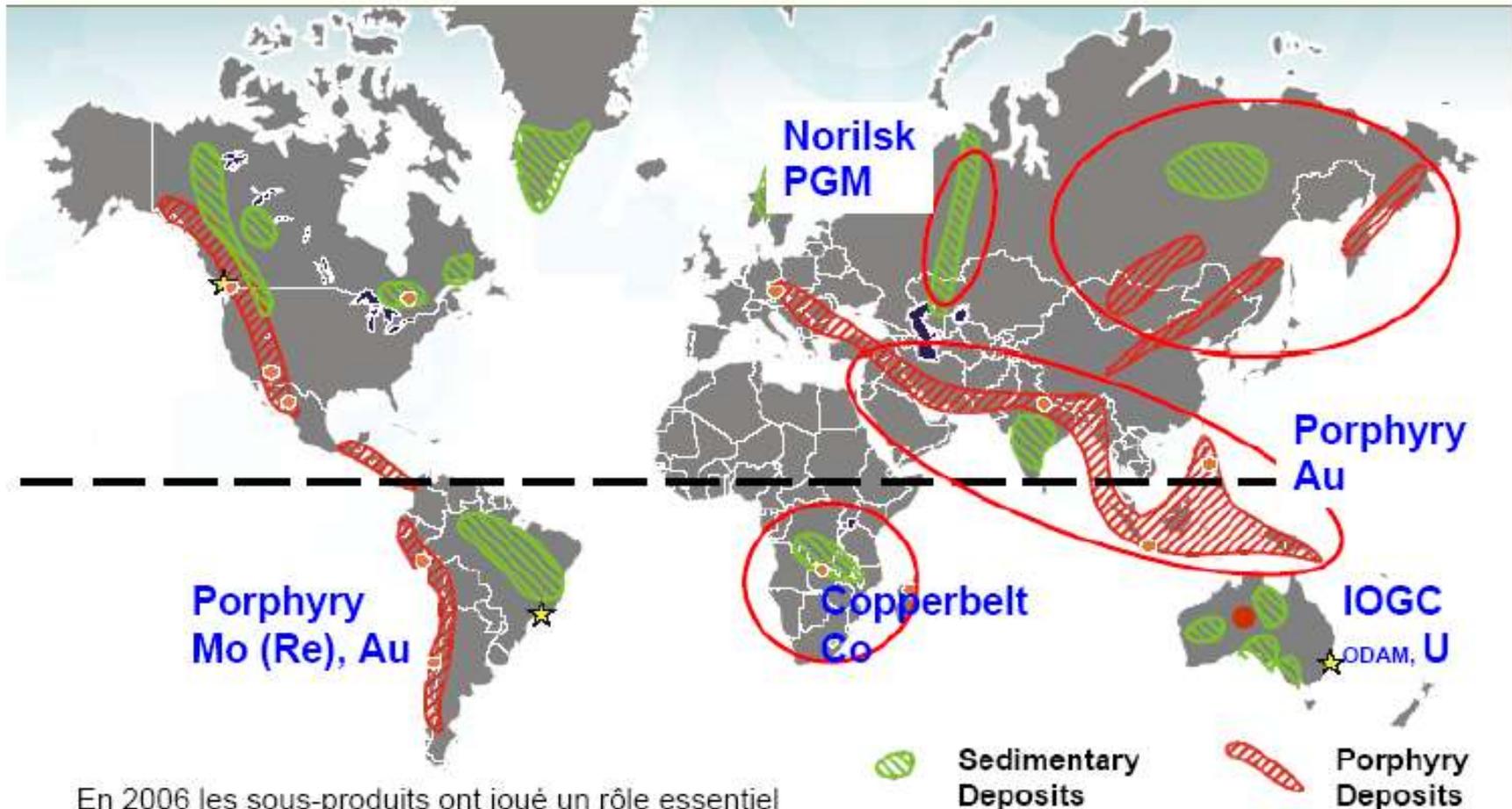
# LES SOUS-PRODUITS

Un enjeu majeur de la viabilité des nouveaux projets miniers de métaux de base

## Métaux de base et leurs sous-produits respectifs



# Avec la baisse des teneurs en Cu, les sous-produits (Au, Mo, Co, U, PGM) deviennent critiques pour l'économie des nouveaux projets



En 2006 les sous-produits ont joué un rôle essentiel dans le classement mondial des coûts de production des différentes typologies de mines de cuivre

**Le défi du 21<sup>ème</sup> siècle , ce n'est pas le risque intrinsèque de se trouver à court de ressources**

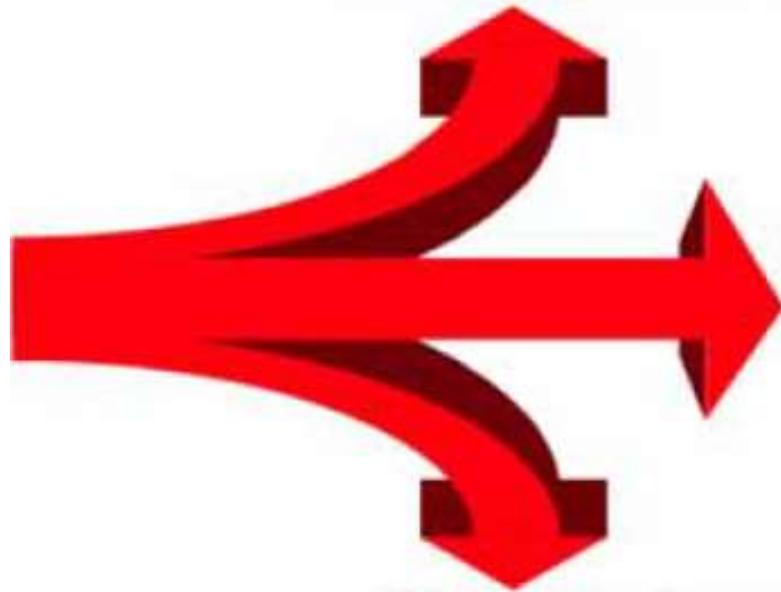
**C'est le défi de trouver et d'exploiter des gisements toujours plus profonds et toujours plus cachés**



# Les évolutions attendues dans le domaine de la Mine

## Mines à ciel ouvert

Baisse des teneurs, Mines plus grosses  
Automation, Equipements géants,



## Métallurgie

Nouveaux procédés (hydromet)

## Mines souterraines

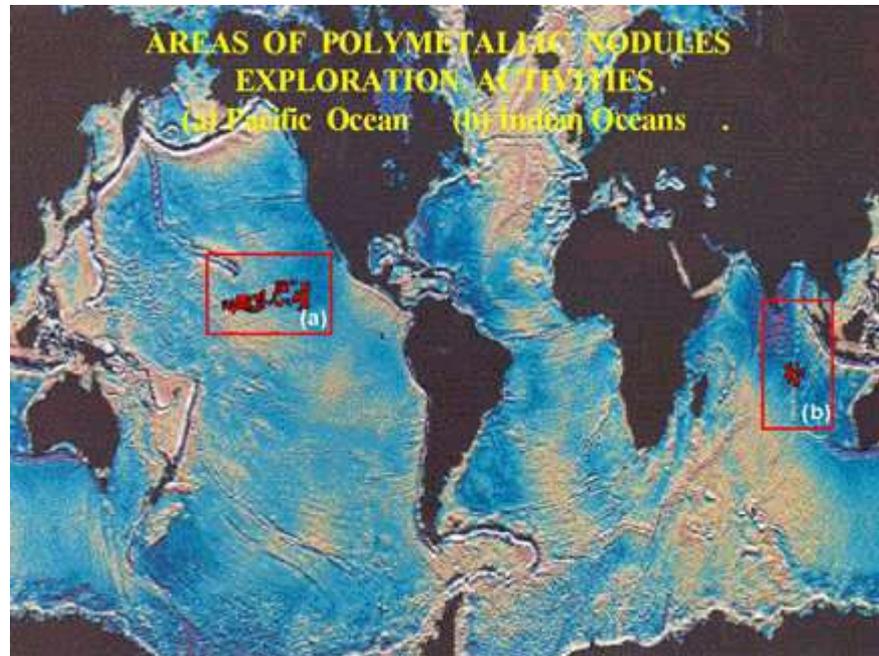
plus profondes, mass mining,  
robotisation

# Nodules polymétalliques

whole Pacific range from 70 to 1700 bt nodules

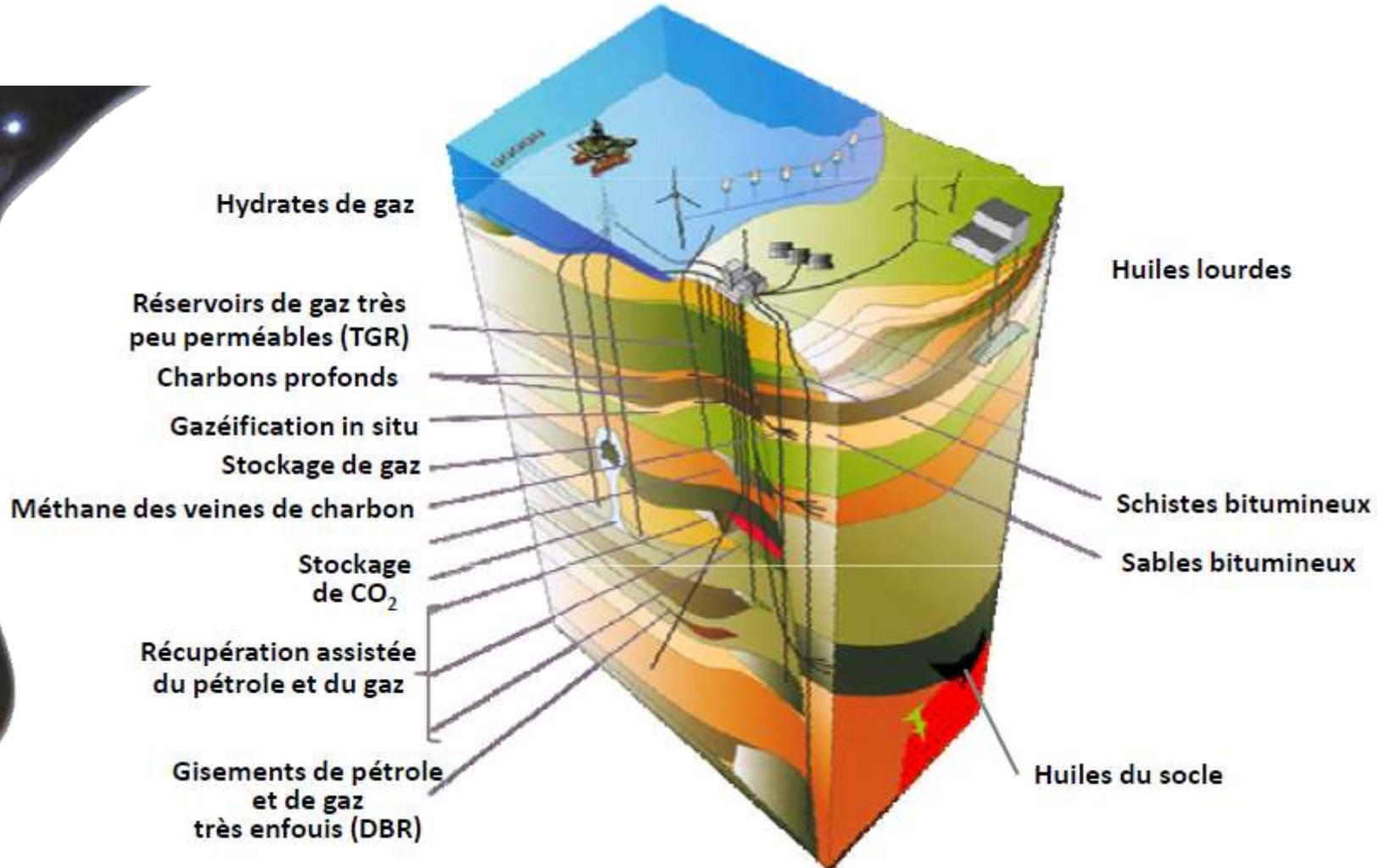


a) Clarion-  
Clipperton



b) Ninety East Ridge

# Vers des ressources carbonées non-conventionnelles



# D'où viennent les déchets radioactifs ?...

...pour 95% de la filière de la filière industrielle de l'Uranium

Exploitation minière

**MINERAI**

Résidus  
miniers  
**TFA - VL**

Minéralurgie et Métallurgie de  
l'uranium

**YELLOW CAKE (MgUO<sub>4</sub>)**

(70 à 75% de teneur en U – pauvre en <sup>235</sup>U)

Fabrication du combustible

**URANIUM ENRICHI EN 235U à 3,5%**

U non  
extrait  
**TFA - VL**

U appauvri

P° de 1T d'U enrichi => 5T d'U  
appauvri

**FA - VL**



Utilisation du combustible

Réacteur nucléaire

Déchets technologiques

**FA et MA – VC**

Déchets technologiques et  
combustible utilisé

**MA et HA - VL**



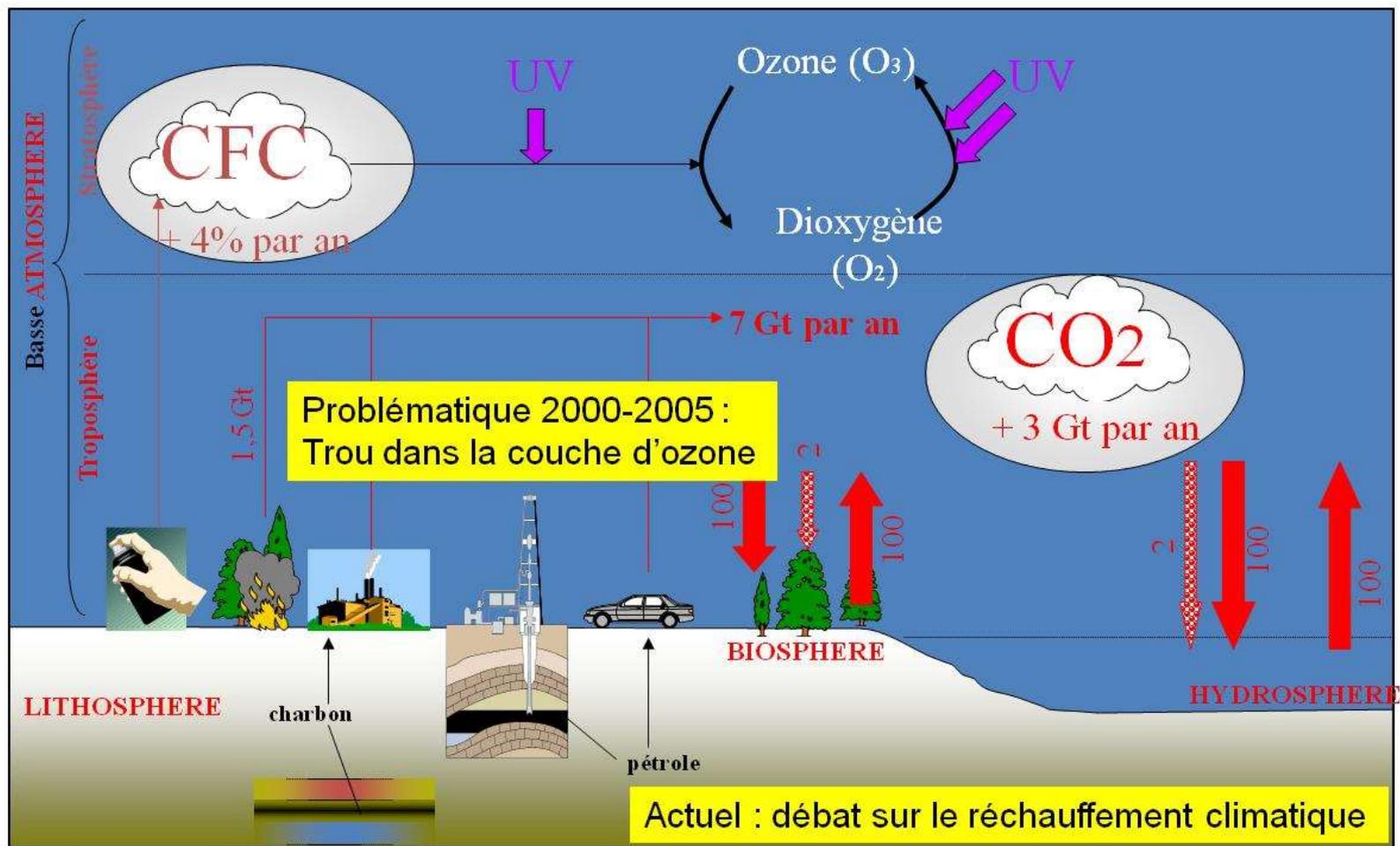
Retraitement du combustible utilisé

Déchets technologiques et  
combustible utilisé non retraité

**HA - VL**

# Les activités humaines perturbent des équilibres :

« trou dans la couche d'ozone » de la stratosphère « effet de serre » de la troposphère



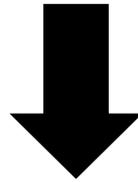
Connaissance et éléments pour faire un choix

## La séquestration géologique du CO<sub>2</sub> anthropique

Isabelle Martinez (MCU Paris Diderot – IPGP) François Baudin – PU, UMC

**Pour l'ensemble des besoins - ressources**

**Politique** d'innovation



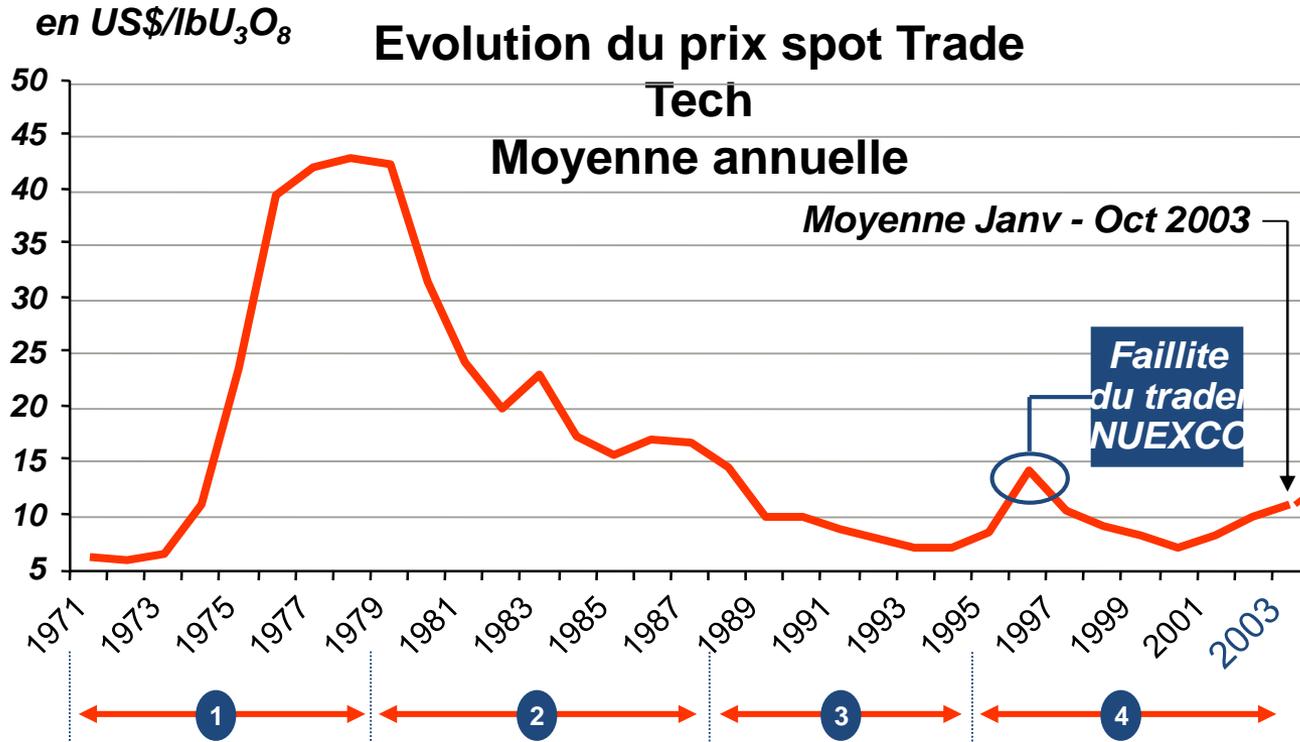
**Solutions scientifiques et techniques**

**E**

**Soleil et vent non taxés**

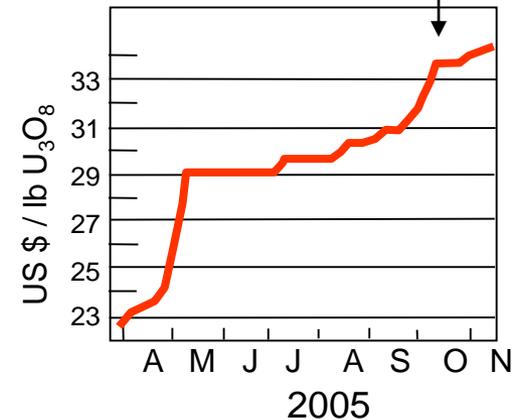
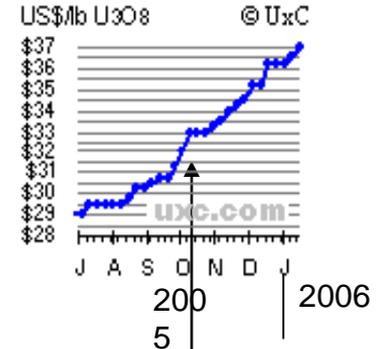
1 années d'exposition solaire = 1 000 ans de  
notre consommation en E mondiale actuelle

# Influence de la politique mondiale sur les cours des matières premières

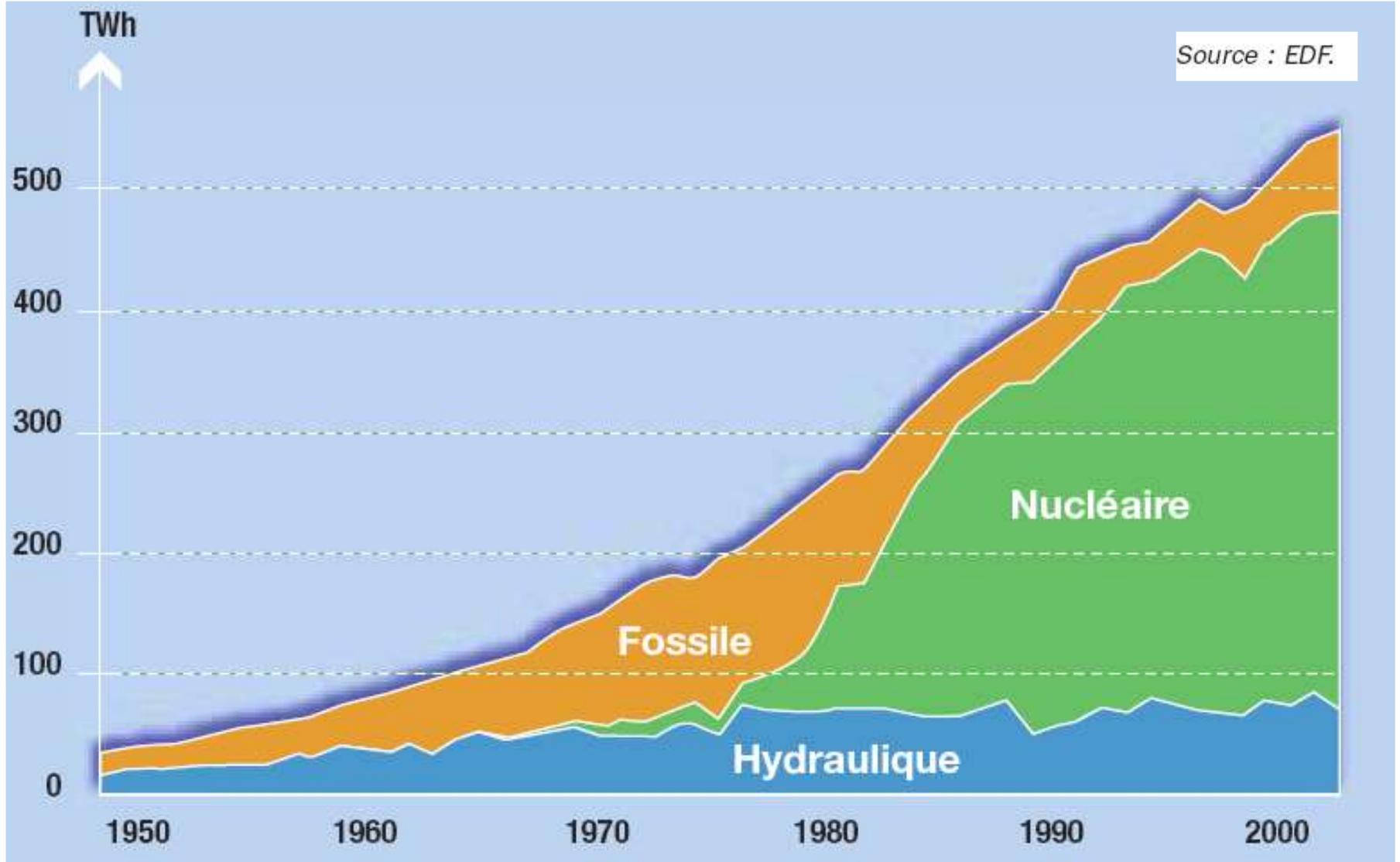


- ① Chocs pétroliers
- ② Incident Three Mile Island (US) : remise en cause globale du nucléaire
- ③ Arrivée des matières de l'Est
- ④ Phase de stabilisation

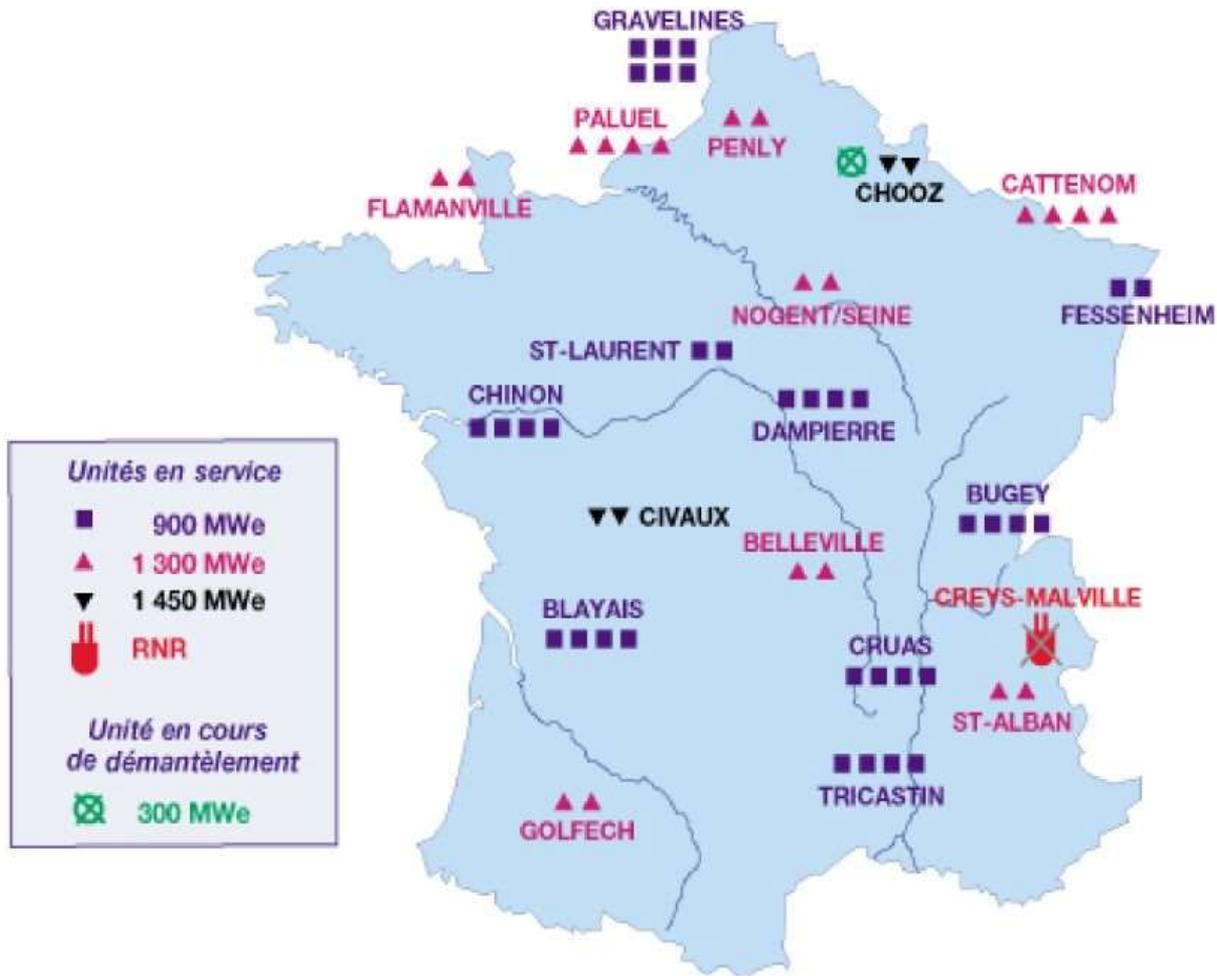
38,25 US\$/lb  
U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (20 fév. 2006)



# Evolution de la production d'électricité France



# Réacteurs Nucléaires construits après le 1<sup>er</sup> choc pétrolier



# Acceptabilité sociale

L'HEBDO 24/10/2012 | 11H18



**En Pennsylvanie, chez les damnés de la révolution des gaz de schiste**

33900 VISITES | 222 RÉACTIONS | ● 20

L'HEBDO 24/10/2012 | 11H09

**Gaz de schiste : « Les Etats-Unis vivent une révolution »**

1076 VISITES | 0 RÉACTIONS | ● 0

ZAPNET 06/10/2012 | 23H22



**Etats-Unis : le business de l'eau autour de la fracturation hydraulique**

4374 VISITES | 20 RÉACTIONS | ● 4

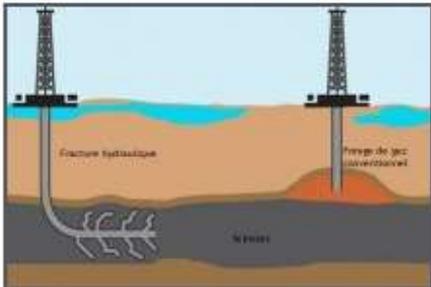
EXPÉRIMENTATIONS 14/09/2012 | 11H34



**Gaz de schiste : la France reste seule contre tous**

11155 VISITES | 190 RÉACTIONS | ● 5

21/08/2012 | 11H31



**Comprendre la fracturation hydraulique**

7521 VISITES | 7 RÉACTIONS | ● 0

INFLUENCES 20/08/2012 | 12H51



**Gaz de schiste : comment Total & Co travaillent l'opinion**

42098 VISITES | 275 RÉACTIONS | ● 18



# ORAUX de CAPES

## Les applications des Sciences de la Terre

### **CAPES leçons 2006**

La gestion des réserves énergétiques chez l'Homme - Le pétrole: gisements, origine, exploitation - Les bassins houillers français - Les matériaux géologiques entrant dans la construction d'une maison - Les ressources minérales en contexte sédimentaire - Les substances minérales utiles à l'Homme

### **CAPES leçons 2007**

Géologie des substances utiles (2) - Géologie des combustibles fossiles (1) - Géologie des eaux souterraines (4) - Le pétrole : gisement, origine, exploitation (1)

### **CAPES leçons 2008**

Les matériaux géologiques entrant dans la construction d'une maison - Le pétrole: gisements, origine, exploitation - Les gisements de charbons - Géologie des substances utiles

### **CAPES leçons 2009**

Géologie des substances utiles - Les gisements de charbons - Les matériaux géologiques entrant dans la construction d'une maison - Le pétrole: gisements, origine, exploitation - Les gisements de charbons

### **AGREGATION SVT leçons de contre option 2006**

Les ressources énergétiques du sous-sol - Les ressources énergétiques fossiles

### **AGREGATION SVT leçon de contre-option 2007**

Les nappes d'eau souterraine : ressources en eau, sources d'énergie - Les ressources énergétiques du sous-sol - Les ressources énergétiques fossiles - Utilisation des roches dans la construction

### **AGREGATION SVT leçon de contre-option 2008**

Les ressources énergétiques du sous-sol - Les nappes d'eau souterraines : ressources en eau, sources d'énergie - Les ressources énergétiques fossiles - Utilisation des roches dans la construction

# **Futur des ressources dans les programmes scolaires ?**

**Ressources énergétiques**

**Eau**

**Matériau**



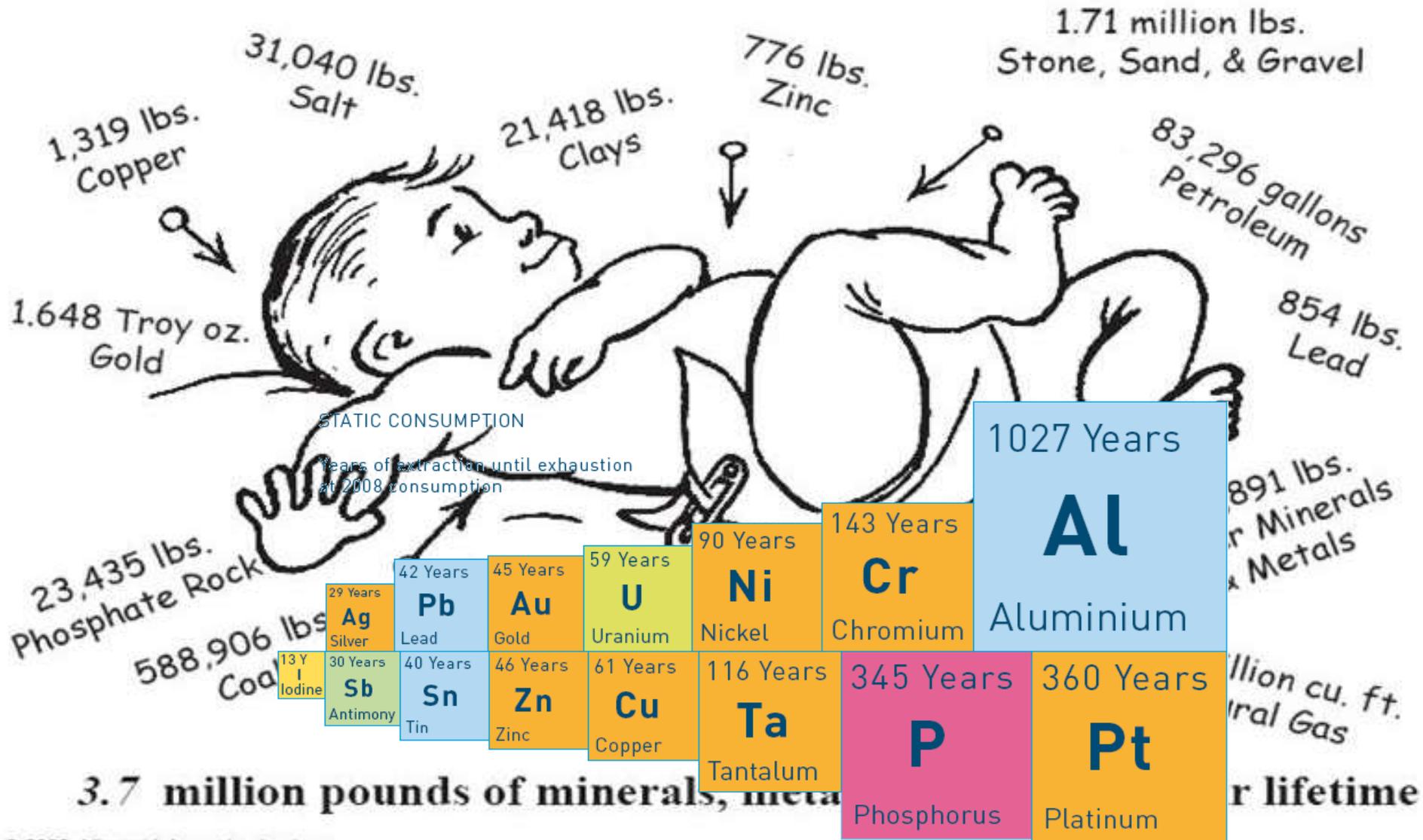
La problématique **Ressources** est multifactorielle avec une évolution fortement dépendant de la société

**Difficulté d'un enseignement disciplinaire lié à un programme**

**Outil pédagogique à cibler  
TPE et sorties géologiques**

Samuel Péron – Prof. SVT - Dr sciences de la Terre

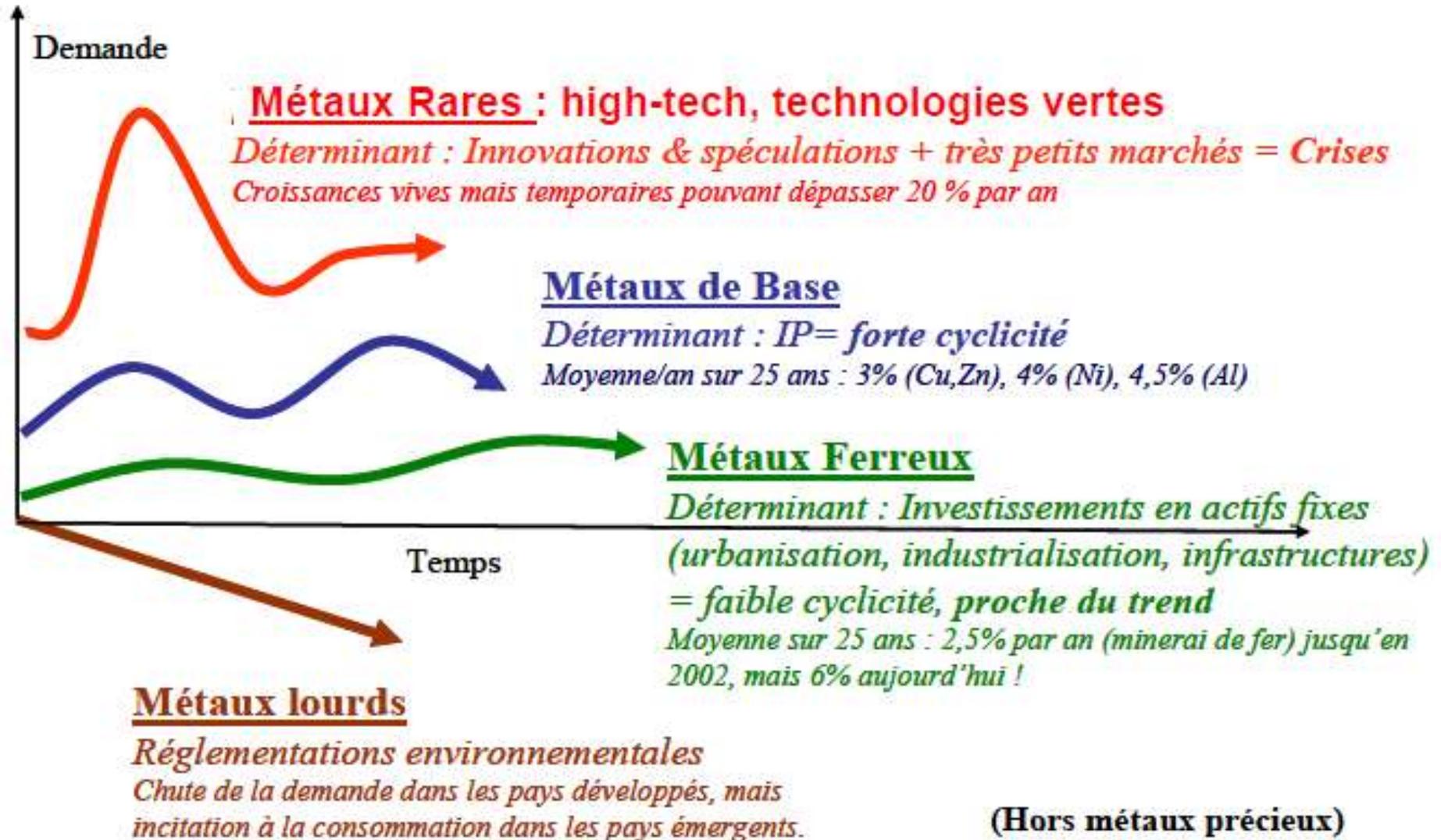
# Merci de votre attention





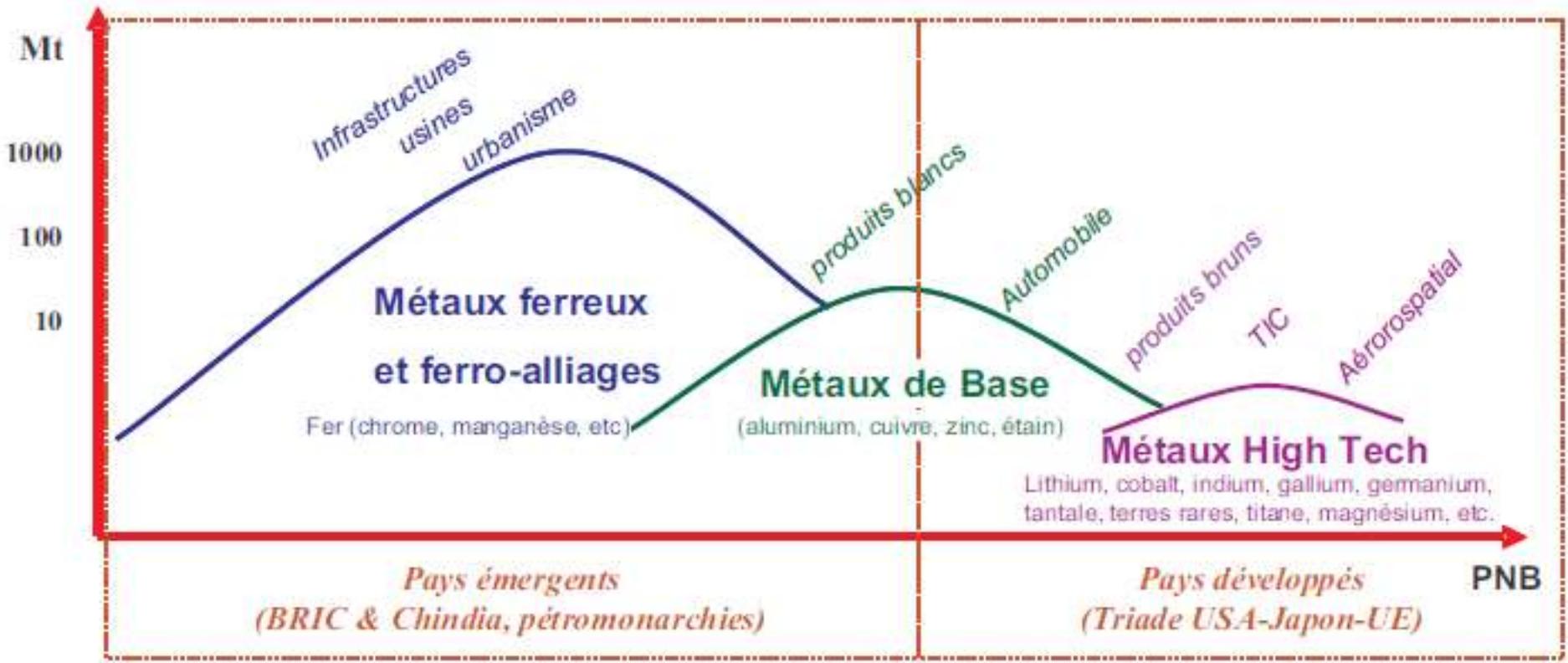
# Classification économique des métaux

(dans un cycle classique)



# La nature et la quantité des métaux consommés est fonction du stade de développement des pays considérés

Découplage entre pays émergents et émergés



# Rare Metals : new products and price crisis

## Major crisis are predicable



**Connaissance scientifique et technologique**

**Acceptabilité sociale**

**Economie (énergie !)**

# CALCAIRE

## Matériaux bruts

Granulats

### Construction

Bâtiment

Routes et Génie Civil

Un logement demande de 100 à 300 tonnes de granulats. Un lycée demande de 2000 à 4000 tonnes de granulats et un kilomètre d'autoroute environ 30 000 t.

En France on consomme environ 7 tonnes de granulats par personne et par an



Pour une tonne de verre il faut 700kg de sable ( $\text{SiO}_2$ ), 300 kg de **calcaire** et 130 kg de soude

Pour une tonne d'acier il faut 150kg de **calcaire** et 50 kg de chaux.

Pour une tonne de soude il faut 1300 kg de **calcaire**.

## Métallurgie et verrerie

Un  $\text{m}^3$  d'eau potable demande de 50 à 200 grammes de chaux (précipitation des métaux lourds et floculation des boues).

## Environnement

Le **carbonate de calcium** est un composant essentiel de la fabrication du dentifrice.

Il faut 20 kg de **calcaire** pour fabriquer 100 kg de sucre.

## Agro-alimentaire

**Chaux** dans les Tacos mexicains pour équilibrer l'acidité des condiments fortement épicés

Une tonne de papier contient 250 à 300 kg de **calcaire** pour faire en particulier la couche de finition.

Les PVC et le caoutchouc constituent les principaux marchés pour le **carbonate de calcium**. Les PVC en contiennent de 17 à 40% et de 40 à 80% dans les dalles de sols.

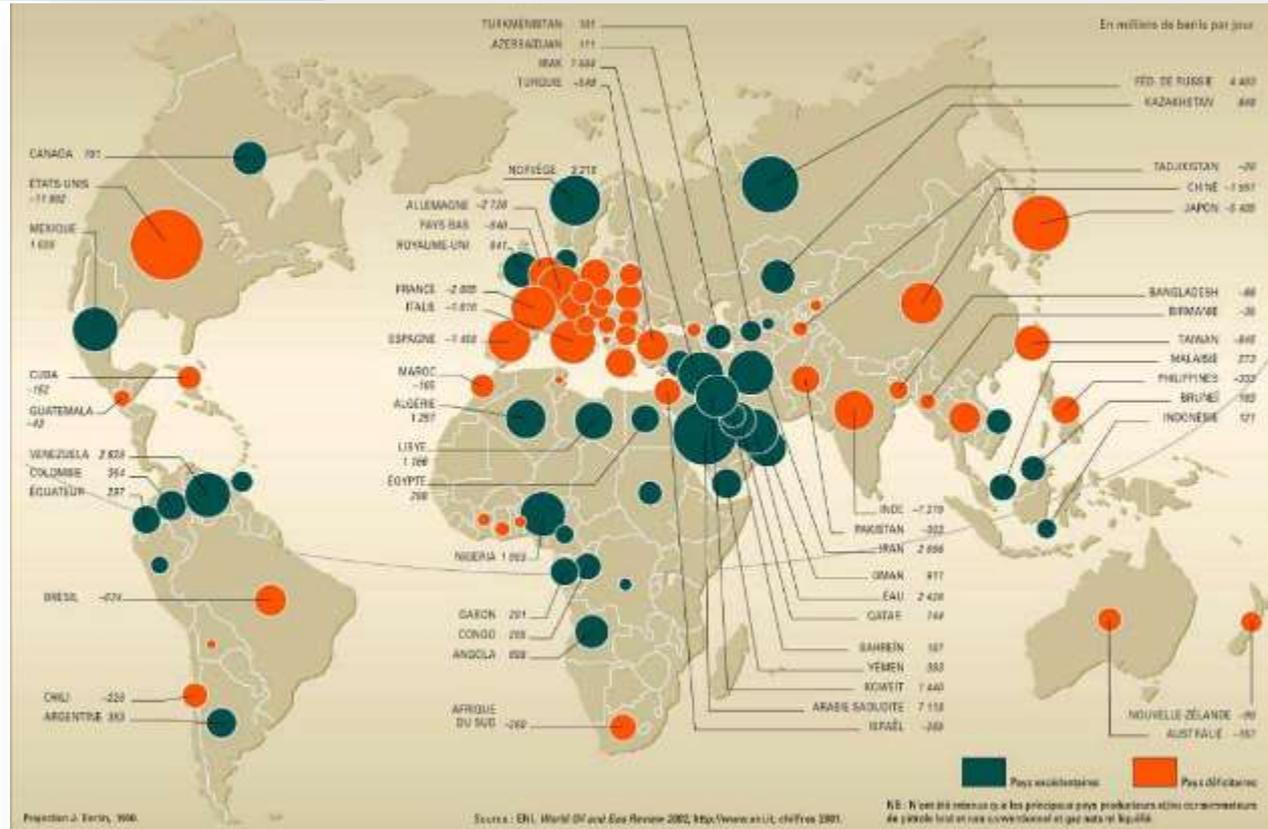
Les peintures renferment de 10 à 40% de **carbonates**.

## Charges



# Acceptabilité économique

## Solde production-consumption



# DE LA BIOMASSE AUX COMBUSTIBLES FOSSILES : UNE LONGUE HISTOIRE ...

**François Baudin**

([francois.baudin@upmc.fr](mailto:francois.baudin@upmc.fr))

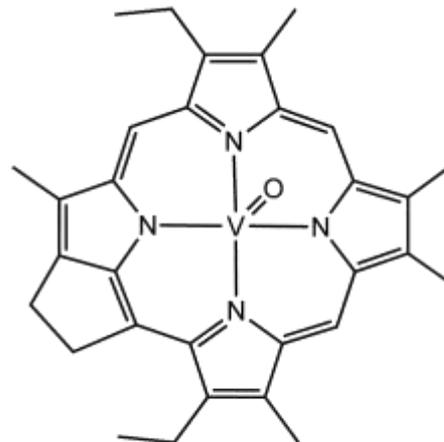
# LES COMBUSTIBLES FOSSILES ONT UNE ORIGINE BIOLOGIQUE

Incontestée pour les charbons -> restes végétaux

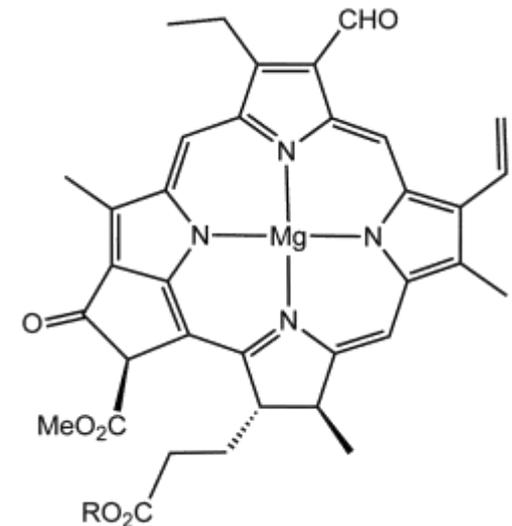
Contestée pour les pétroles ... HC dans les météorites, dans le manteau, etc.

MAIS prouvée par :

- 1) abondance de C, H, O, N comme dans le vivant
  - 2) rapports isotopiques du C et O
  - 3) similitudes entre porphyrines et chlorophylle (A. Treibs, 1936)
  - 4) autres « biomarqueurs » = fossiles géochimiques
  - 5) propriétés optiques
- etc.

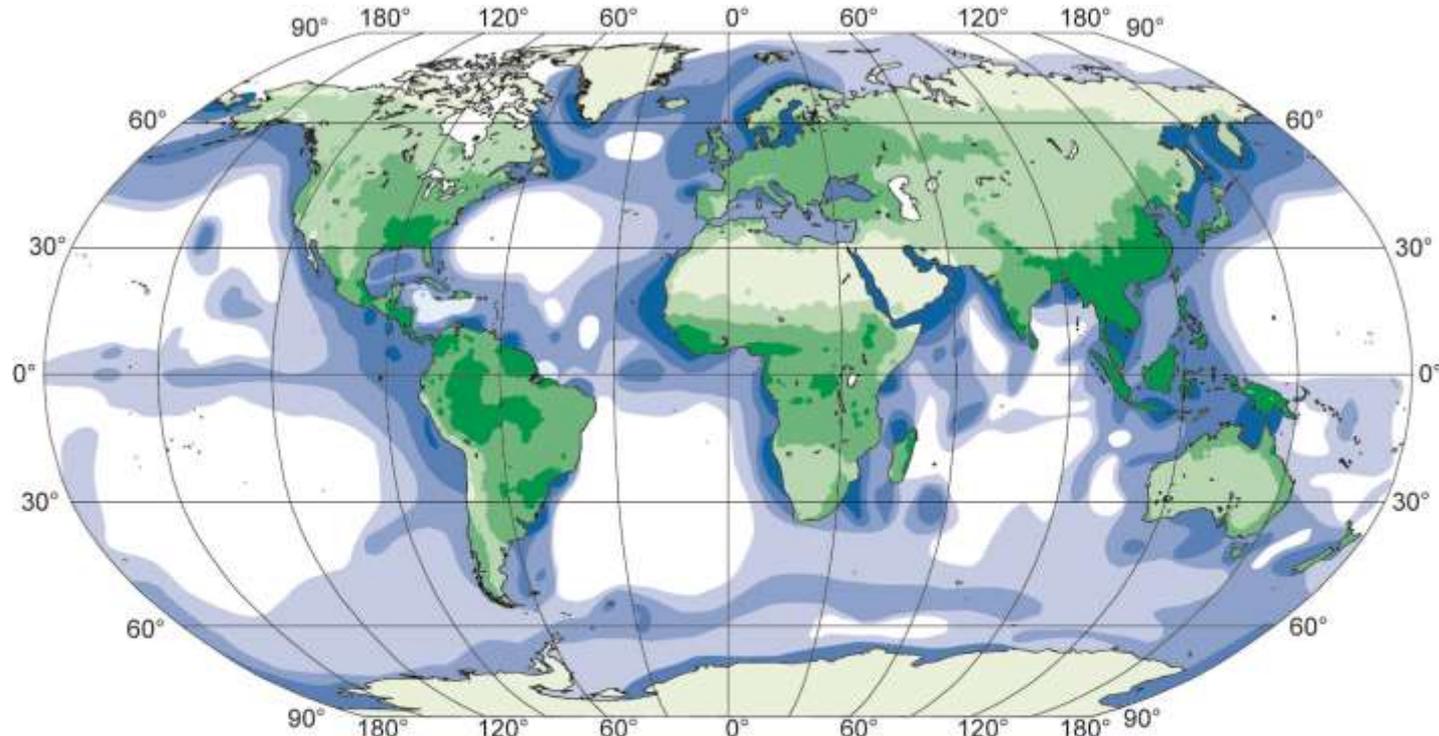


porphyrine



chlorophylle

# PRODUCTION PRIMAIRE DE MO = $\sim 10^{11}$ t Corg. an<sup>-1</sup>



Productivité primaire de l'océan global

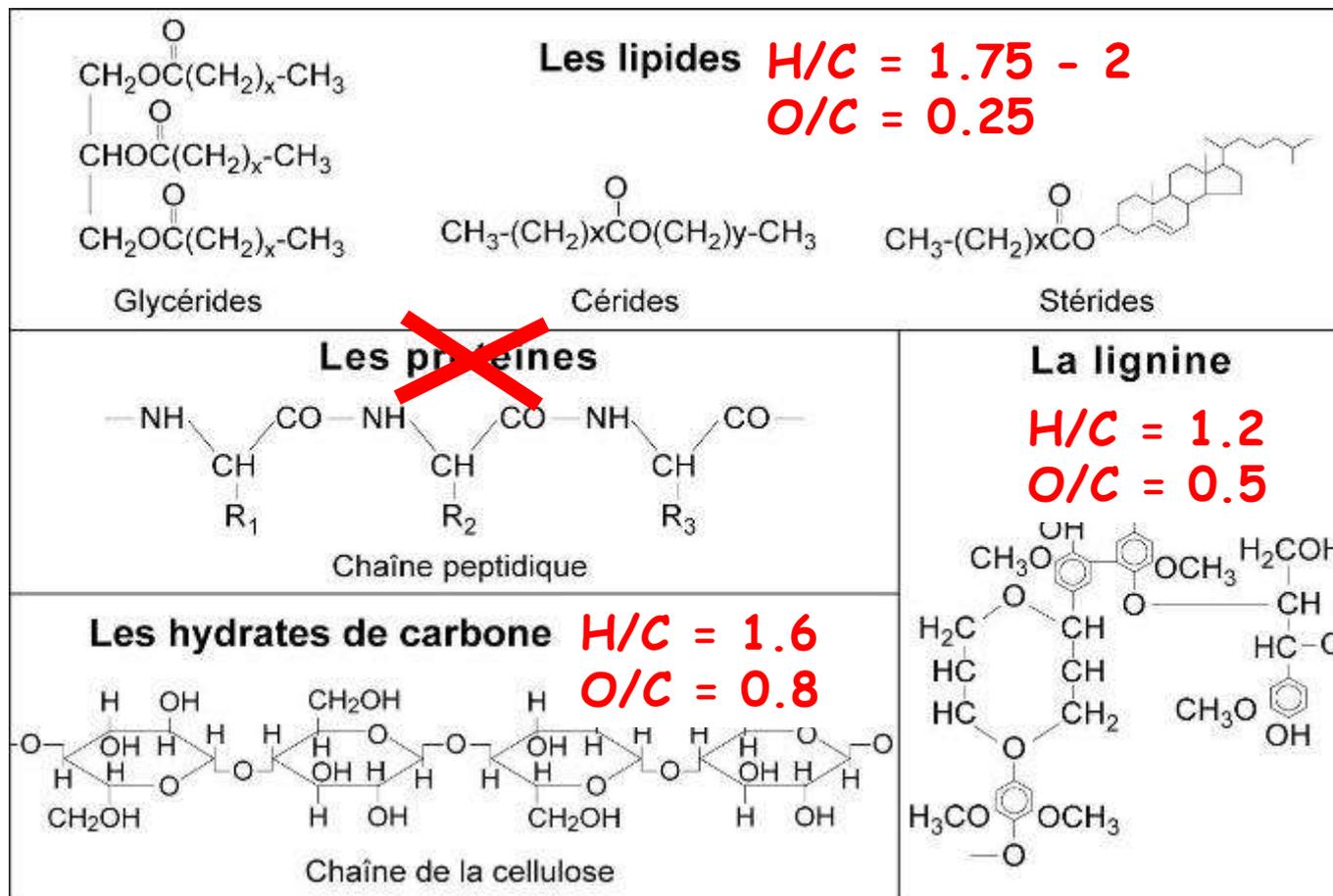


Productivité primaire nette sur les terres émergées



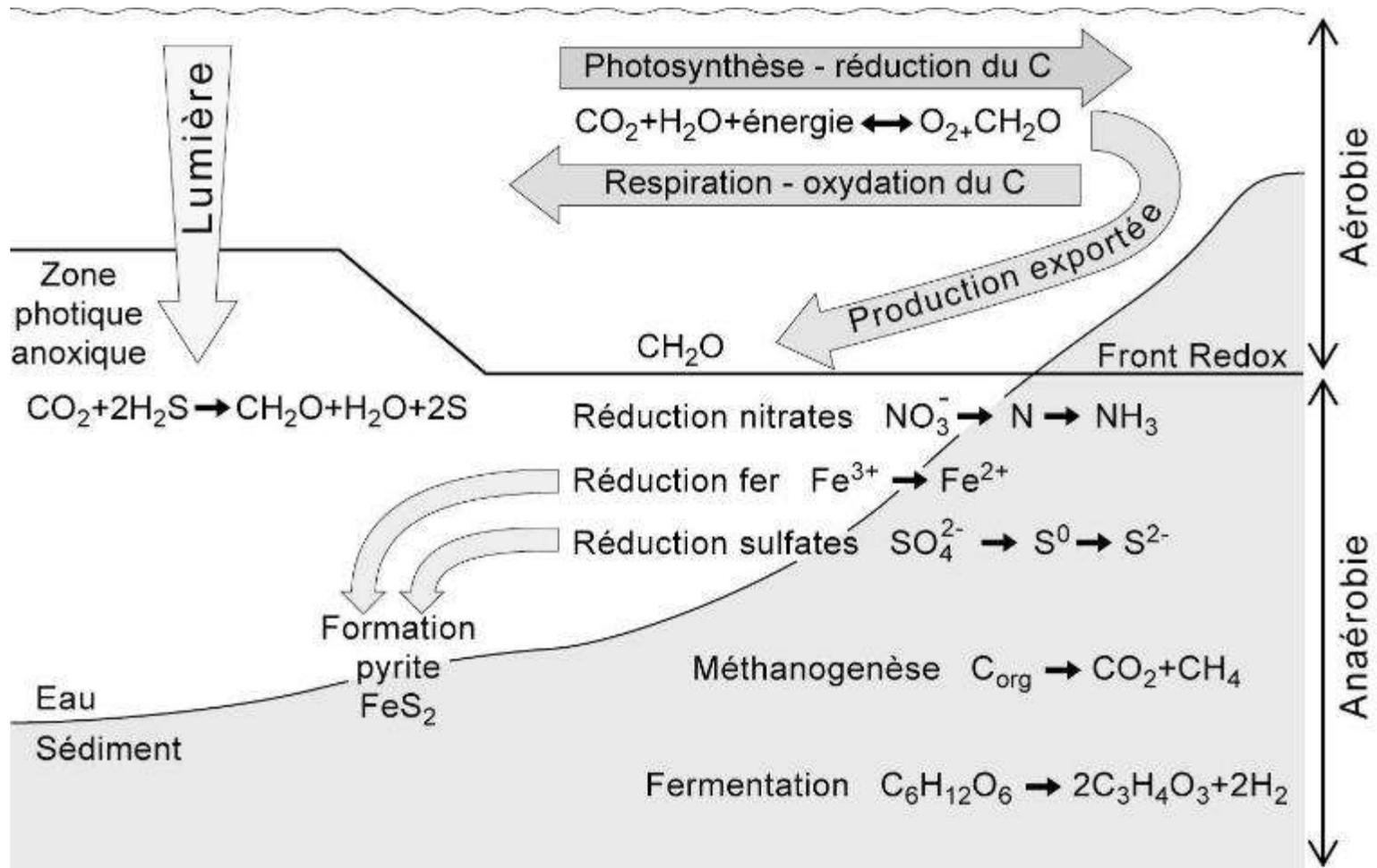
- **Equi-répartie en masse (pas par m<sup>2</sup>) entre continents et océans**
- **Contrôle climatique à terre. Disponibilité des nutriments + climat en mer**
- **Quantité biomasse bactérienne très mal connue ...**

# COMPOSITION CHIMIQUE DES MOLECULES ORGANIQUES



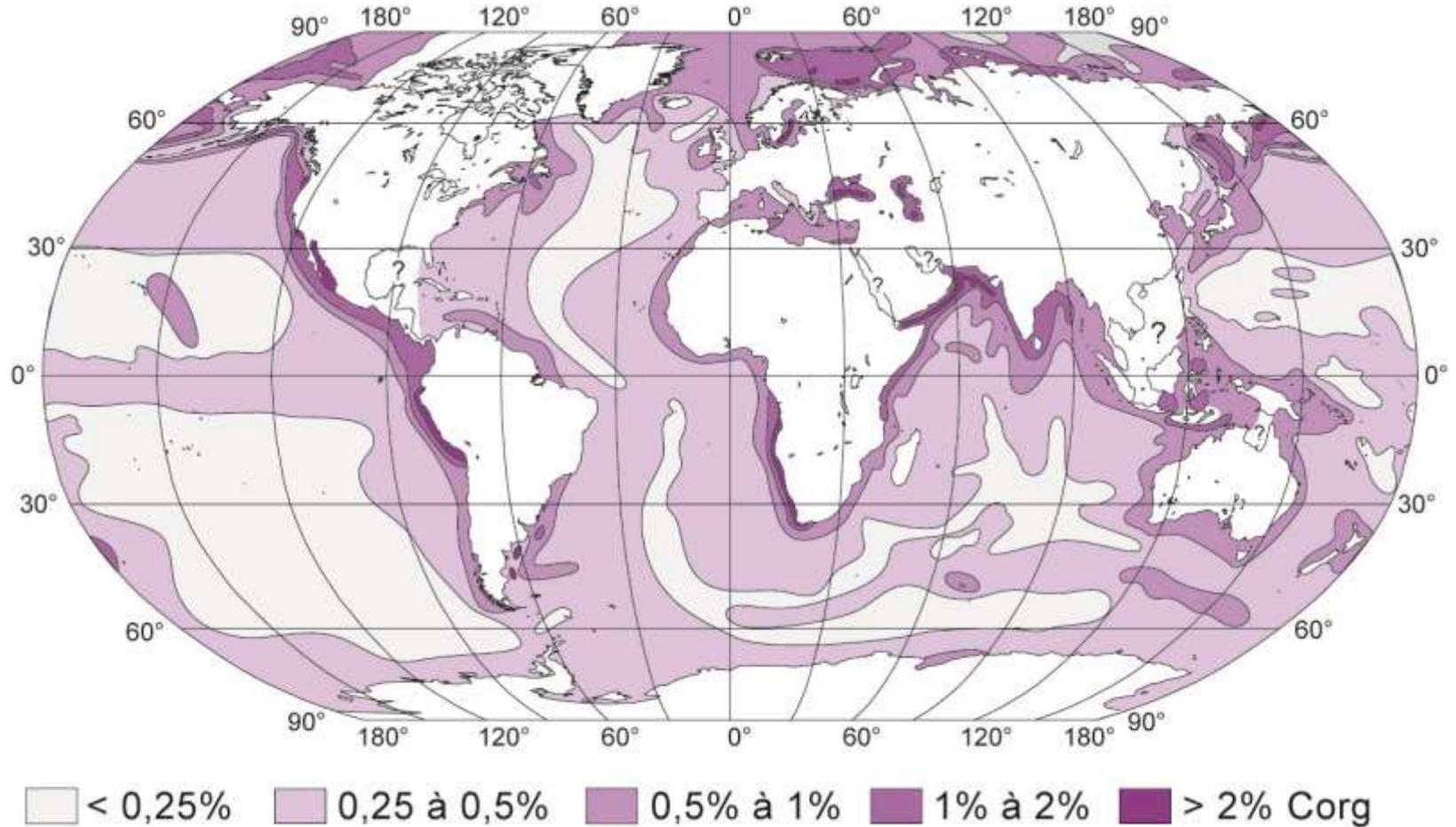
- Evolution de la vie ... évolution de la chimie de la MO (apparition plantes sup.)
- Rapports H/C et O/C très variables

# INTENSE DEGRADATION DE LA MATIERE ORGANIQUE



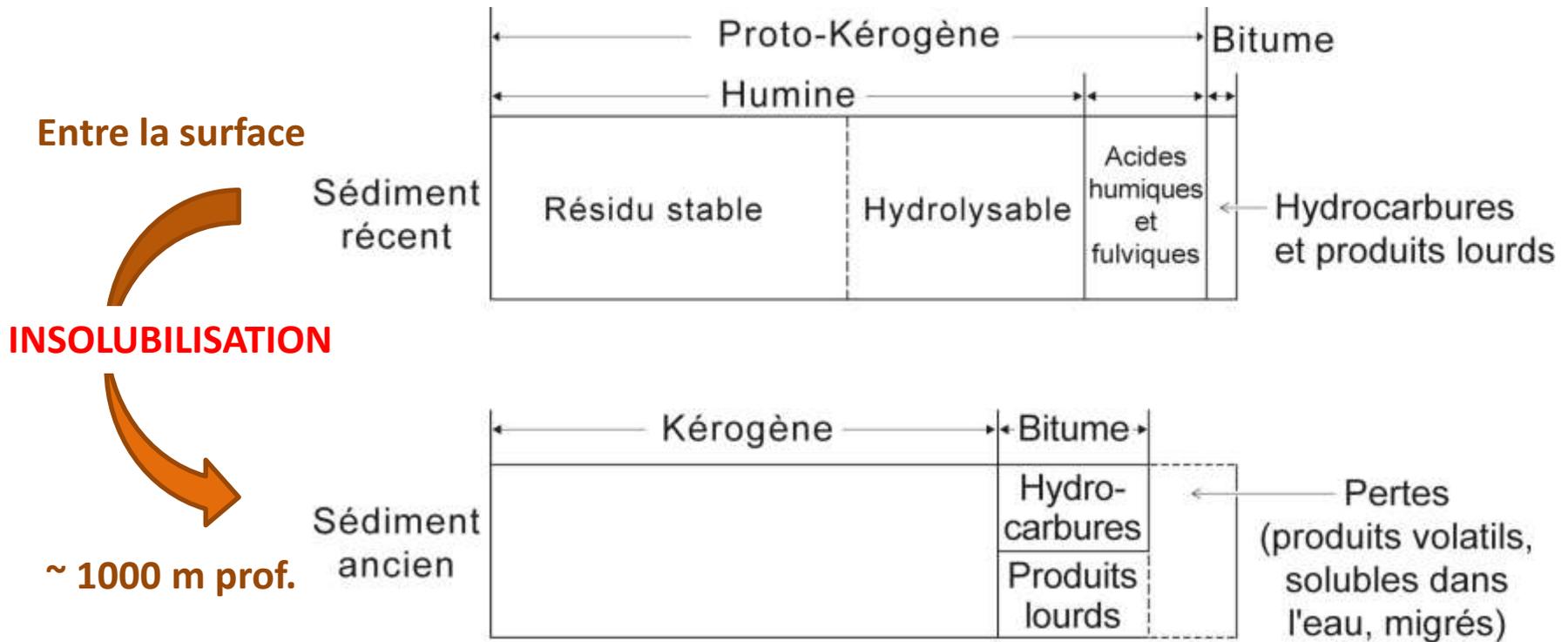
- Fonction de la réactivité des molécules ... préservation sélective
- << 1% de la production primaire est finalement préservée
- Production de  $\text{CH}_4$  : gaz biogénique

# RICHESSSE EN MO DES SEDIMENTS MARINS



- % Corg très rarement > 0,5%
- Zone de haute productivité (upwelling) ou bassins fermés (Mer Noire)
- Très faible potentiel de fossilisation à terre ... sauf tourbières (~ 50% Corg)

# TRANSFORMATION EN KEROGENE



## Processus physiques/chimiques

- Adsorption sur minéraux (argiles)
- Encapsulation
- Molécules intrinsèquement résistantes
- Polymérisation/recondensation
- Sulfuration naturelle

# TYPES DE KEROGENES

## Analyse élémentaire

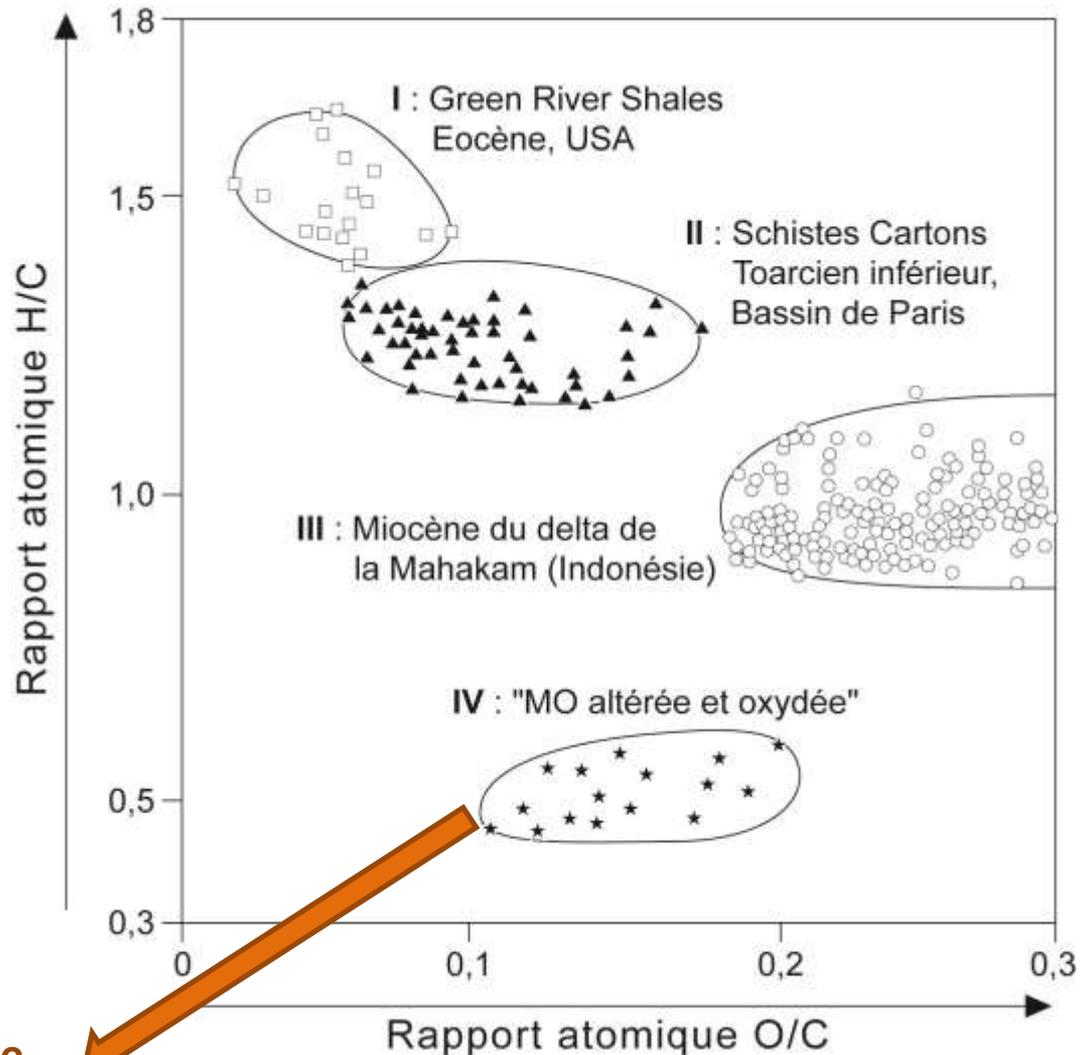
- C : 50 à 95% (moyenne 75%)
- H : 1 à 10% (moyenne 5%)
- O : 5 à 25% (moyenne 10%)
- N
- S
- + traces d'autres éléments (Va, Mo, Cu, Cr, ...)

## Rapports atomiques

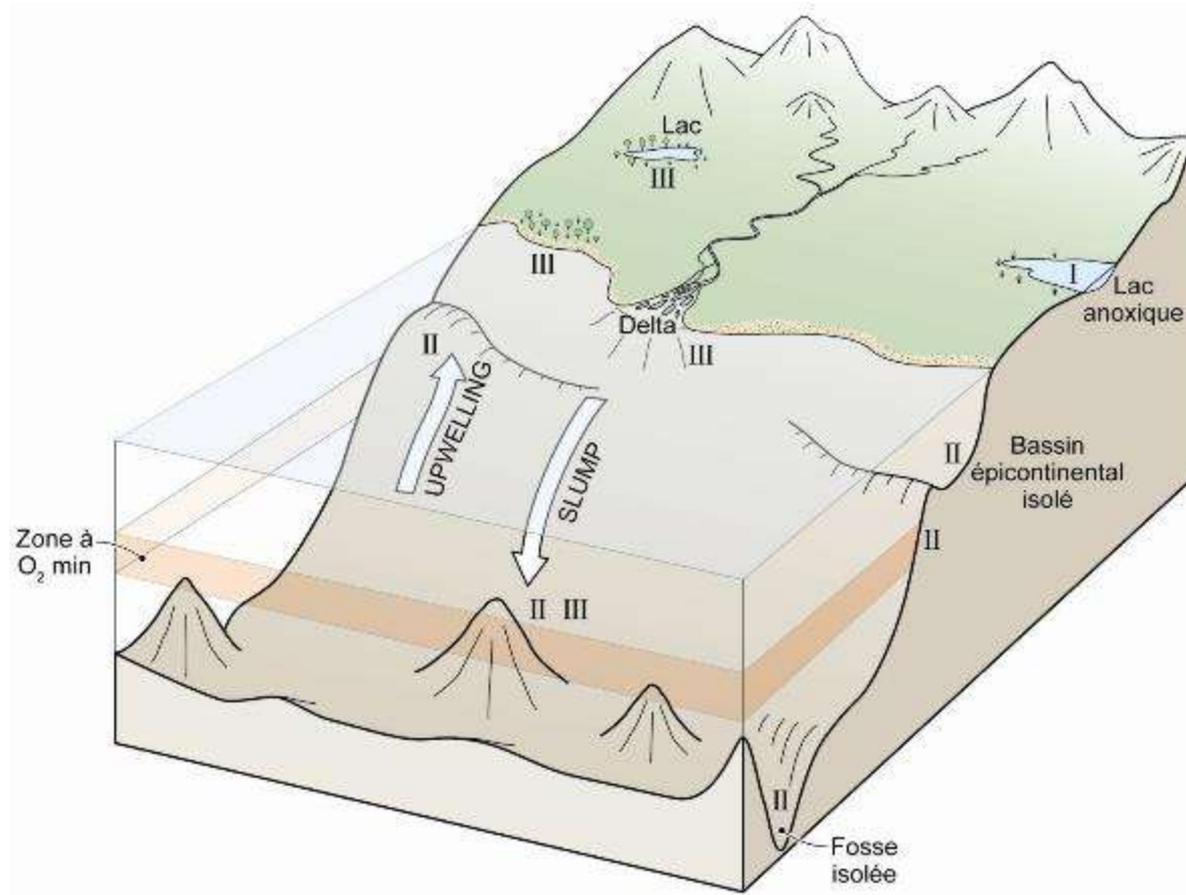
- H/C : 2 à 0.75
- O/C : 0.05 à 0.4
- Sorg/C : 0.01 à 0.06

MO soufrée si Sorg/C > 0.04

La majorité de la MO sédimentaire  
MAIS qui n'est pas à l'origine de combustibles fossiles



# MILIEUX FAVORABLES A LA PRESERVATION DE LA MO ... ET A LA FORMATION DE FUTURS COMBUSTIBLES FOSSILES



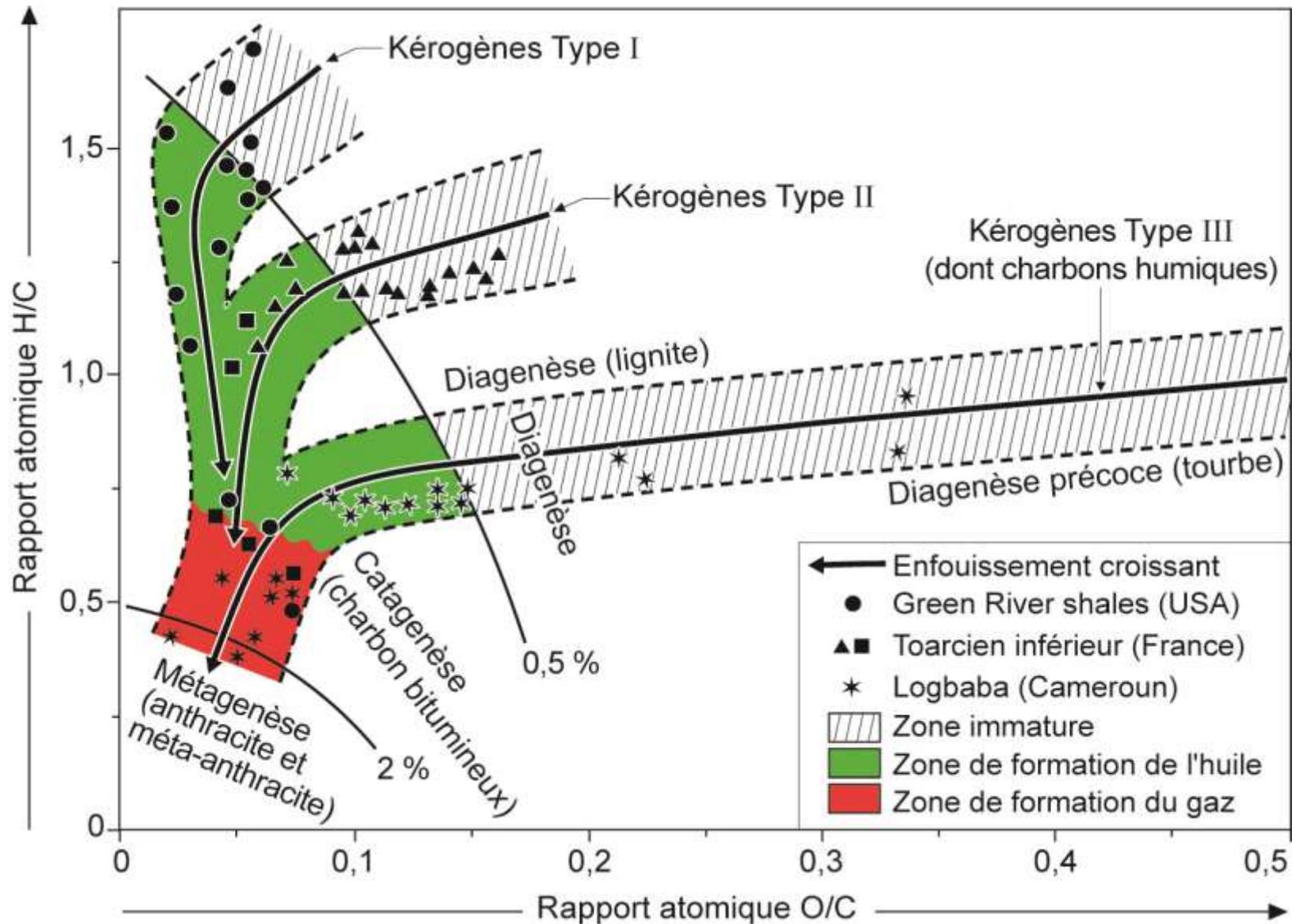
**Type I** : rare – excellente roche mère pétrolière

**Type II** : très fréquent – bonne roche mère pétrolière

**Type III dispersé** : très fréquent – roche mère de médiocre qualité

**Type III concentré** : rare – charbons

# EVOLUTION CHIMIQUE DES KÉROGÈNES AVEC L'ENFOUISSEMENT : DIAGRAMME DE VAN KREVELEN



# Evolution structurale d'un kérogène de Type III

## Hydrocarbures saturés

Cyclanes  
(=Naptènes)



Alcanes  
(=Paraffines)

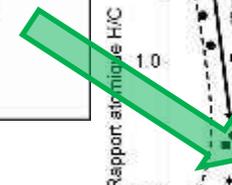
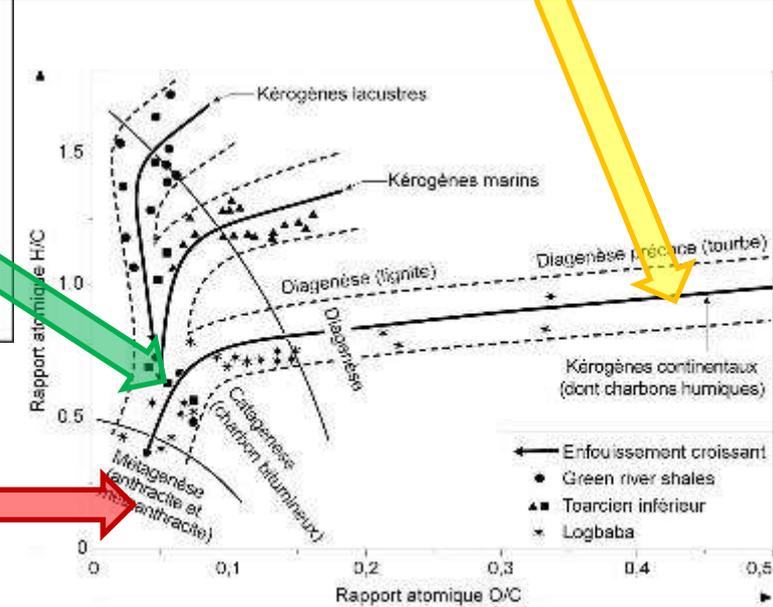
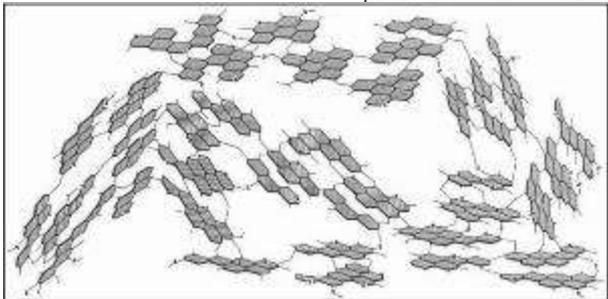
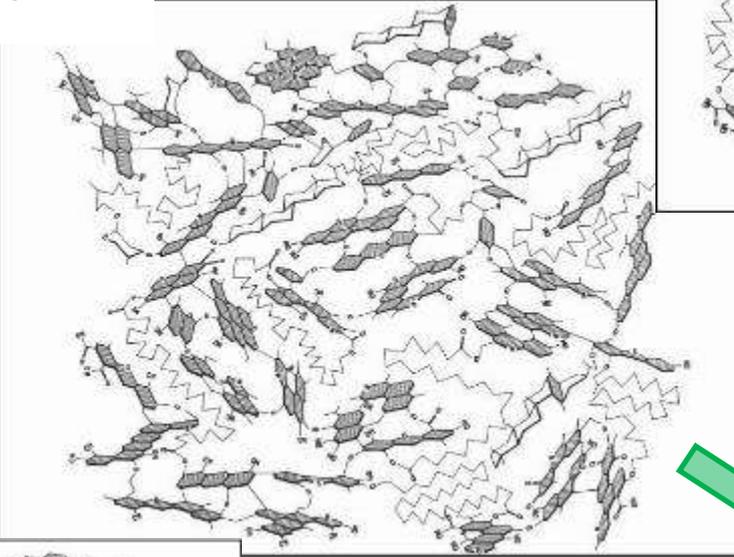
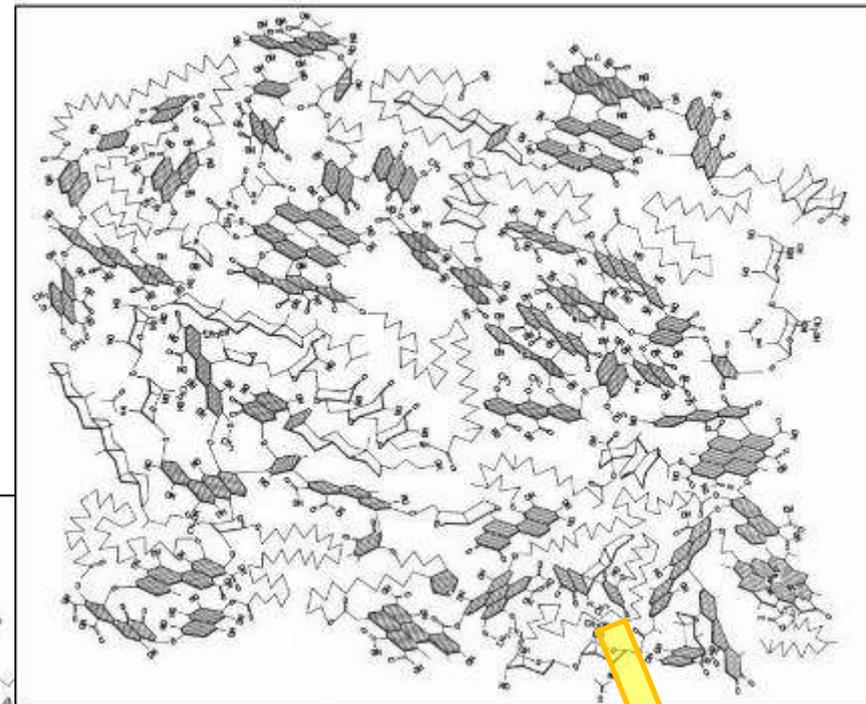
Linéaires  
(=Normaux)



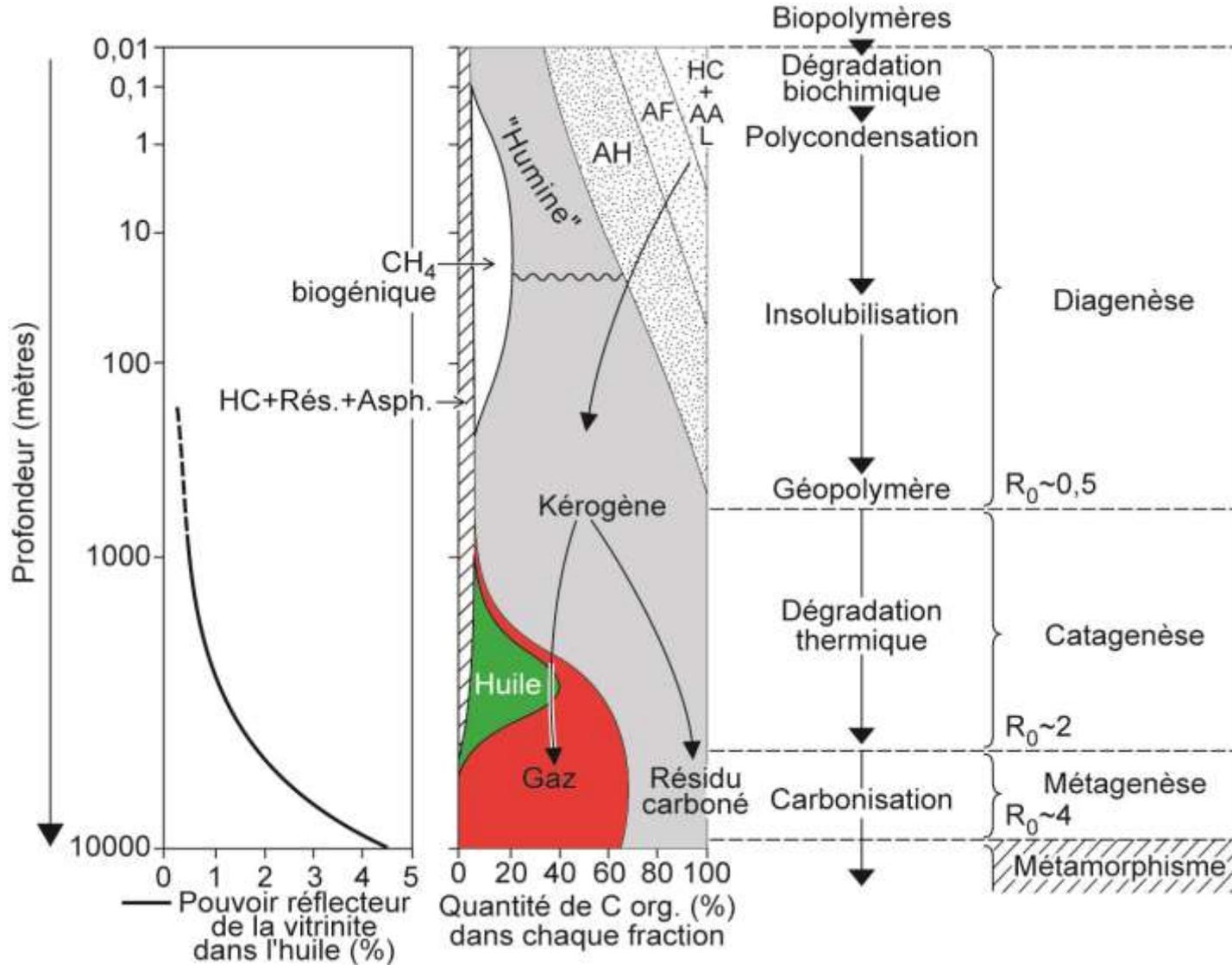
Ramifiés  
(=Iso)



## Hydrocarbures aromatiques

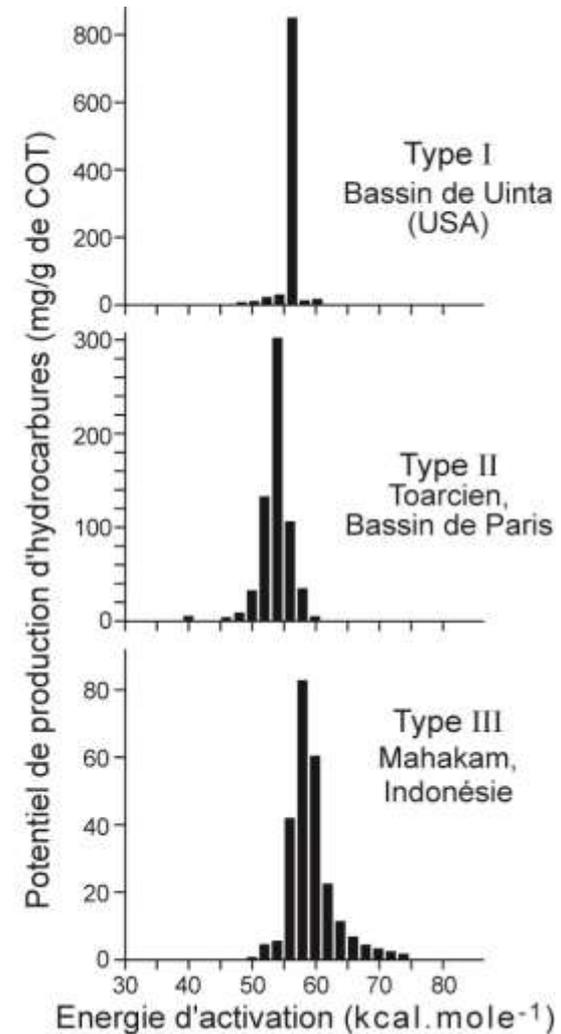
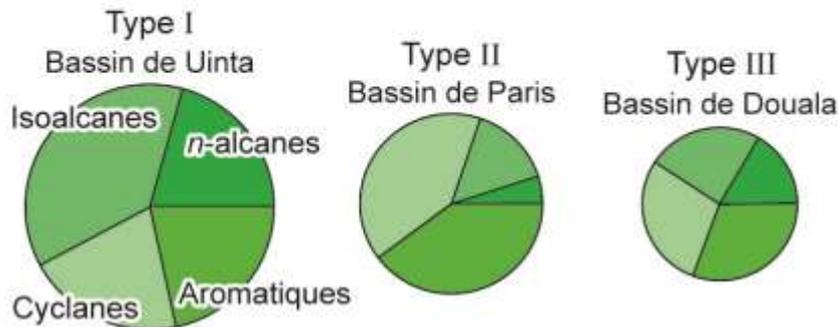
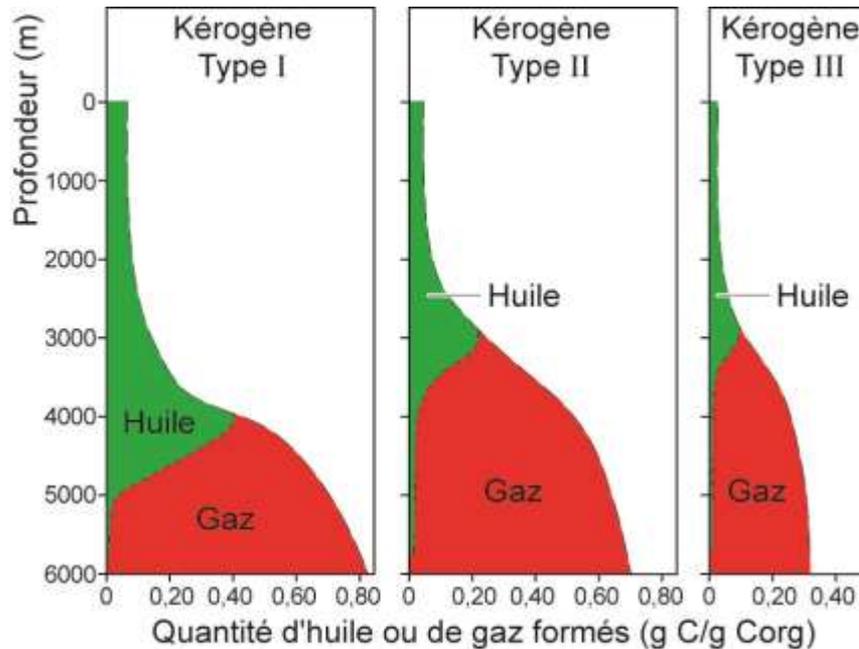


# EVOLUTION AVEC LA PROFONDEUR



- Notion de fenêtre à huile et à gaz
- Trois domaines au cours de la maturation thermique

# QUANTITES ET COMPOSITIONS DES HC FORMES – POSITION FENETRE A HUILE ET GAZ SELON LES TYPES DE KEROGENE

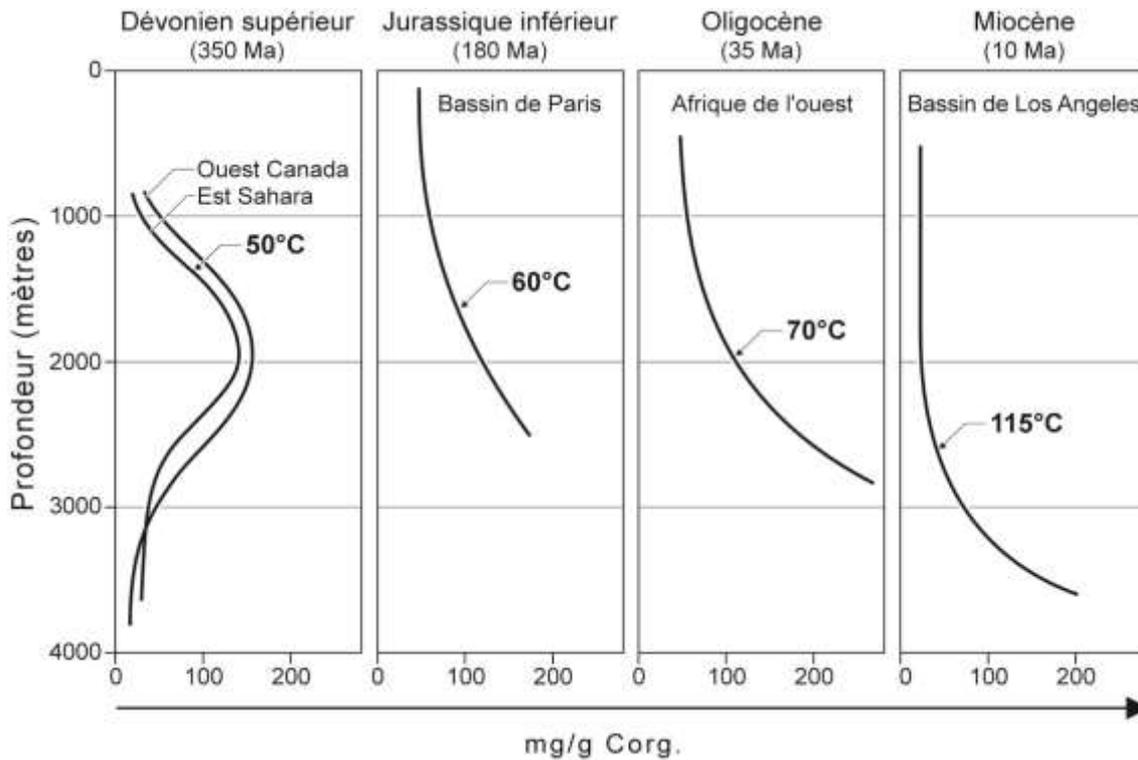


# LE COUPLE TEMPS/TEMPERATURE

Transformation des kérogènes  
fonction linéaire du temps

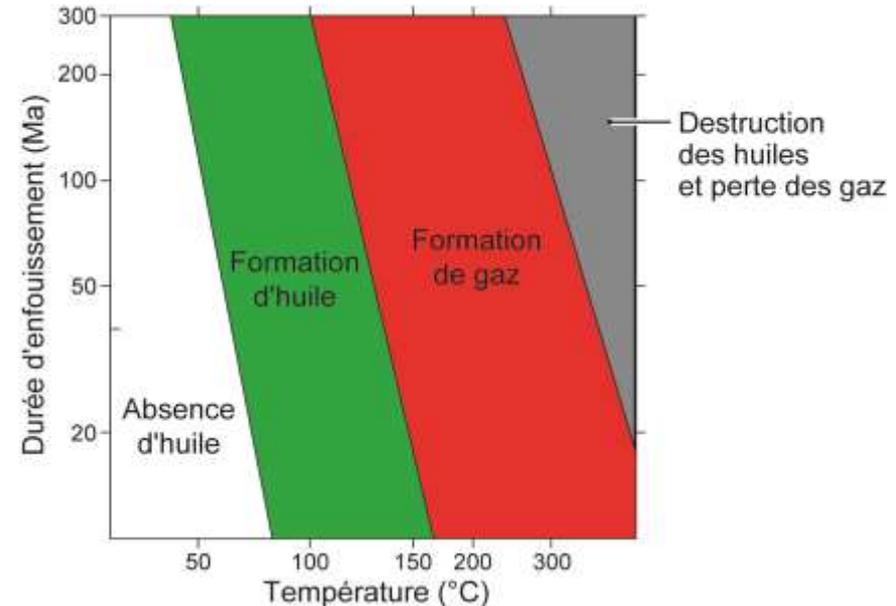
**MAIS**

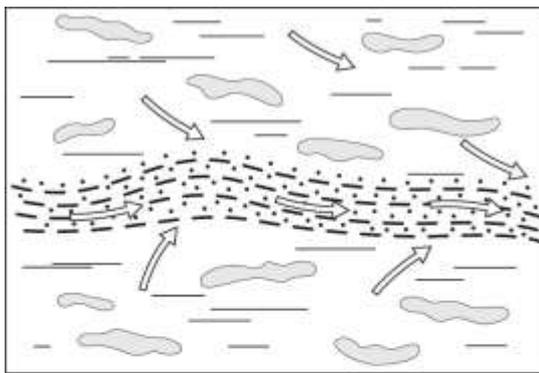
exponentielle avec T °C



Température minimale (50 °C) nécessaire  
initier et entretenir réactions pétroliques  
Huiles générées entre 100°C et 150°C  
Gaz entre 150°C et 230°C

Fonction gradient géothermique ...  
Temps de génération de la 10<sup>aine</sup> à 100<sup>aine</sup> Ma

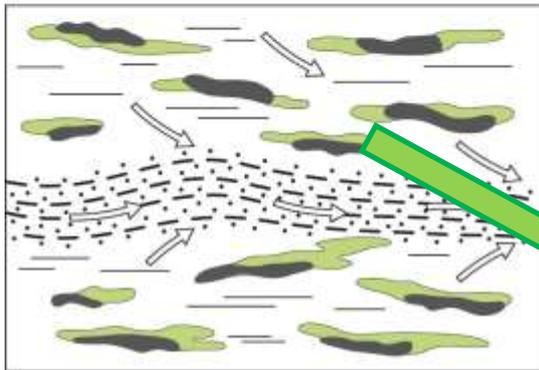




0 1 mm

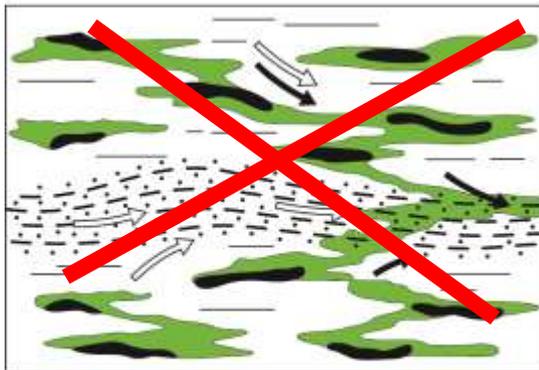
**ZONE IMMATURE** (Diagenèse)

Porosité = 15%  
 Saturation en huile = 0 %  
 Expulsion de l'eau (compaction)



**DÉBUT DE FORMATION DE L'HUILE**

Les hydrocarbures formés envahissent la porosité  
 Porosité = 10%  
 Saturation en huile = 5%  
 Pas d'expulsion de l'huile



**MILIEU OU FIN DE LA FORMATION DE L'HUILE**

Porosité = 8%  
 Saturation en huile = 20%  
 La migration primaire est possible

**MIGRATION PRIMAIRE =  
 EXPULSION DES HC  
 DE LA ROCHE MÈRE**

- Migration diphasique
- Nécessité seuil saturation en huile

Si pas d'expulsion ...  
**Huile de roche mère**  
 = Huile de 'schistes'  
*Shale oil*

Argile  
 Lit silteux  
 Zones où la porosité est envahie par l'huile ou le gaz

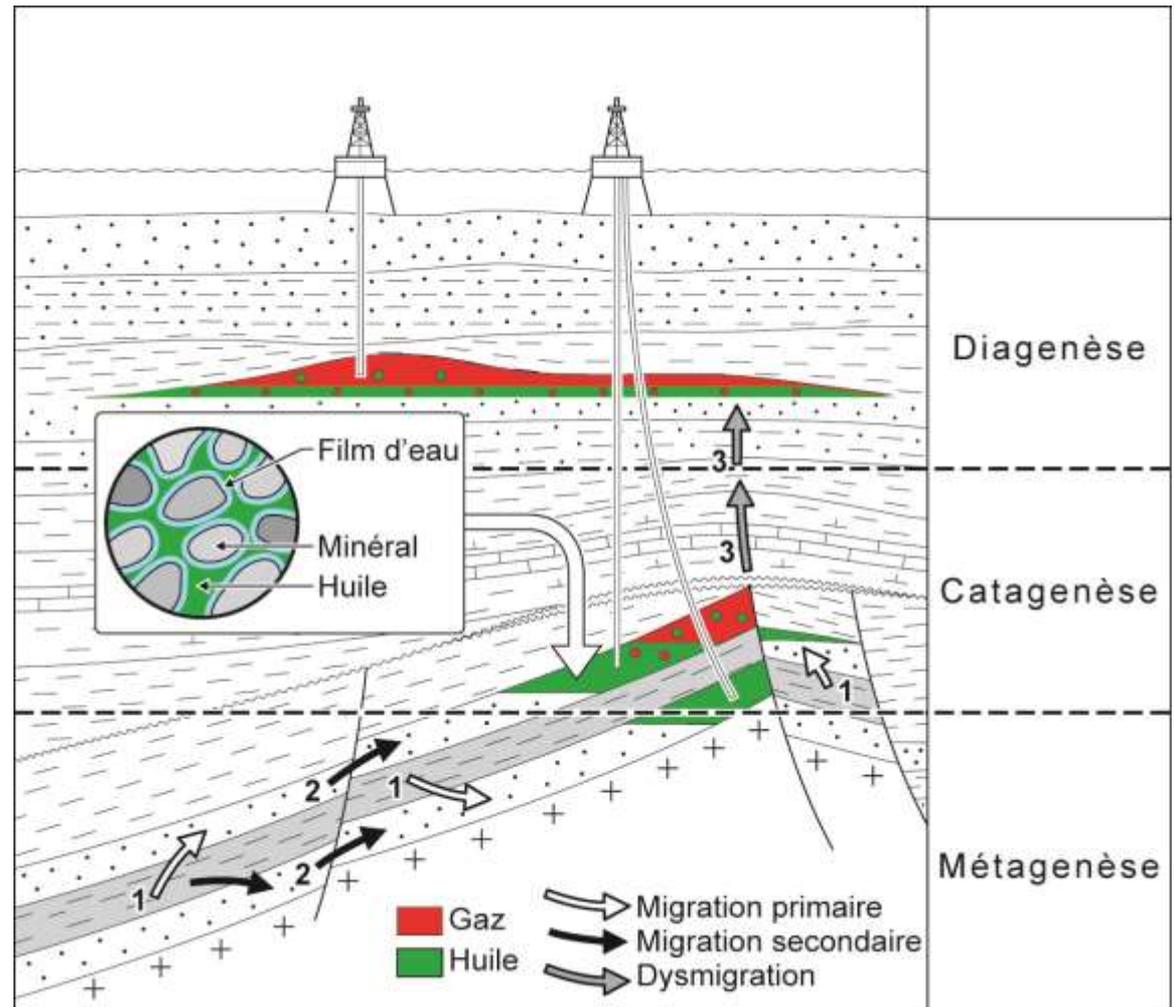
Matière organique (2,5 %)  
 Ecoulement de l'eau  
 Ecoulement de l'huile

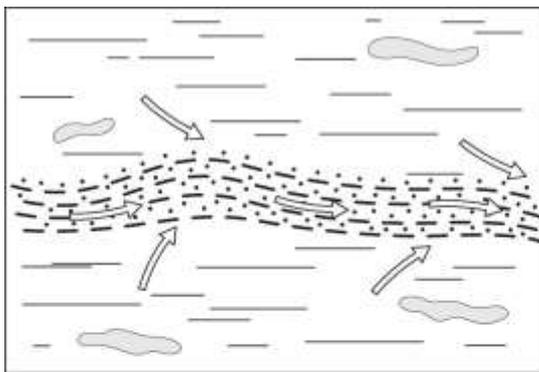
# MIGRATIONS ET SYSTÈME PETROLIER



## Éléments système pétrolier

- Roche mère mature
- Roche réservoir
- Roche couverture
- Piège
- Calendrier favorable

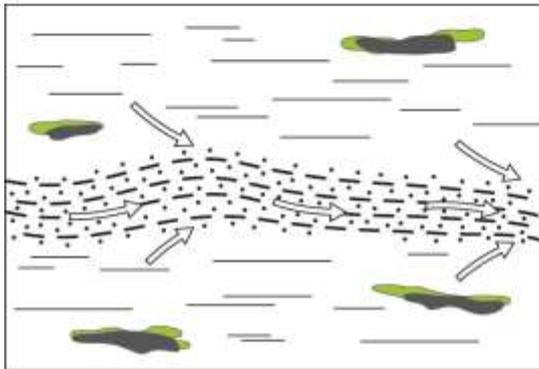




0 1 mm

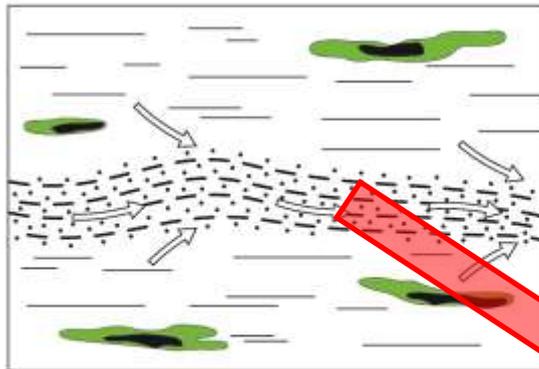
**ZONE IMMATURE (Diagenèse)**

Porosité = 15%  
 Saturation en huile = 0 %  
 Expulsion de l'eau (compaction)

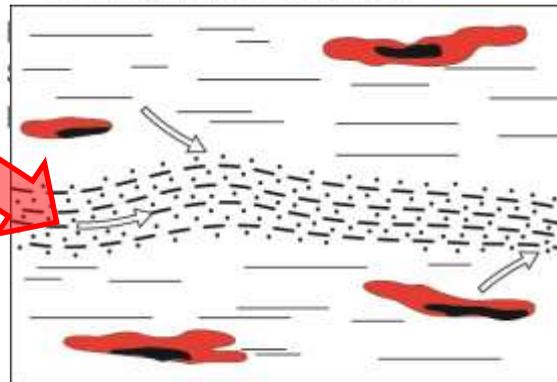


**DÉBUT DE FORMATION DE L'HUILE**

Les hydrocarbures formés envahissent la porosité  
 Porosité = 10%  
 Saturation en huile = 2%  
 Pas d'expulsion de l'huile



**MILIEU OU FIN DE LA FORMATION DE L'HUILE**

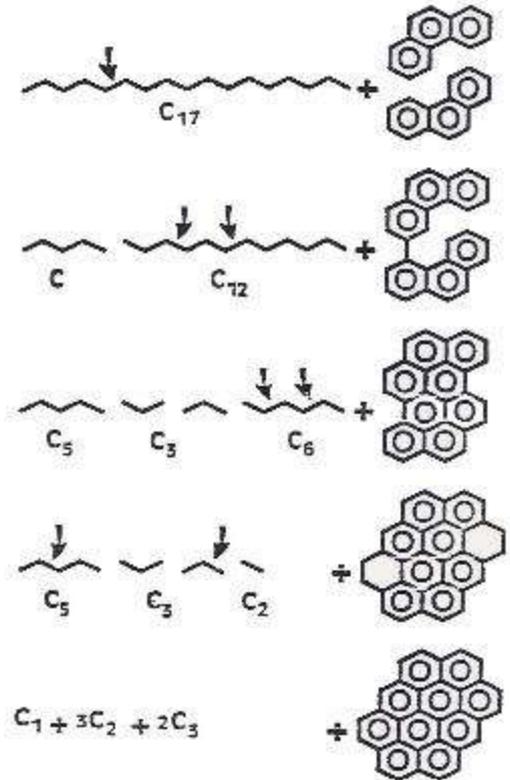


**MILIEU OU FIN DE LA FORMATION DU GAZ**

Craquage secondaire  
 Formation du gaz tardif  
 Expulsion possible ou non

**CRAQUAGE SECONDAIRE**

**> 150 °C**

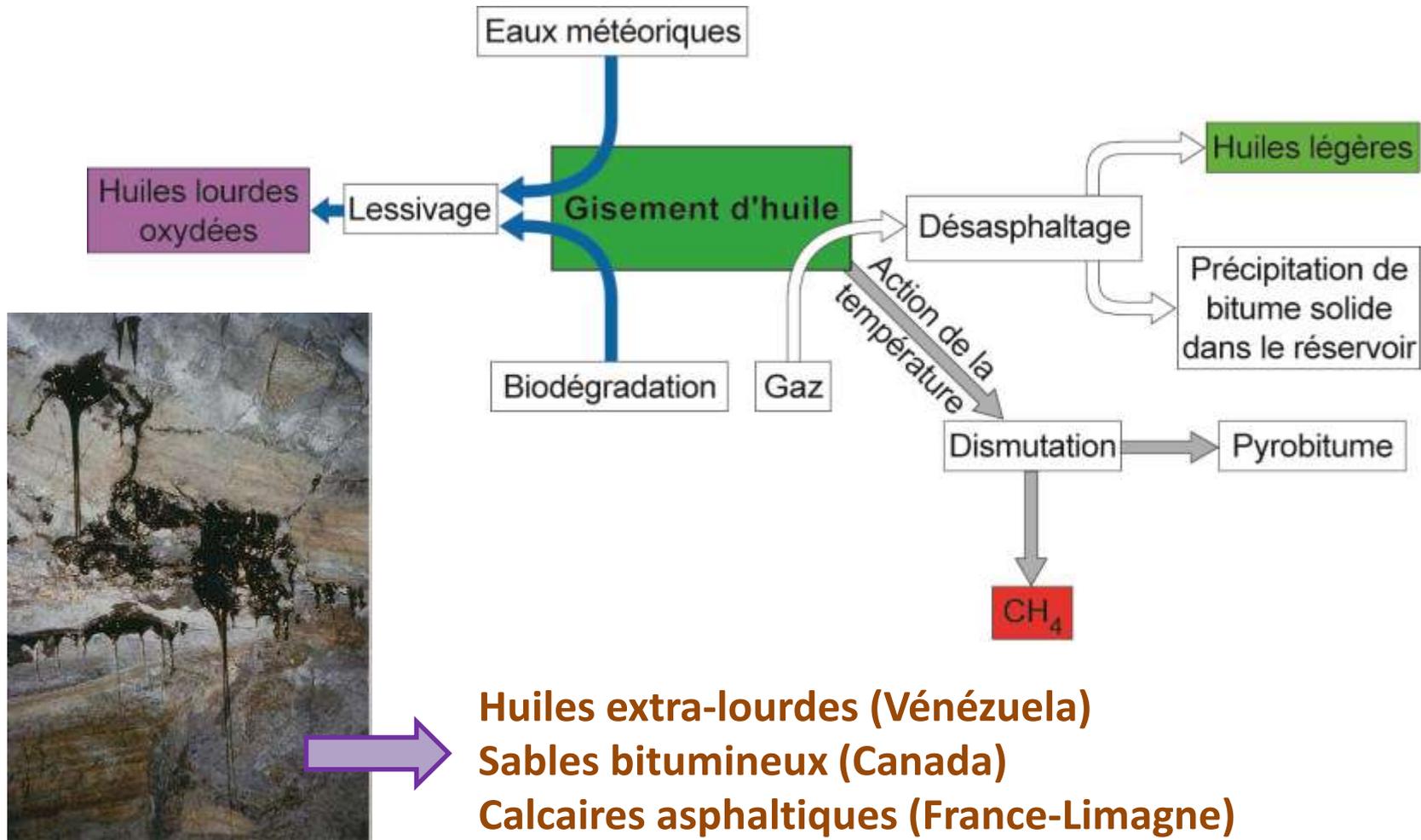


**Gaz de roche mère**

**= Gaz de 'schistes' Shale gas**

# ALTERATION DES HUILES DANS LES RESERVOIRS

Processus physiques, chimiques et biologiques

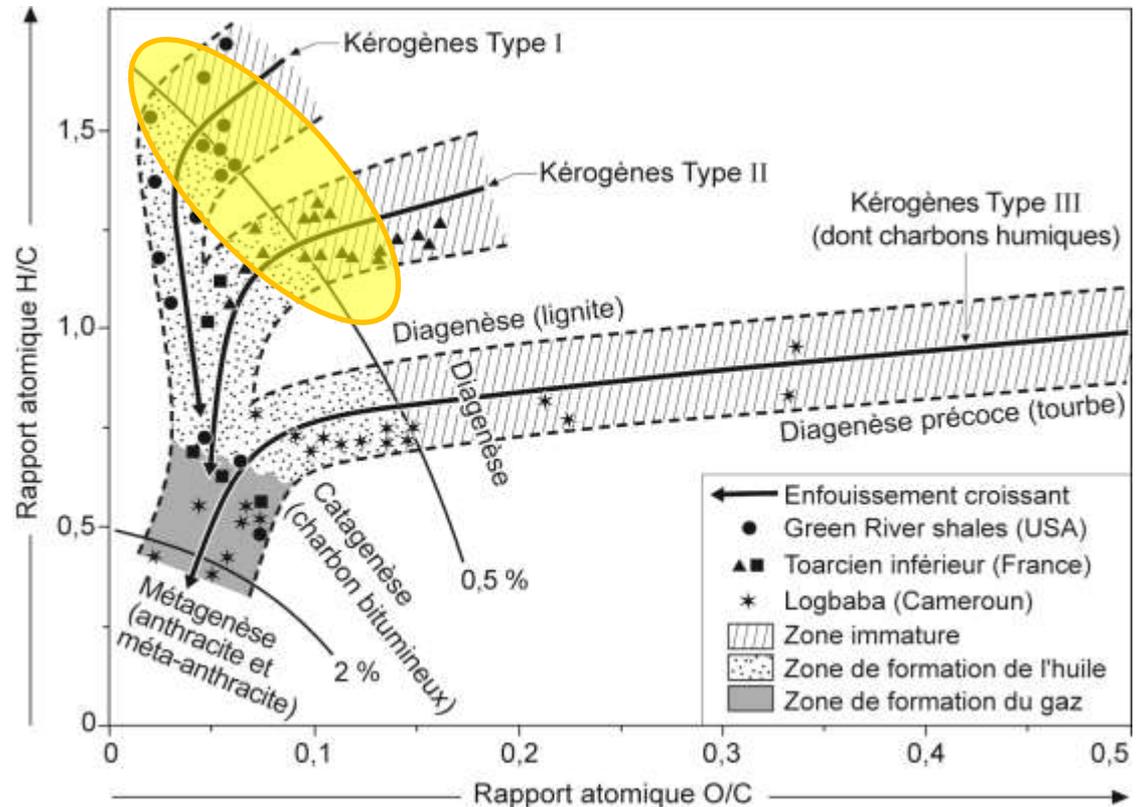


# SCHISTES BITUMINEUX – OIL SHALES

Roches mères très riches (> 20% Corg) limite de la catagenèse

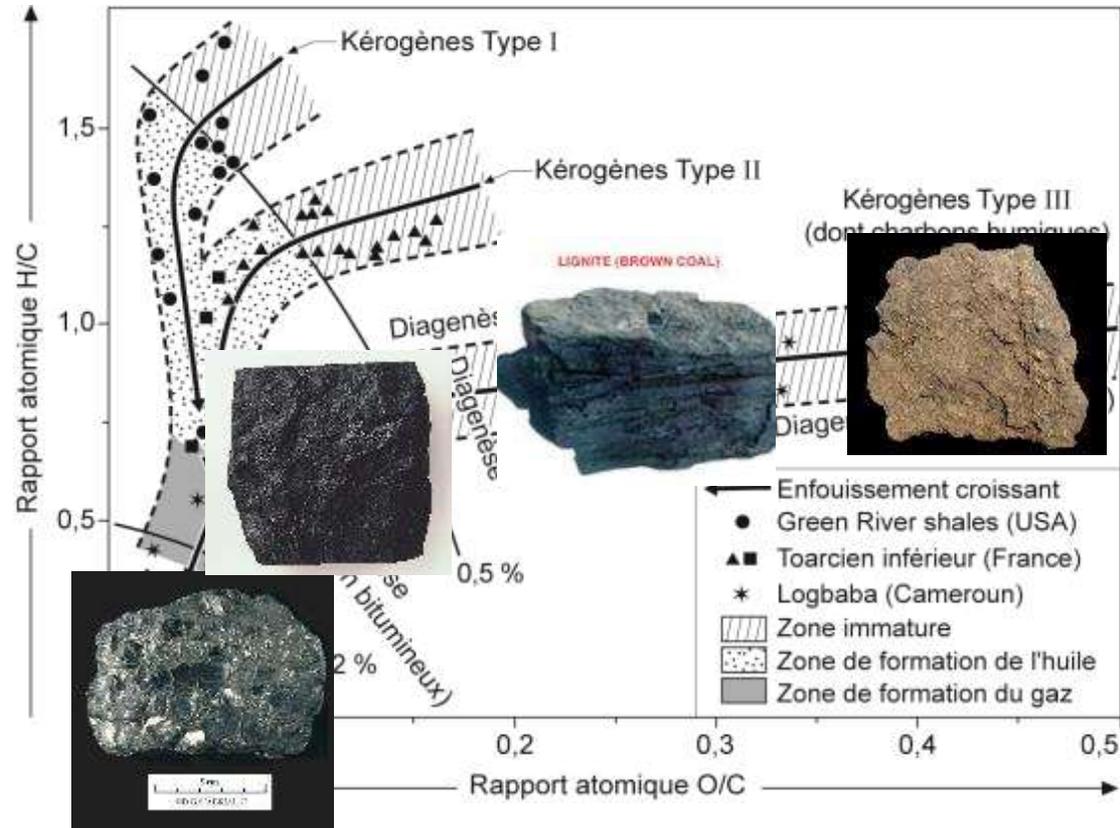
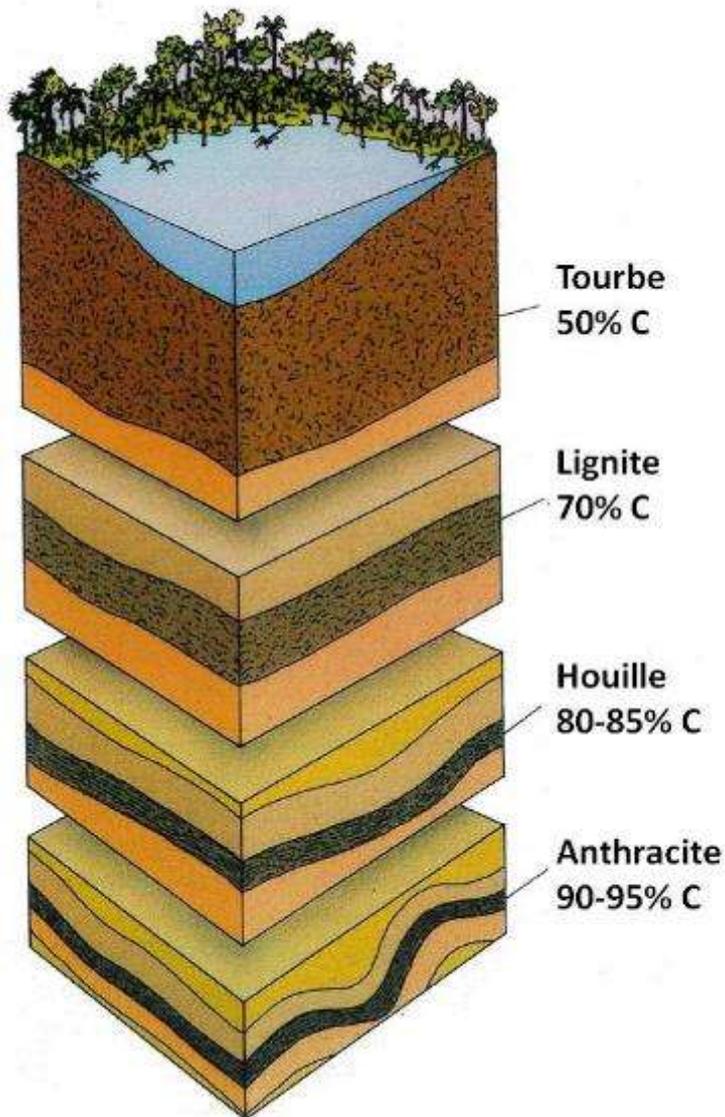


**Pas des schistes ! Argilites**  
**Pas du bitume ! Kérogène**



**Grands gisements : USA, Russie, RDC, Brésil, ...**  
**France : Bassin d'Autun**

# LIGNEE DES CHARBONS



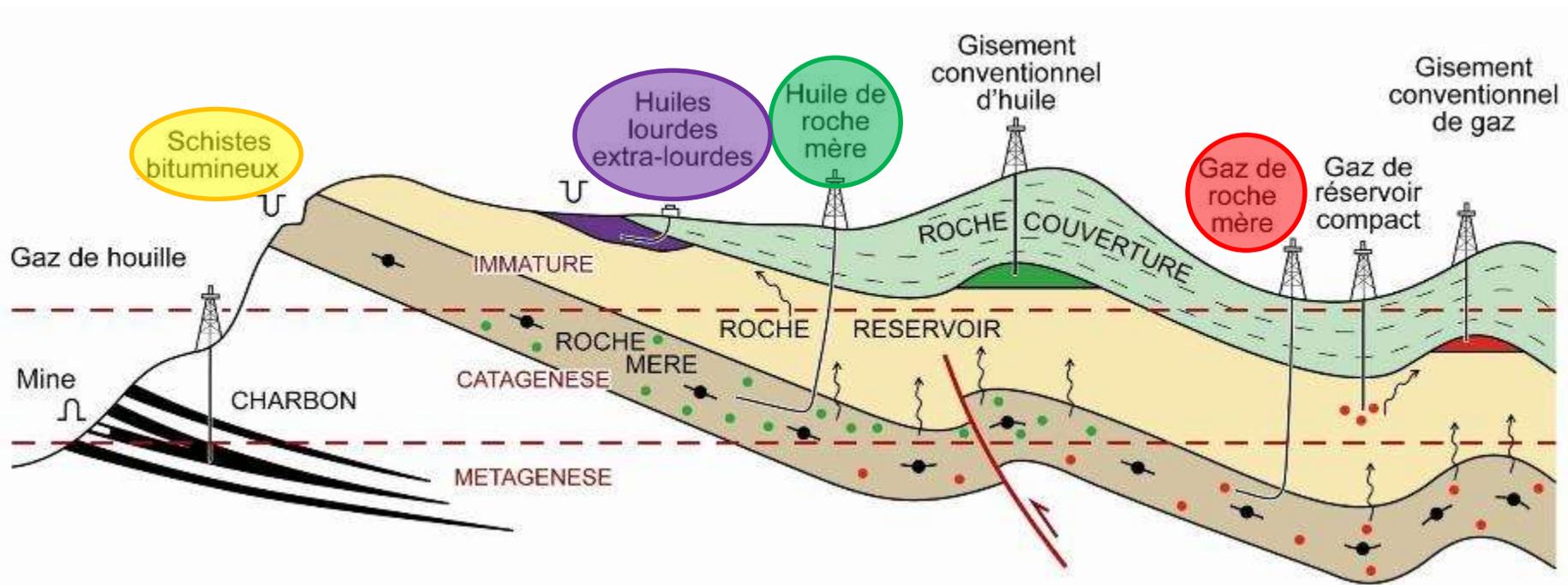
**Faible potentiel à huile**

**Potentiel à gaz**

**'Gaz de houille' (à l'origine coups de grisou)**

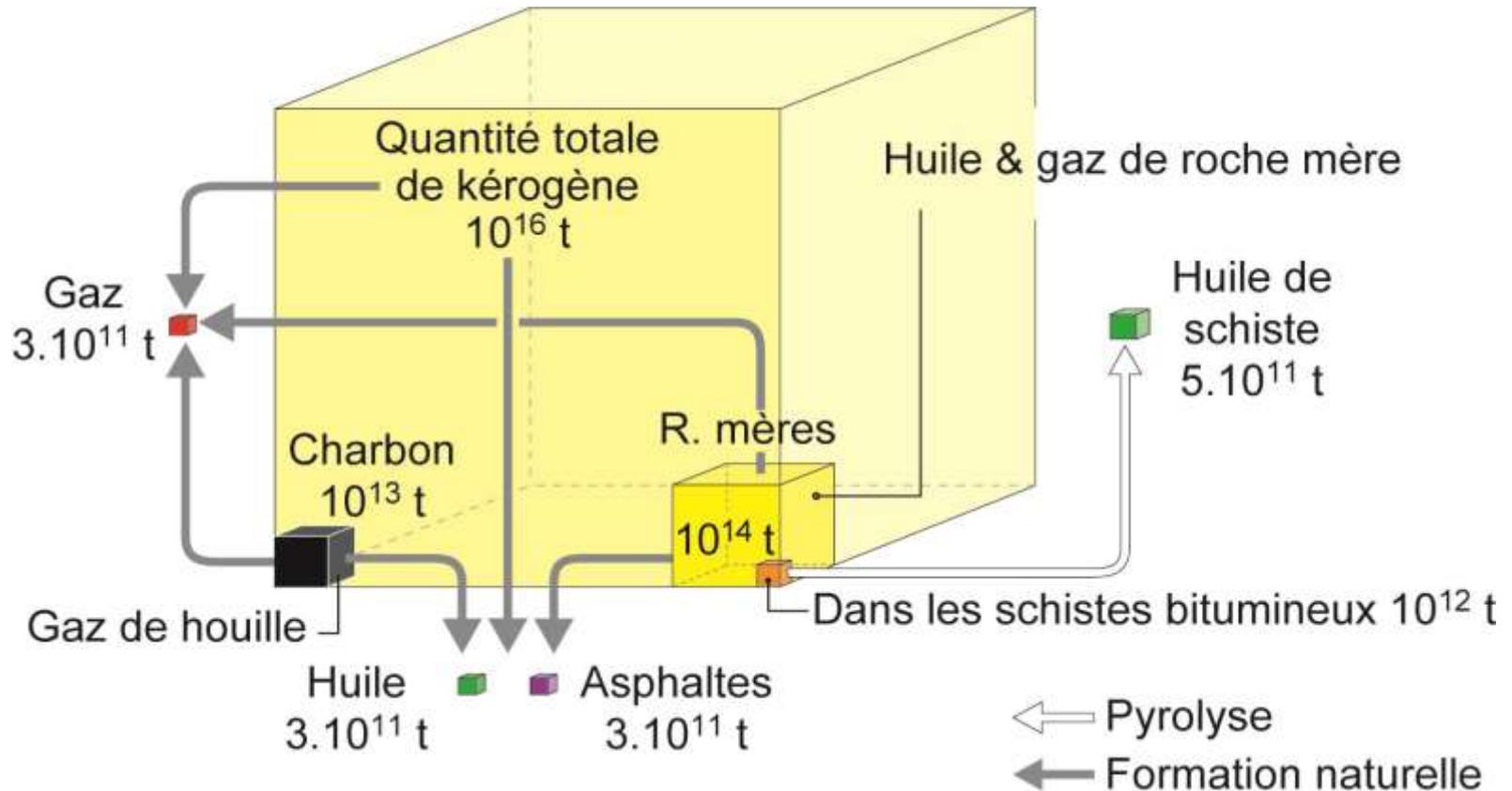
**Coal Bed Methane (CBM)**

# LES COMBUSTIBLES FOSSILES CARBONES



**Les ressources non conventionnelles le sont par leur mode d'exploitation ...  
... pas par leur mode de formation**

## TAILLE DES RESERVOIRS ET DES RESERVES ...

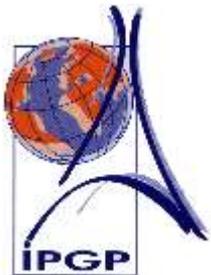
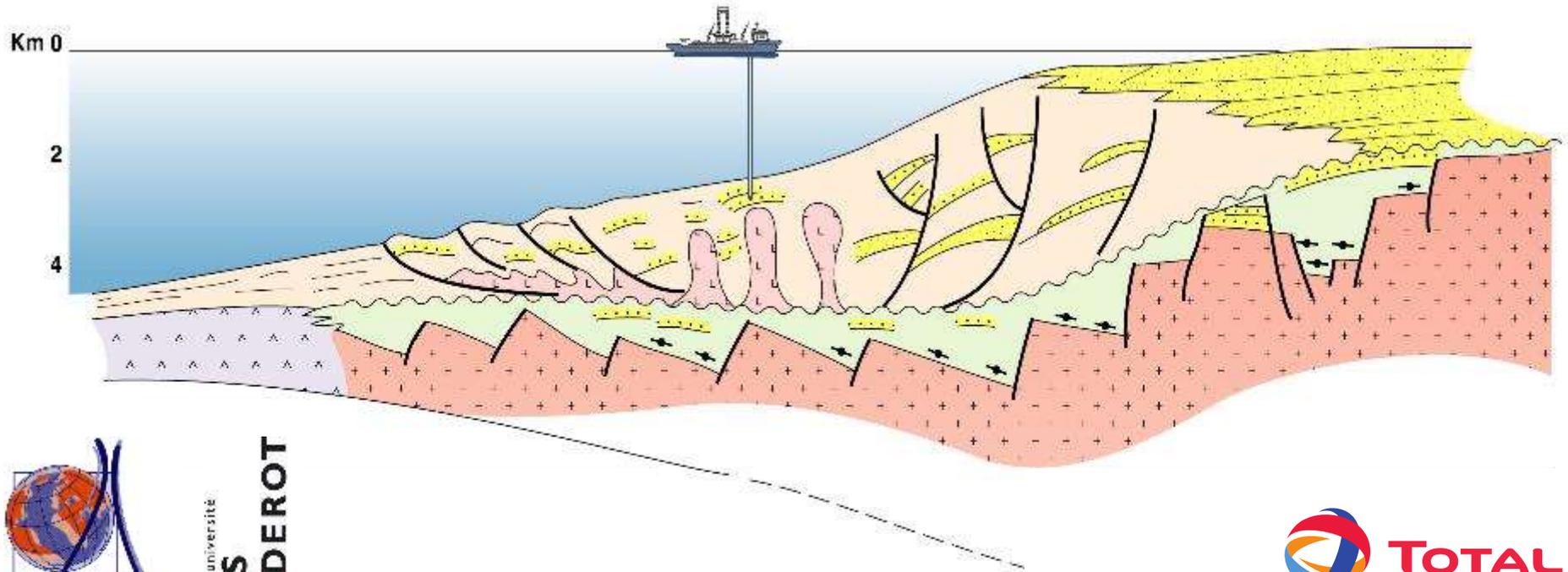


**Des réserves conventionnelles pour le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle**

**Des réserves non conventionnelles pour la fin du XXI<sup>e</sup> voire milieu XXII<sup>e</sup> siècle**

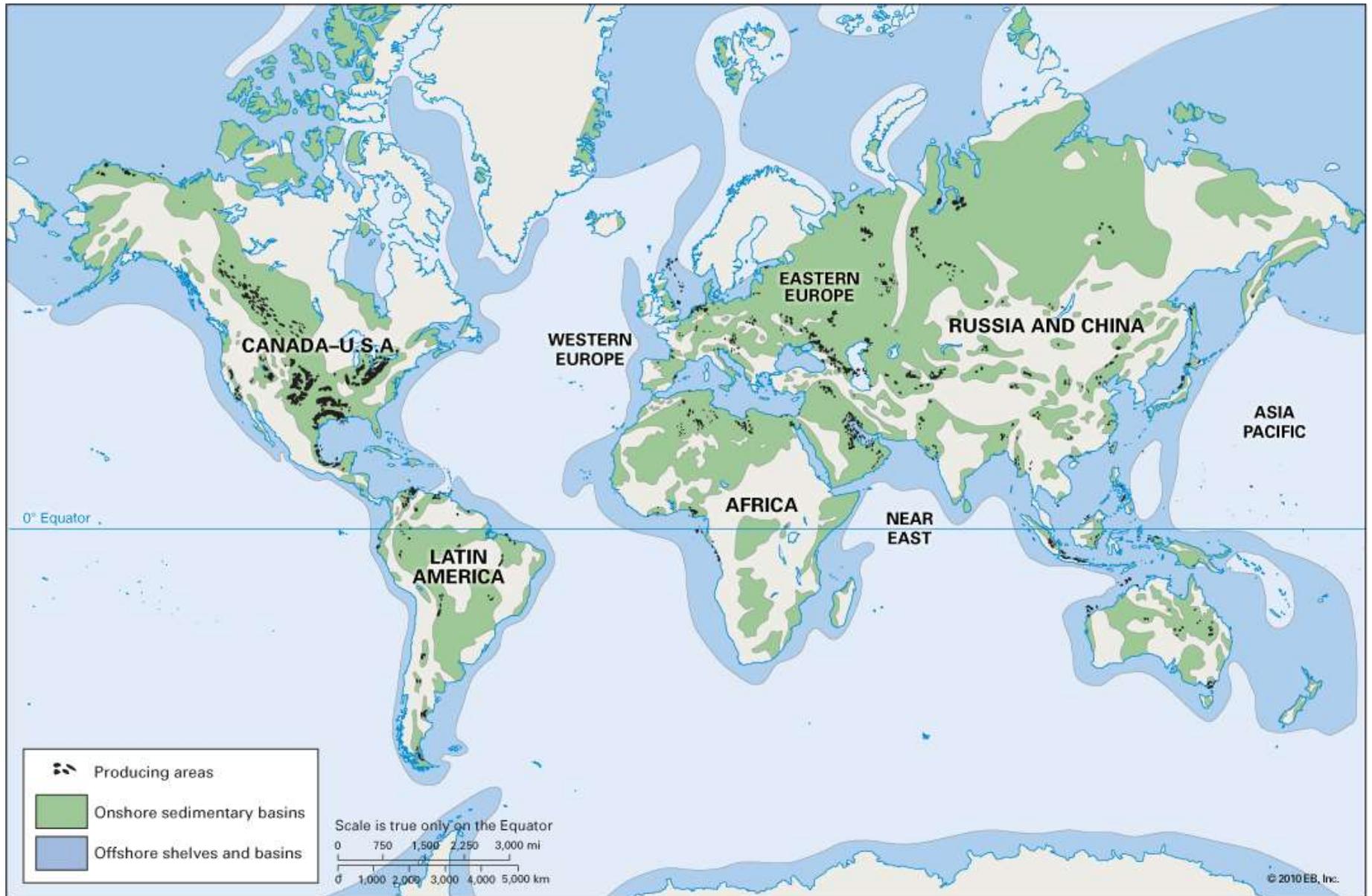
***D'autres à explorer : clathrates ou hydrates de méthane ?***

# Tectonique des plaques et recherche d'hydrocarbures : l'exemple des marges passives

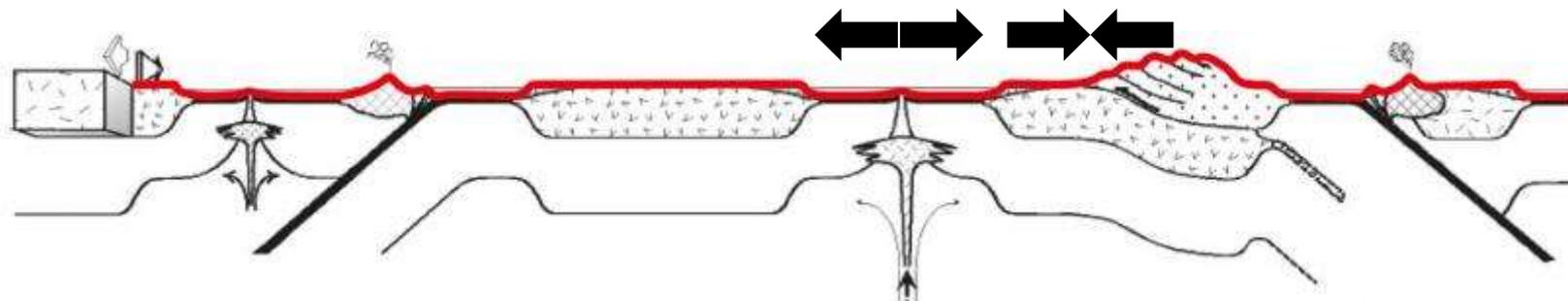


Laurie Barrier (IPGP-P7) et Olivier Broucke (TOTAL)

# Les gisements d'hydrocarbures dans le monde



# La formation des bassins sédimentaires

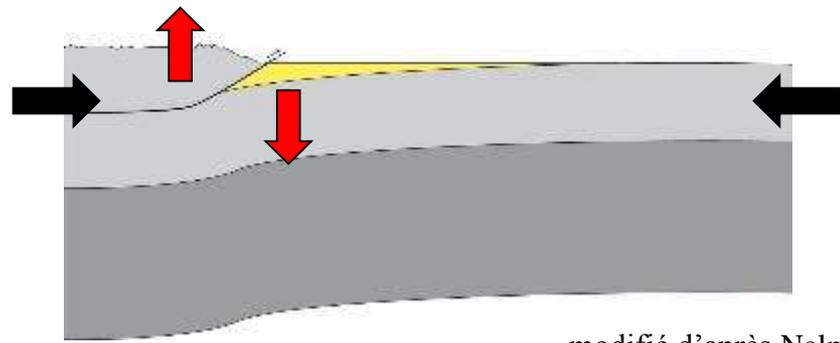
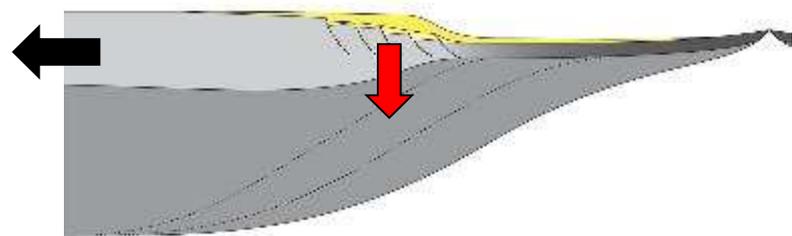
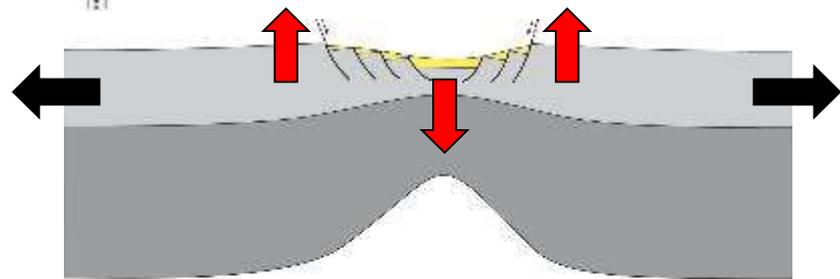


Sédimentation (x 1 – 10 – 100 Ma)



Réajustements  
isostatiques  
&  
flexuraux

- Subsidence tectonique
- Subsidence thermique
- Subsidence par surcharge

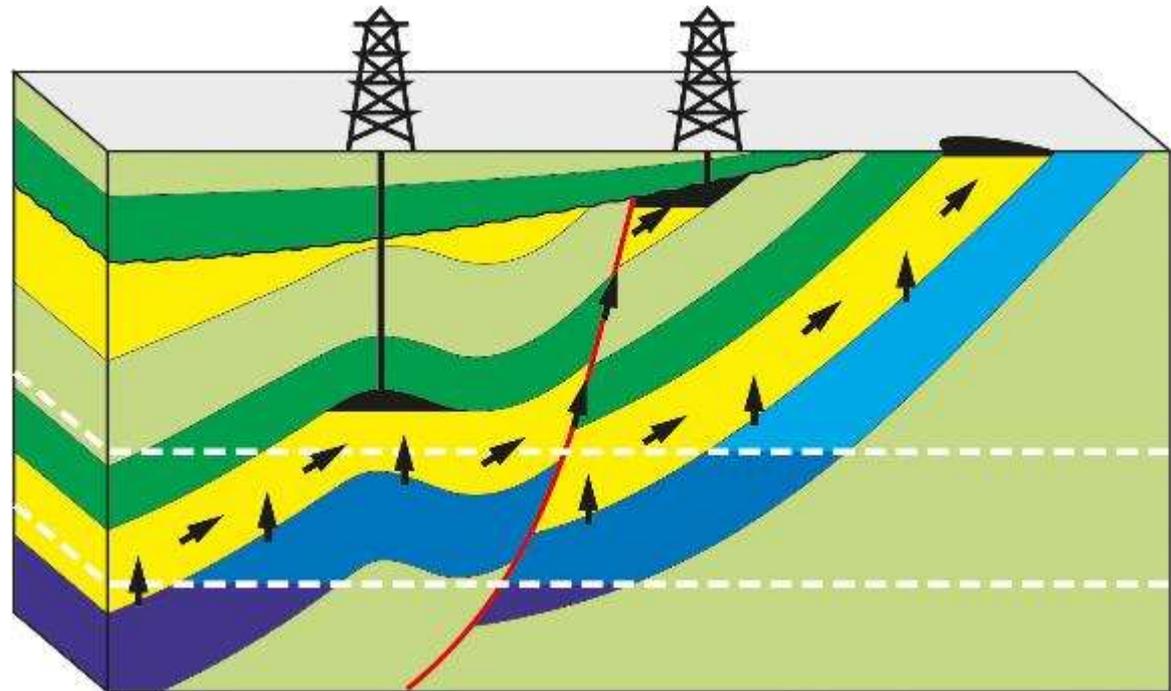


# Les conditions de formation des gisements d'hydrocarbures

Un système pétrolier =

- Roche(s) mère(s) (production biologique + dépôt anoxique de sédiments carbonés)

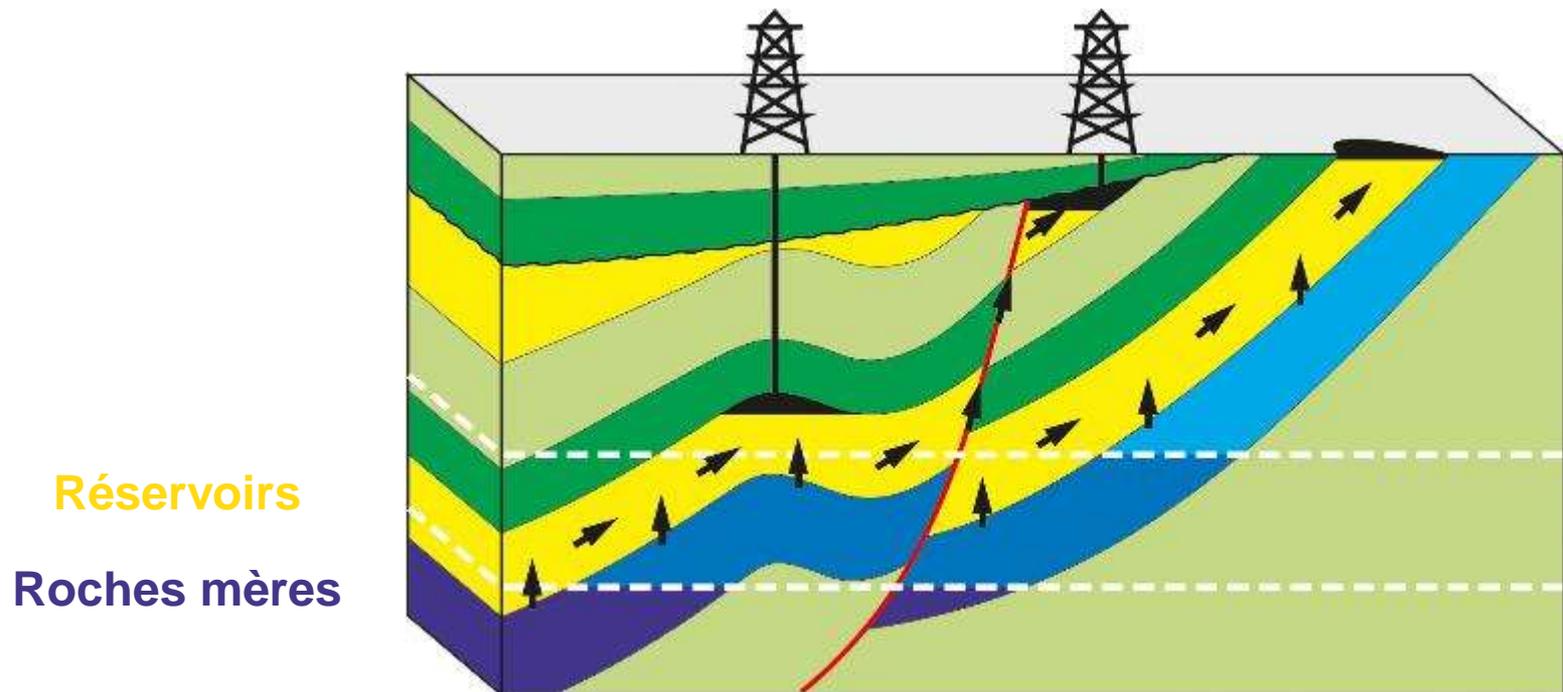
Roche mère



# Les conditions de formation des gisements d'hydrocarbures

## Un système pétrolier =

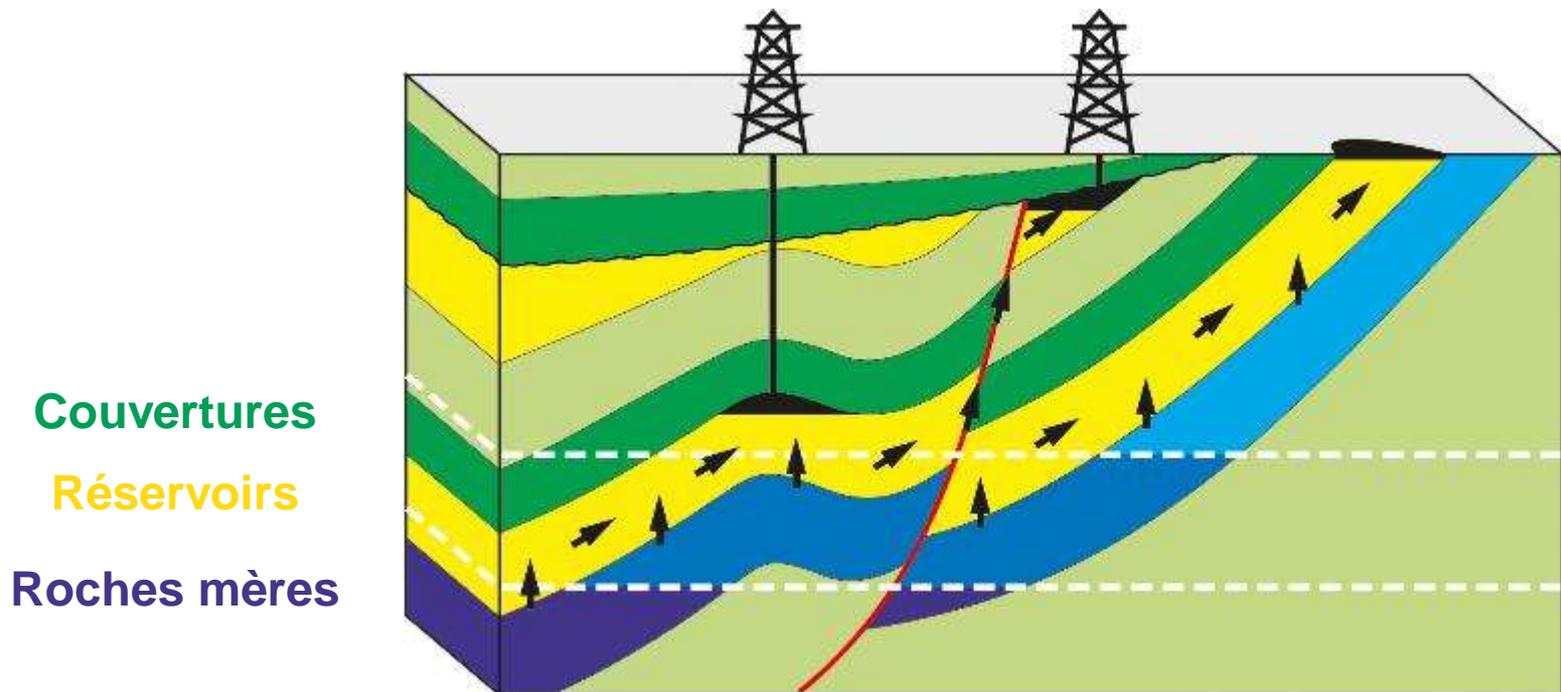
- ❑ Roche(s) mère(s) (production biologique + dépôt anoxique de sédiments carbonés)
- ❑ Roche(s) réservoir(s) (dépôt de sédiments poreux et perméables)



# Les conditions de formation des gisements d'hydrocarbures

Un système pétrolier =

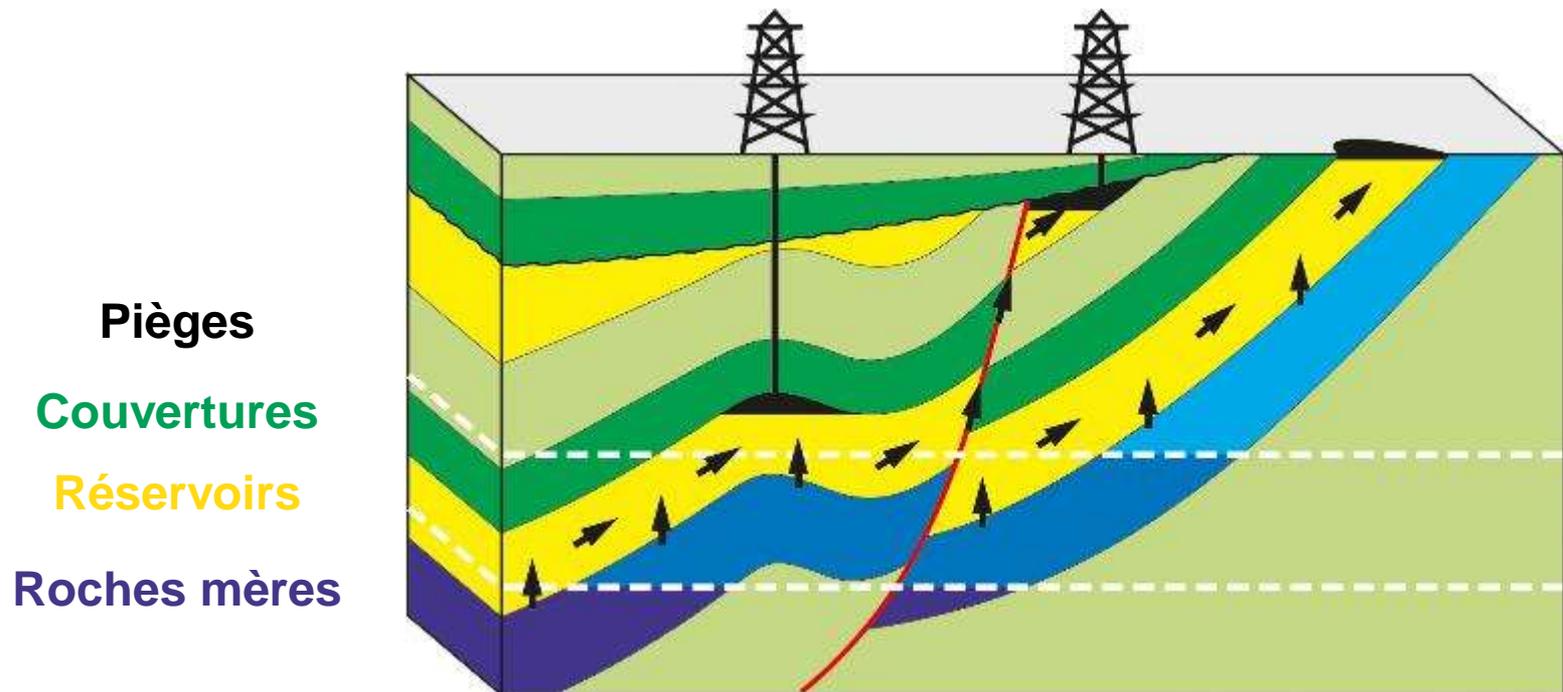
- ❑ Roche(s) mère(s) (production biologique + dépôt anoxique de sédiments carbonés)
- ❑ Roche(s) réservoir(s) (dépôt de sédiments poreux et perméables)
- ❑ Roche(s) couverture(s) (dépôts de sédiments imperméables)



# Les conditions de formation des gisements d'hydrocarbures

Un système pétrolier =

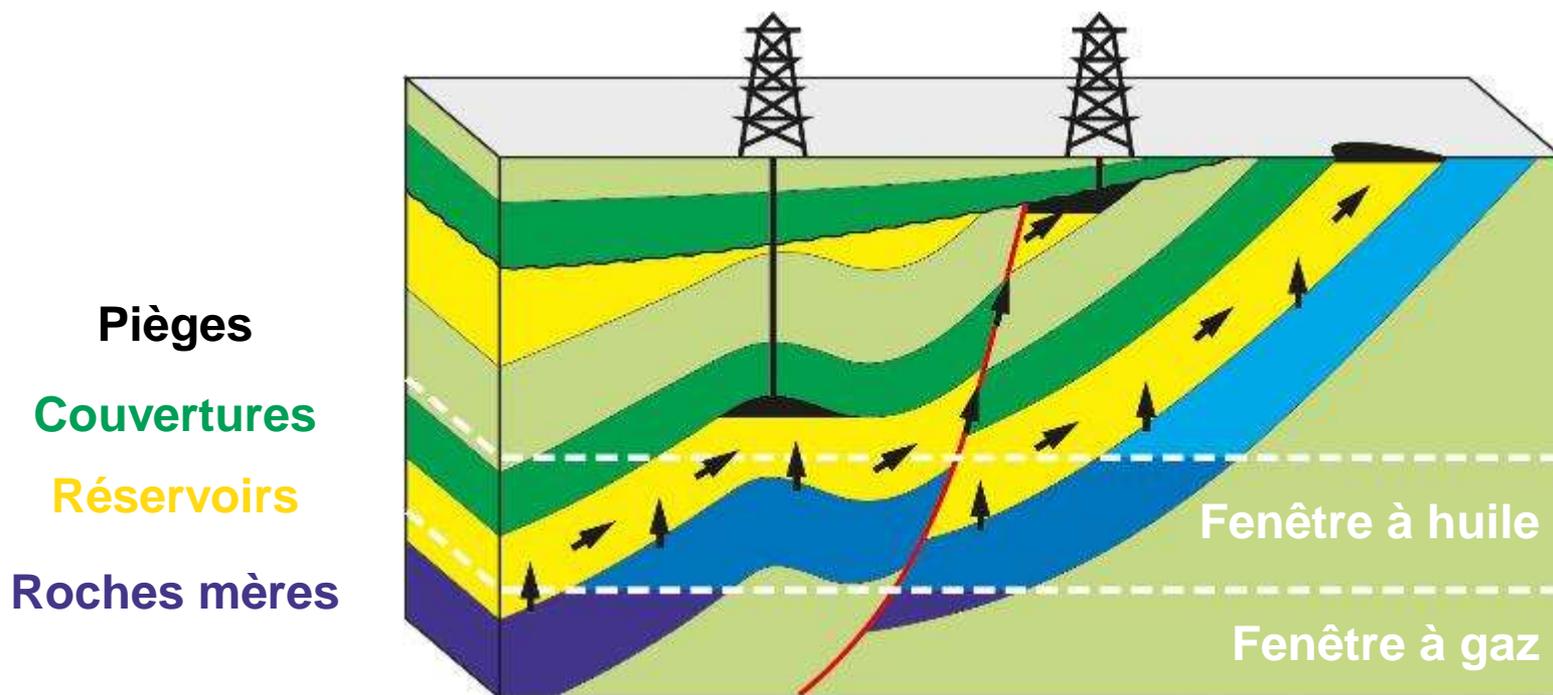
- ❑ Roche(s) mère(s) (production biologique + dépôt anoxique de sédiments carbonés)
- ❑ Roche(s) réservoir(s) (dépôt de sédiments poreux et perméables)
- ❑ Roche(s) couverture(s) (dépôts de sédiments imperméables)
- ❑ Piège(s) stratigraphiques ou structuraux (rétention des hydrocarbures)



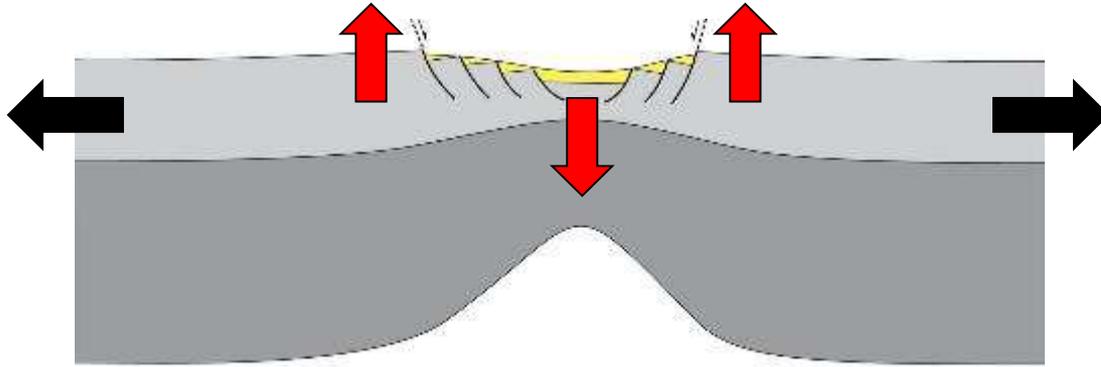
# Les conditions de formation des gisements d'hydrocarbures

Un système pétrolier =

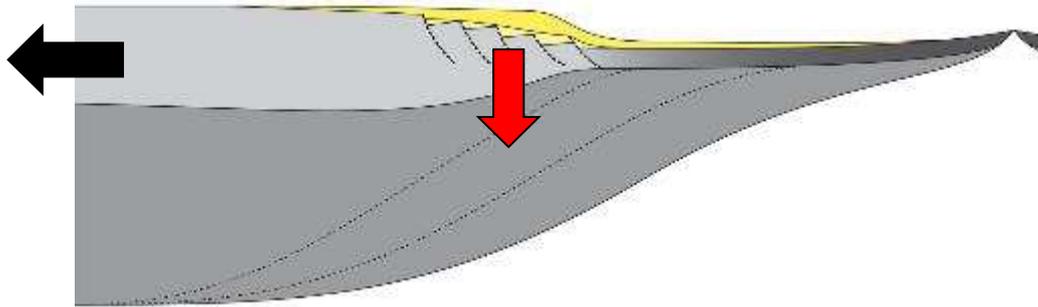
- ❑ Roche(s) mère(s) (production biologique + dépôt anoxique de sédiments carbonés)
- ❑ Roche(s) réservoir(s) (dépôt de sédiments poreux)
- ❑ Roche(s) couverture(s) (dépôts de sédiments imperméables)
- ❑ Piège(s) stratigraphiques ou structuraux (rétention des hydrocarbures)
- ❑ Maturité de la roche mère (maturation et migration après la formation des pièges)



## Les grands types de bassins sédimentaires

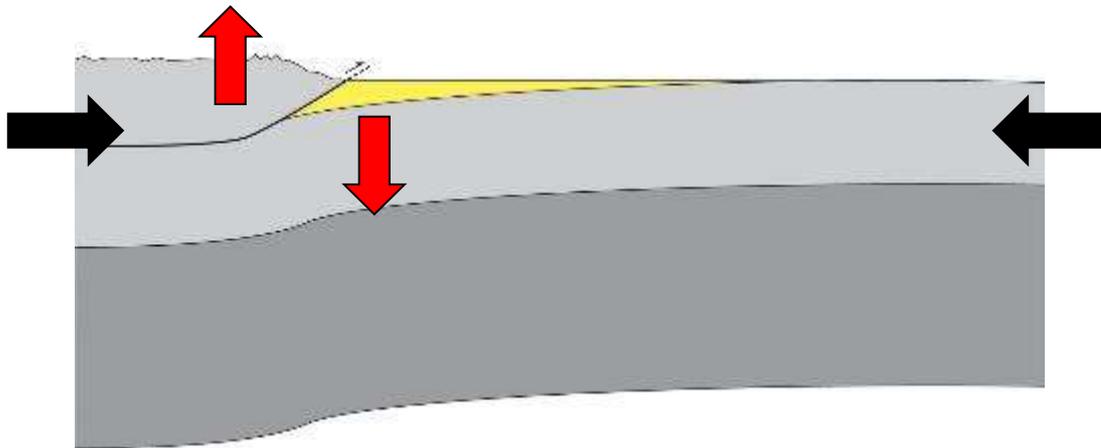


**Subsidence tectonique  
=> Rifts, Pull-aparts, etc.**



**Subsidence thermique  
=> Marges passives**

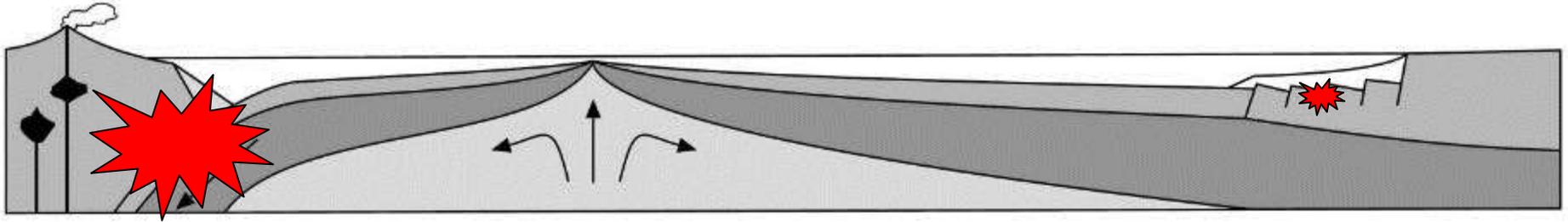
**~ 35 % des 91 découvertes > 0,5 Gb  
depuis 2001  
= 69 Gb dont 36 Gb au Brésil**



**Subsidence par surcharge  
=> Bassins d'avant-pays**

**~ 55 % des 91 découvertes > 0,5 Gb  
depuis 2001 = 108 Gb**

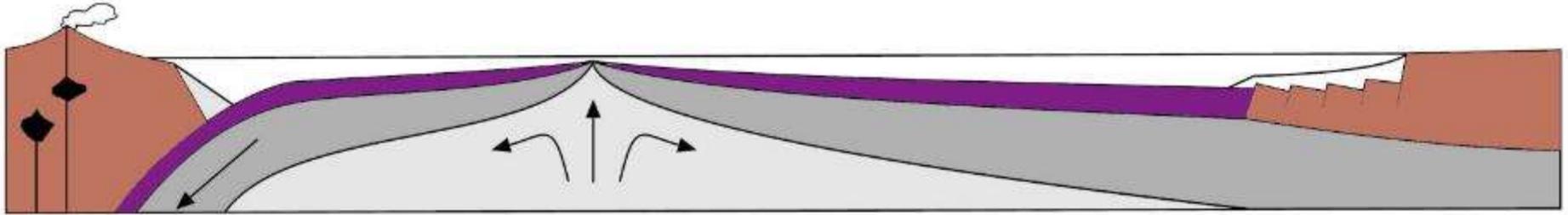
## Les marges passives : un type particulier de transition océan-continent



### Sismiquement :

pas ou peu d'activité = pas ou peu de déformation lithosphérique = n'est plus en limite de plaque

## Les marges passives : un type particulier de transition océan-continent



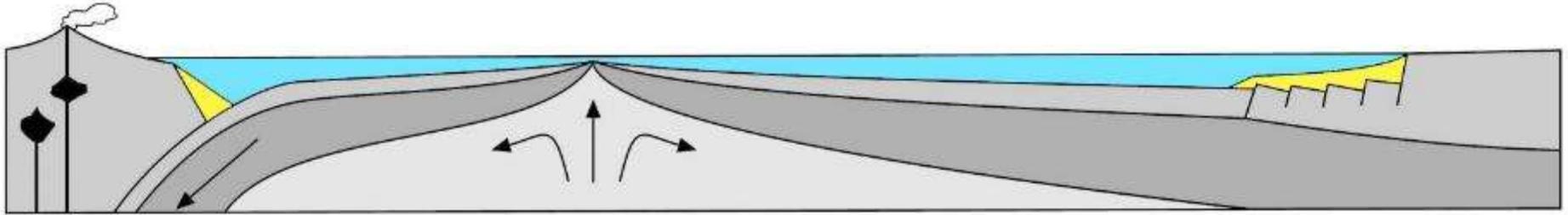
### Sismiquement :

pas ou peu d'activité = pas ou peu de déformation lithosphérique = n'est plus en limite de plaque

### Tectoniquement :

croûte continentale => croûte continentale amincie et étirée => croûte océanique

# Les marges passives : un type particulier de transition océan-continent



## ❑ Sismiquement :

pas ou peu d'activité = pas ou peu de déformation lithosphérique = n'est plus en limite de plaque

## ❑ Tectoniquement :

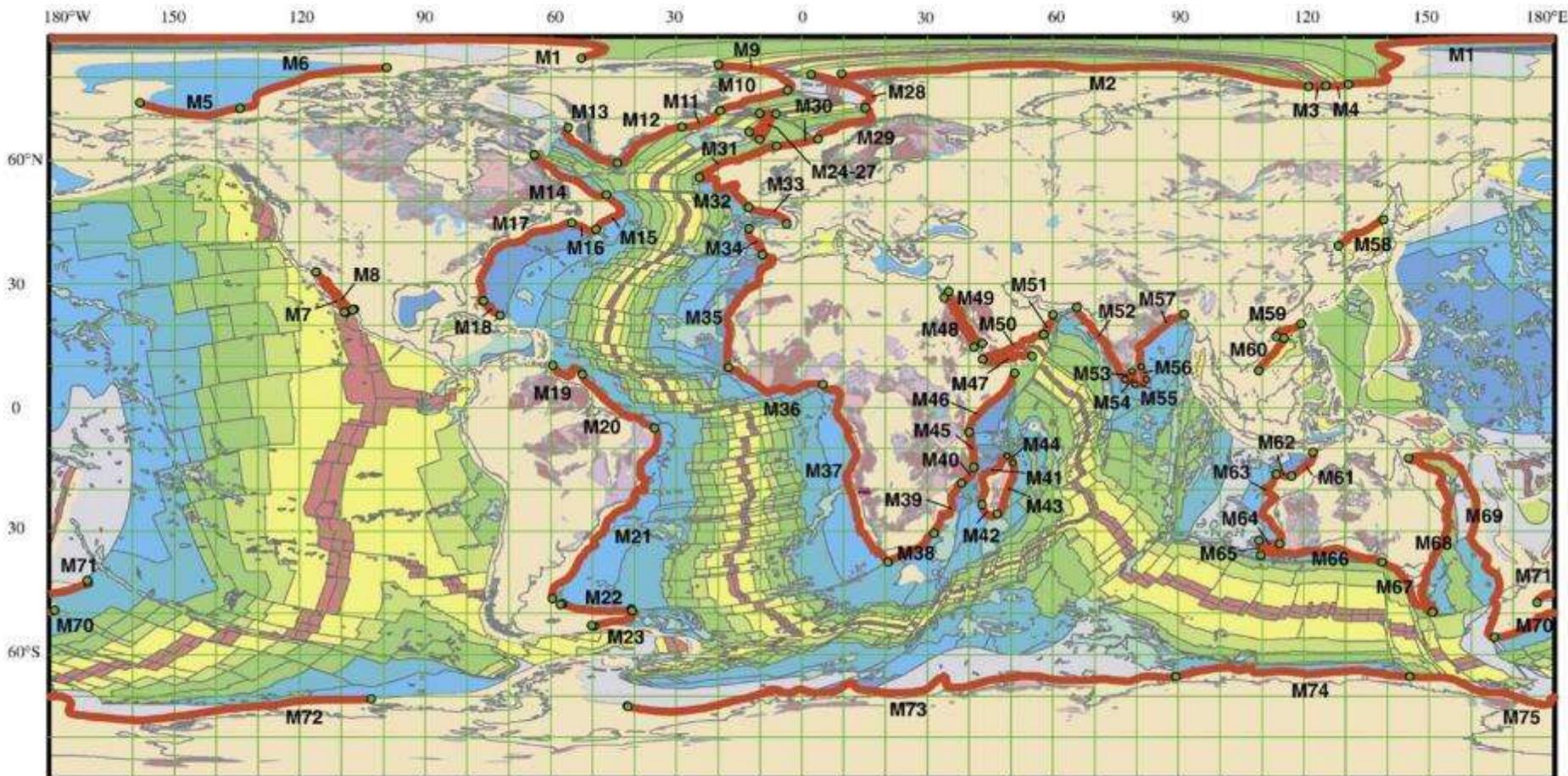
croûte continentale => croûte continentale amincie et étirée => croûte océanique

## ❑ Sédimentologiquement :

environnements littoraux => marins peu profonds => marins profonds

(e.g. delta => systèmes turbiditiques)

# Les marges passives actuelles



## OCEANIC CRUST

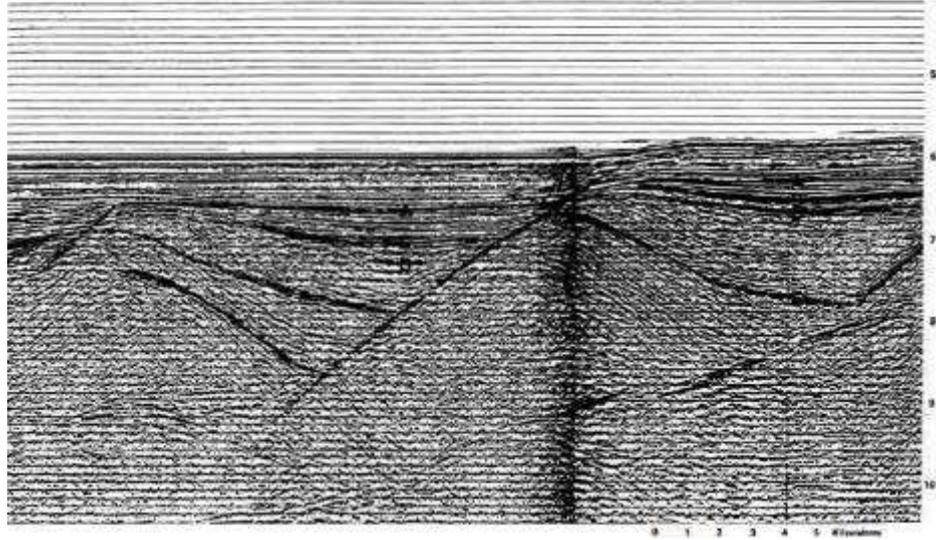
- |  |  |
|--|--|
|  Pliocene to Recent  |  Early Cretaceous     |
|  Miocene             |  Jurassic             |
|  Oligocene           |  Unknown age          |
|  Paleocene to Eocene |  Seamounts & plateaus |
|  Late Cretaceous     |  |

## CONTINENTAL CRUST

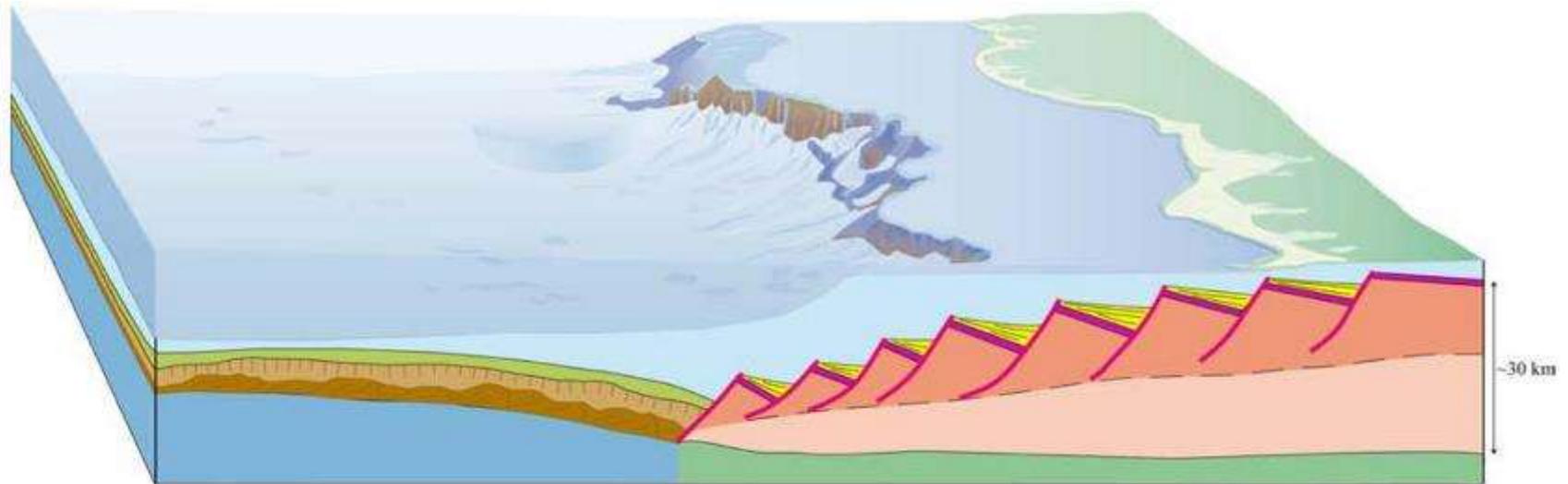
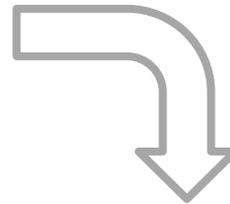
- |  |
|--|
|  Phanerozoic rocks, undivided                         |
|  Precambrian igneous and metamorphic rocks, undivided |
|  Proterozoic igneous and metamorphic rocks            |
|  Archean igneous and metamorphic rocks                |
|  M74 Modern passive margin                             |

# Le modèle de formation classique (pré-années 2000) des marges passives

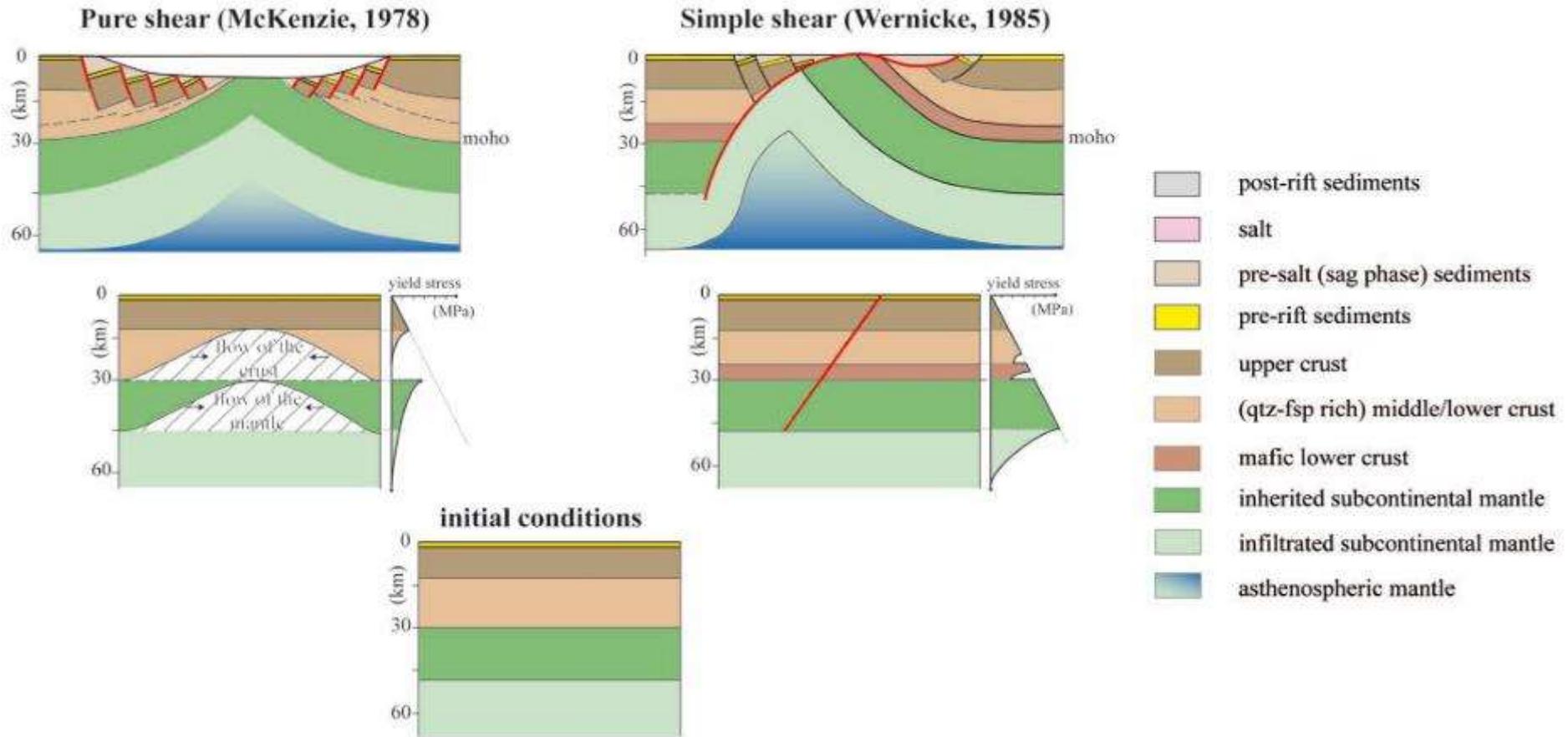
ENTREES DE LA MANCHE  
| MARGE CONTINENTALE |  
Profil CM.15



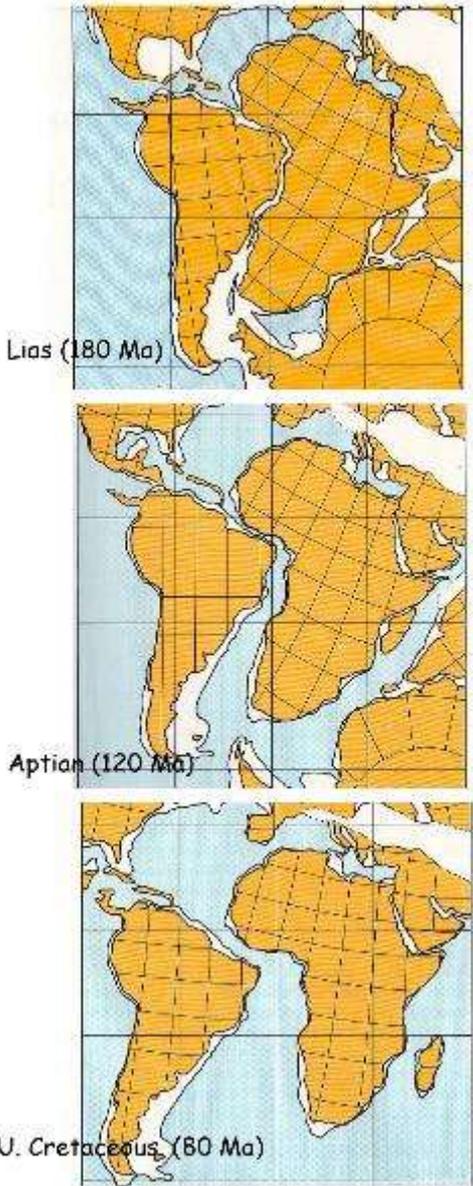
- Dragages
- Forages
- Images sismiques



# Le modèle de formation classique des marges passives



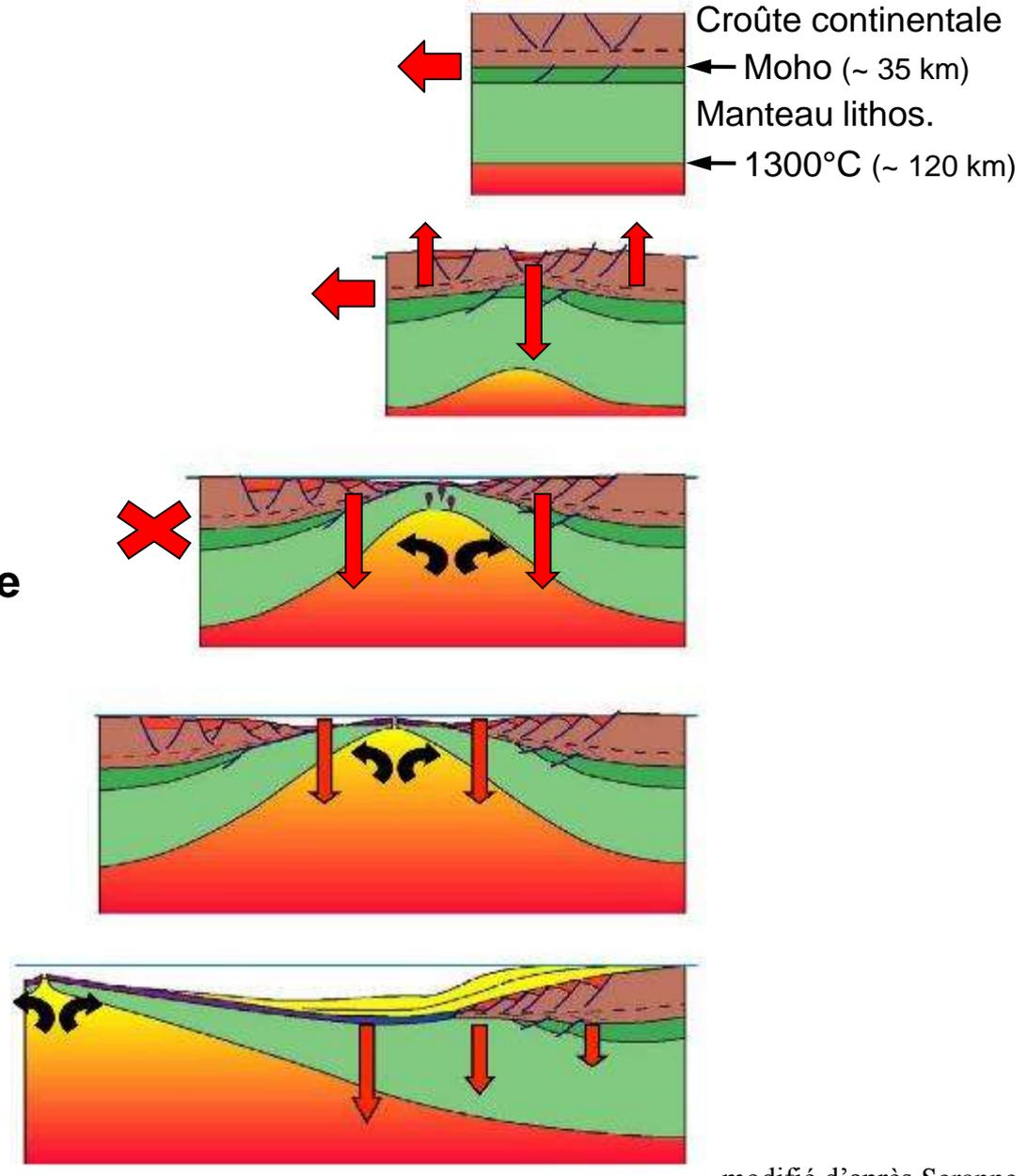
# Le modèle de formation classique des marges passives



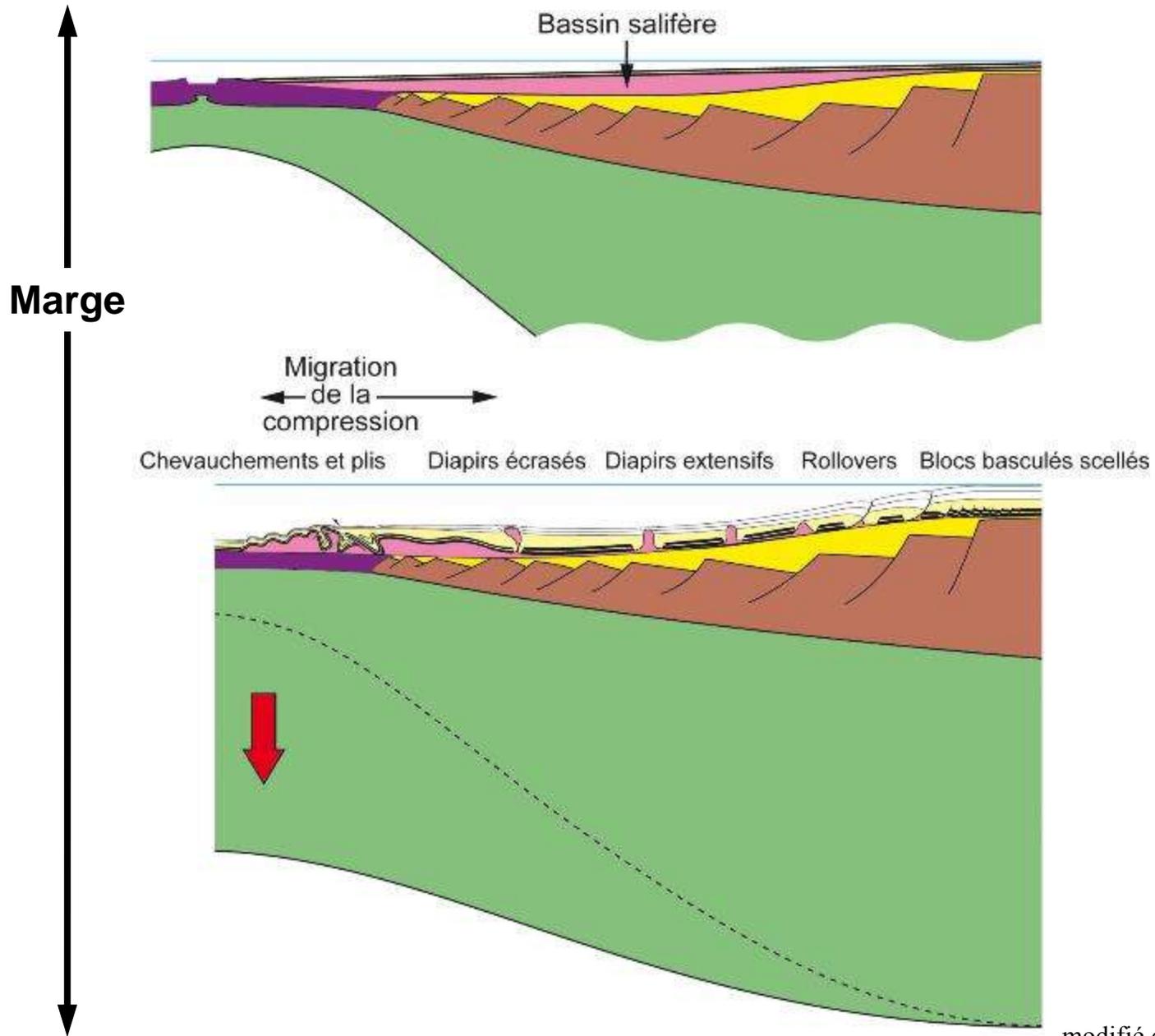
Rift

Rupture continentale

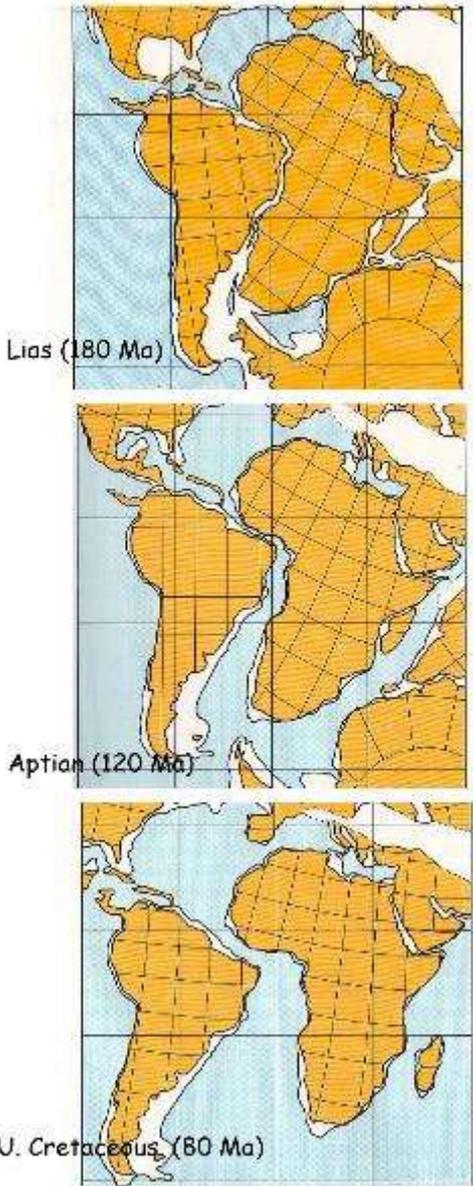
Marge



# Le modèle de formation classique des marges passives



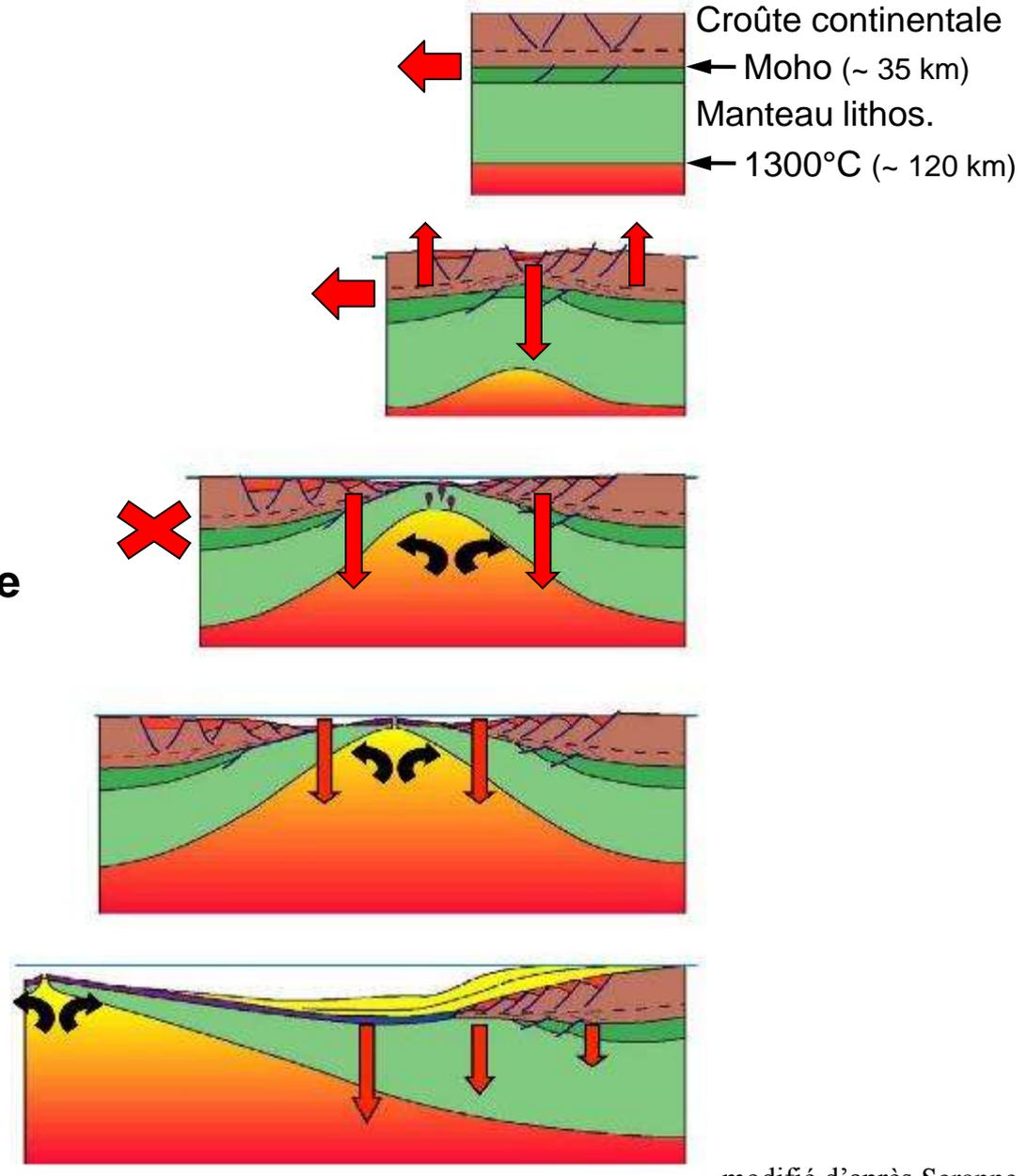
# Le modèle de formation classique des marges passives



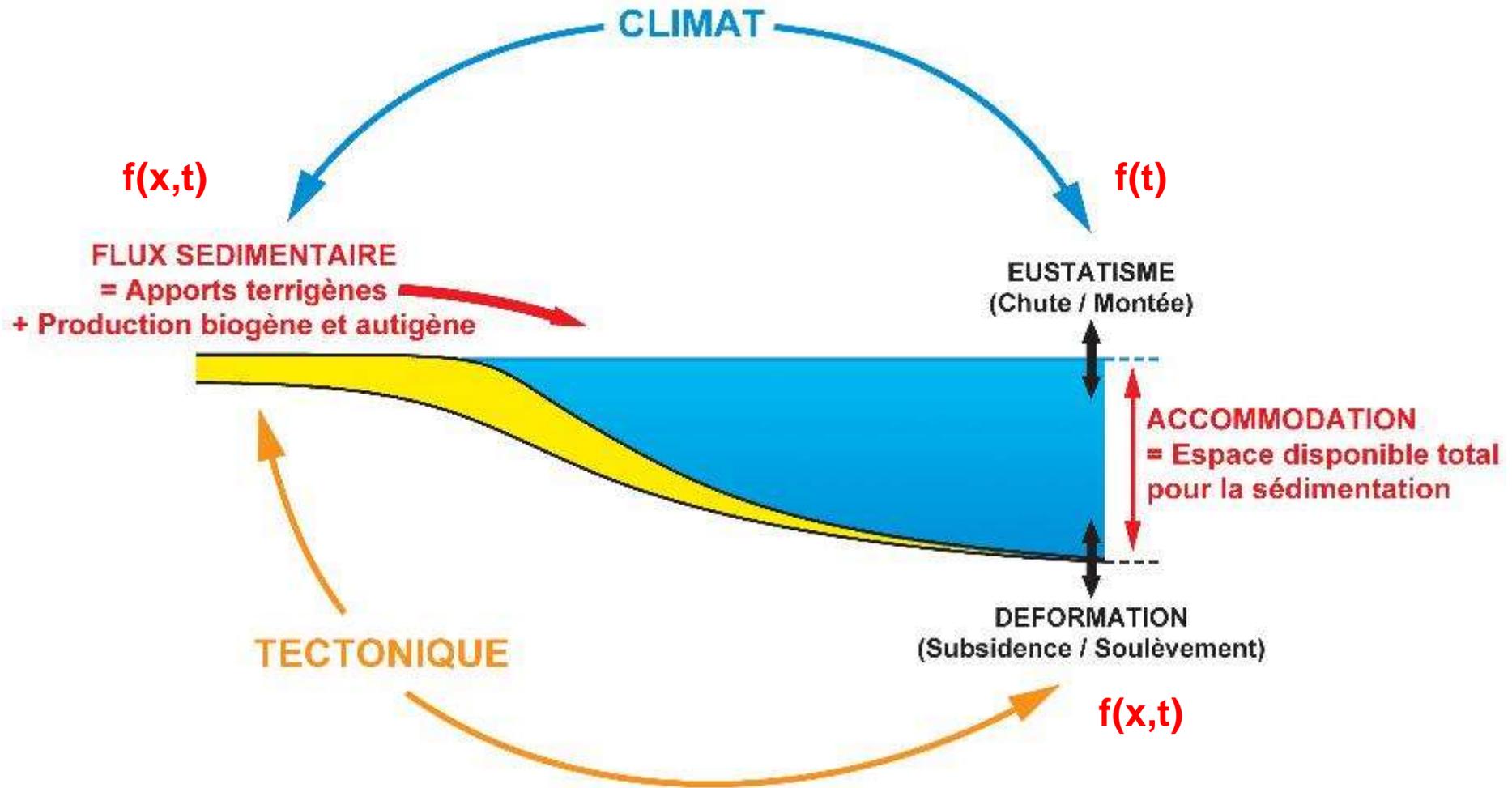
Rift

Rupture continentale

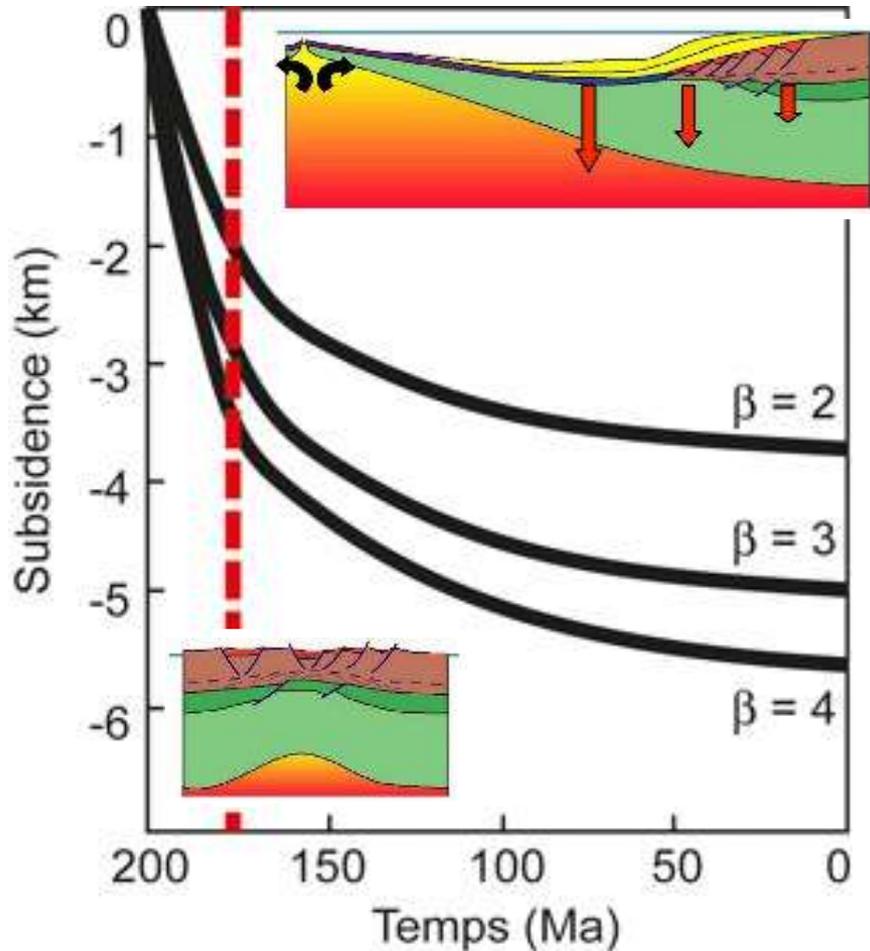
Marge



# Les facteurs de contrôle du remplissage des bassins sédimentaires



# Les prédictions du modèle classique en terme de remplissage sédimentaire



## Stade rift :

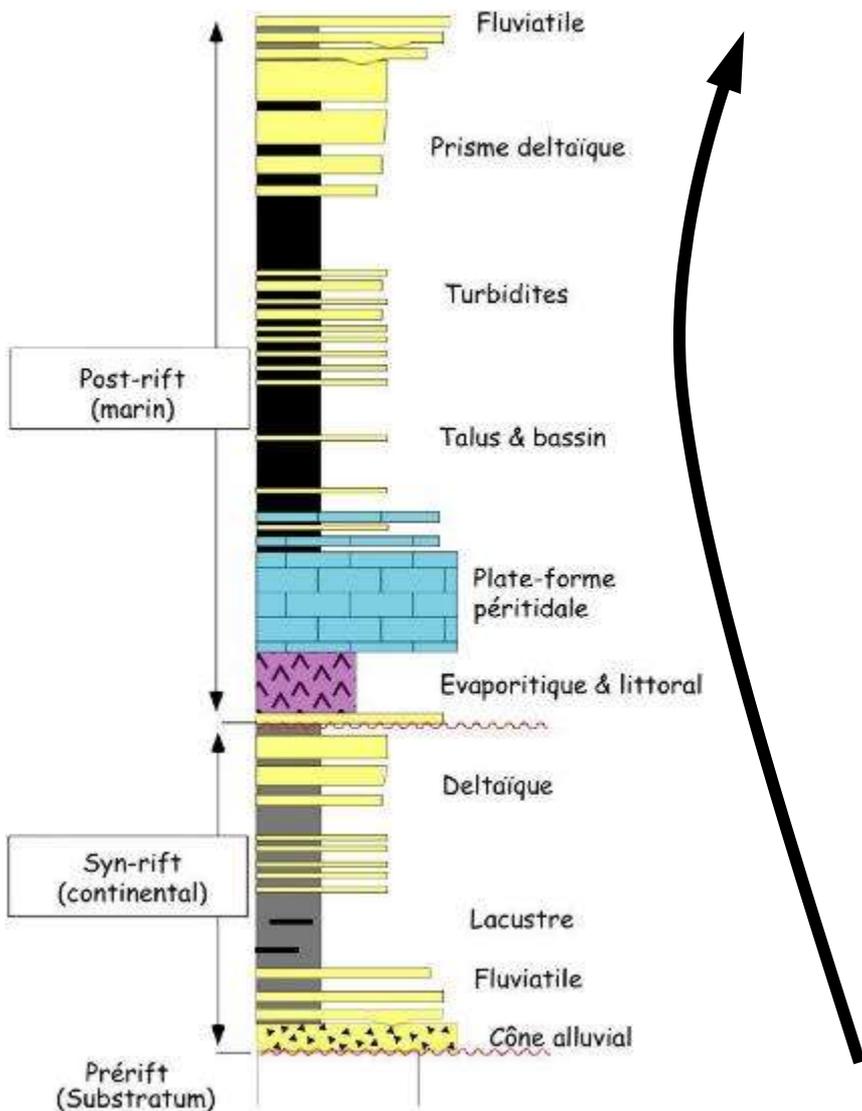
- Extension lithosphérique (étirement + amincissement)
- Subsidence tectonique rapide + épaulements

## Stade Marge :

- Réajustement thermique et glissement gravitaire
- Subsidence thermique rapide puis plus lente

+ Tectono- ou glacio-eustatisme et flux sédimentaire d'origine climatique

# Les prédictions du modèle classique en terme de remplissage sédimentaire



## Stade rift :

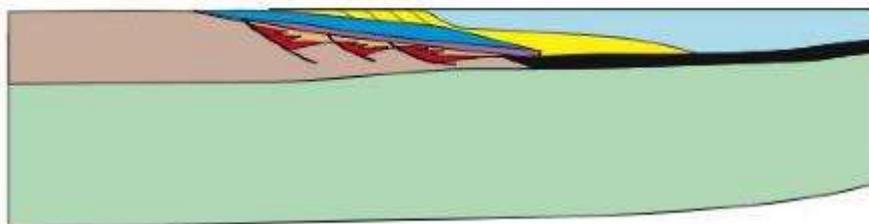
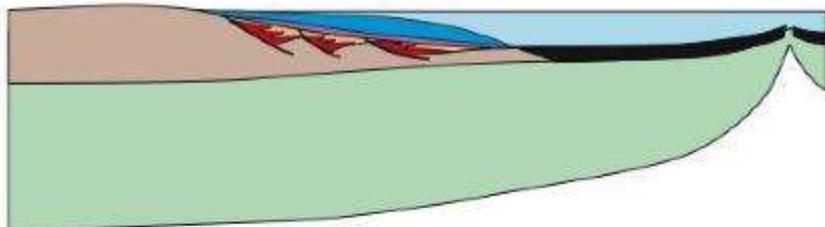
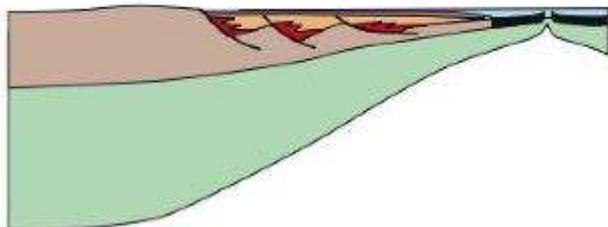
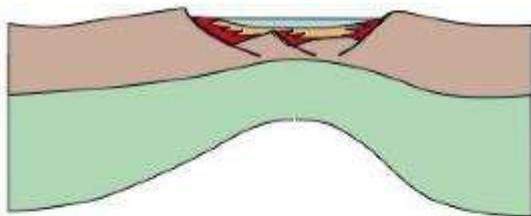
- Extension lithosphérique (étirement + amincissement)
- Subsidence tectonique rapide + épaulements
- Flux sédimentaire important
- Sédimentation continentale

## Stade Marge :

- Réajustement thermique et glissement gravitaire
- Subsidence thermique rapide puis plus lente
- Flux sédimentaire variable
- Sédimentation littorale à marine profonde

+ Tectono- ou glacio-eustatisme et flux sédimentaire d'origine climatique

# Les prédictions du modèle classique en terme de remplissage sédimentaire



## Stade rift :

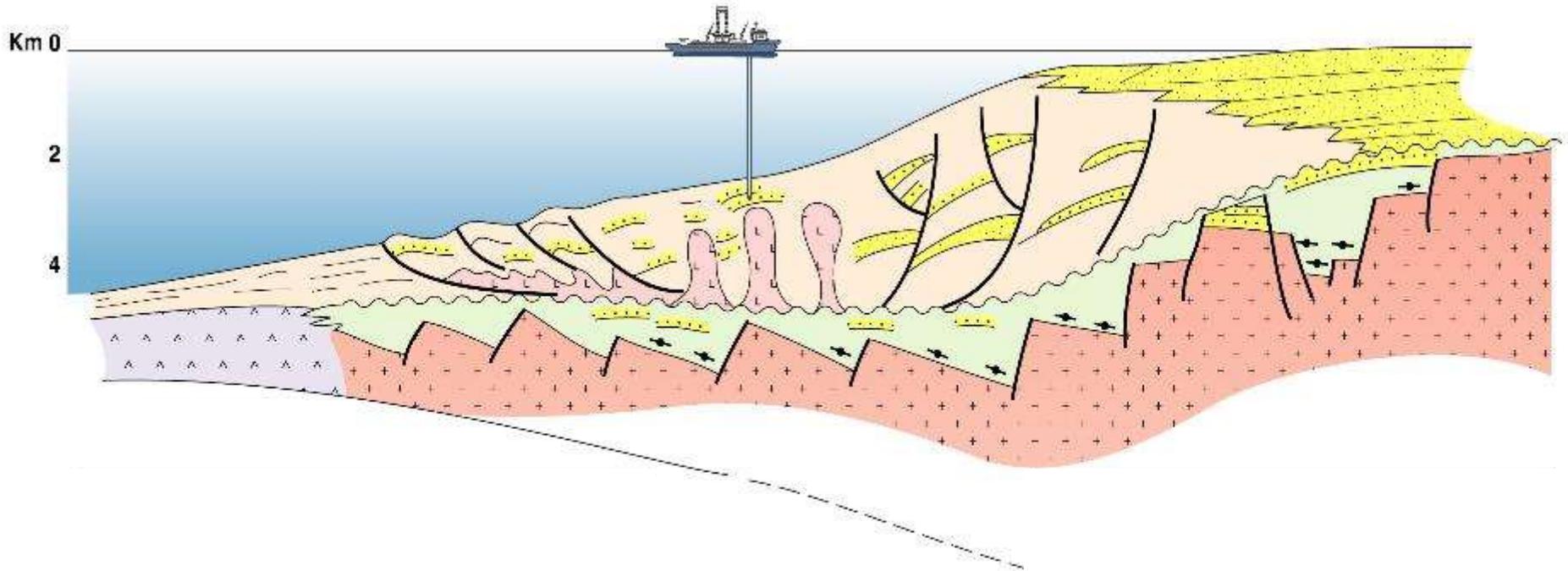
- Extension lithosphérique (étirement + amincissement)
- Subsidence tectonique rapide + épaulements
- Flux sédimentaire important
- Sédimentation continentale
- Enfouissement hétérogène (x 1 km) et variable
- Flux thermique hétérogène (x 1 km) et variable

## Stade Marge :

- Réajustement thermique et glissement gravitaire
- Subsidence thermique rapide puis plus lente
- Flux sédimentaire variable
- Sédimentation littorale à marine profonde
- Enfouissement hétérogène (x 10 km) et continu
- Flux thermique hétérogène (x 10 – 100 km) et continu

+ Tectono- ou glacio-eustatisme et flux sédimentaire d'origine climatique

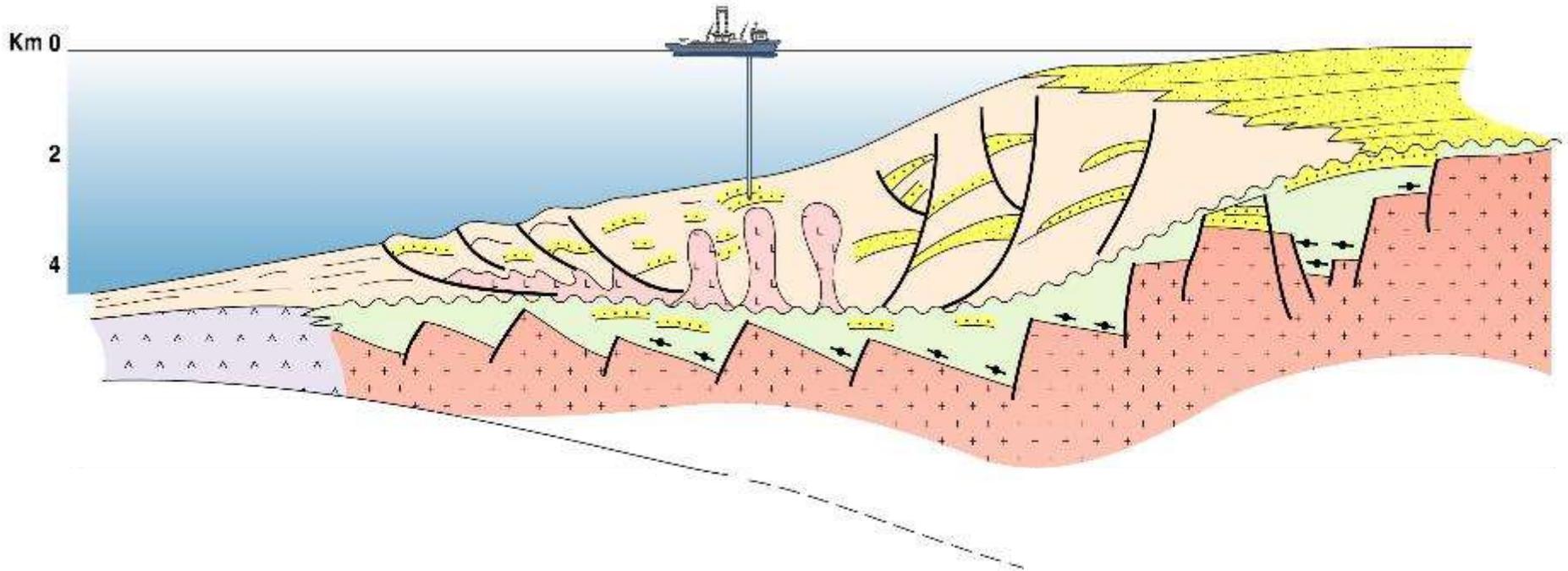
# Les prédictions du modèle classique en terme d'exploration



## Éléments syn-rifts du système pétrolier :

- Roches mères continentales** (charbons, M.O. lacustre)
- Réservoirs continentaux** (grès fluvio-deltaïques, calcaires lacustres bioclastiques ou bioconstruits)
- Couvertures continentales** (argiles et marnes lacustres)
- Pièges structuraux** (blocs basculés)
- Maturation si enfouissement et flux thermique suffisants**

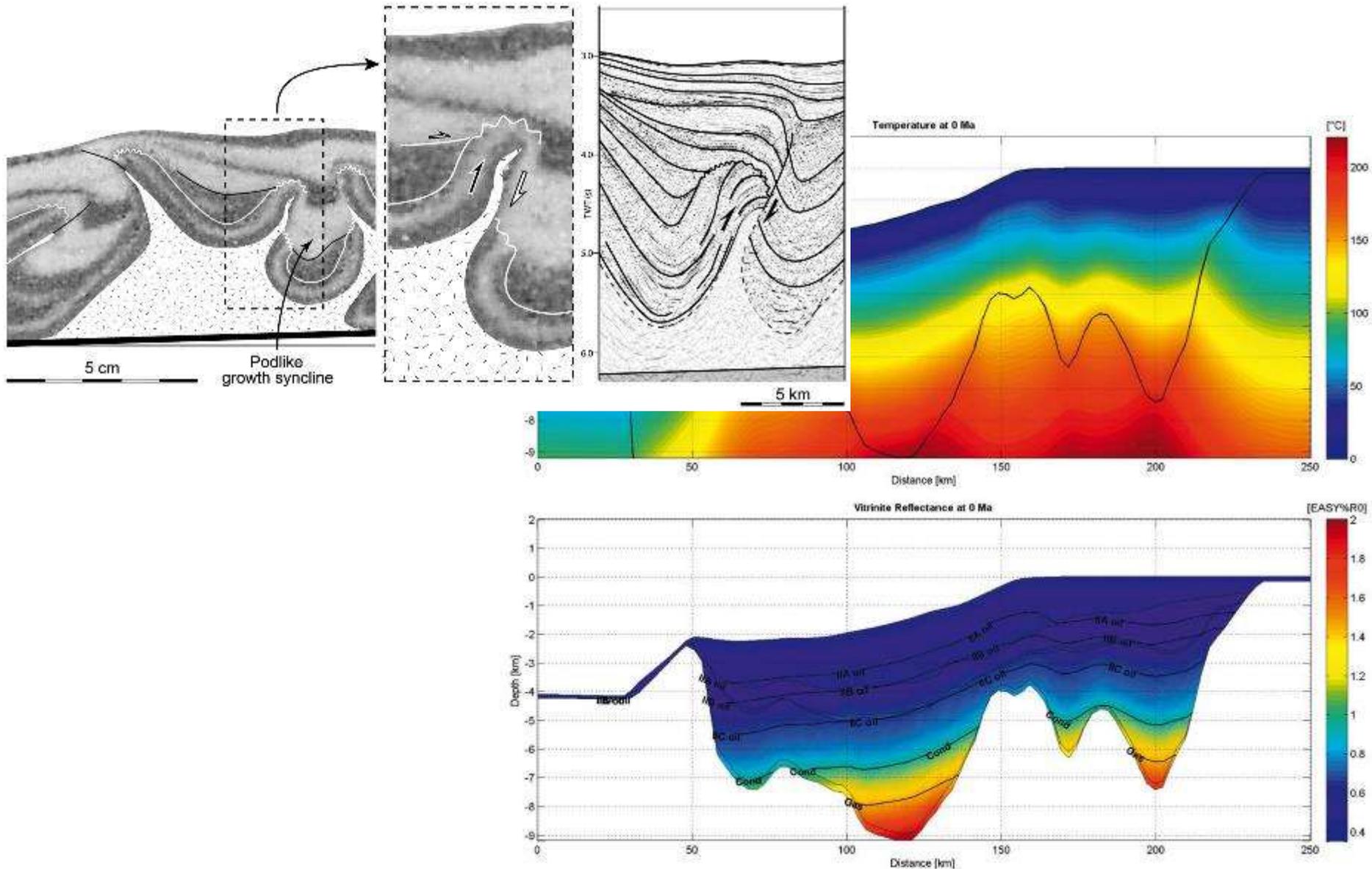
# Les prédictions du modèle classique en terme d'exploration



## Éléments post-rifts du système pétrolier :

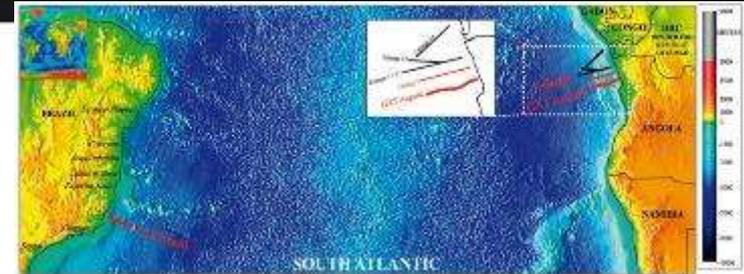
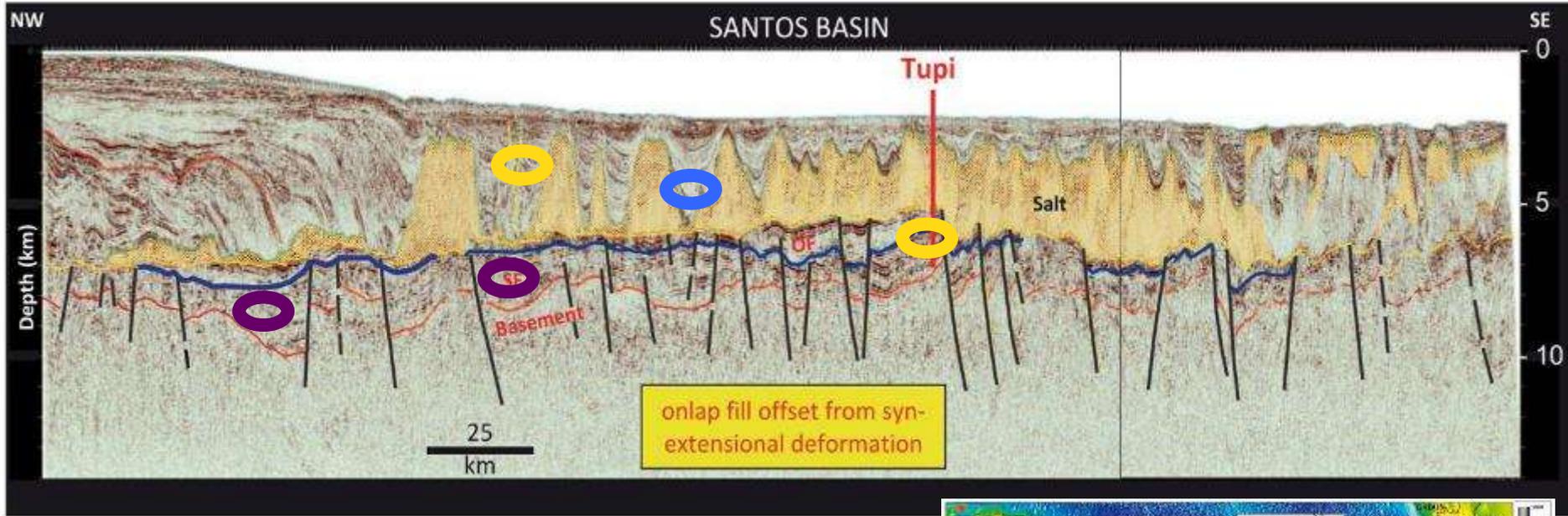
- Roches mères littorales à marines peu profondes (M.O. marines, charbons transportés)
- Réservoirs littoraux à marins profonds (grès fluvio-deltaïques à turbiditiques, calcaires de plate-forme)
- Couvertures marines peu profondes à profondes (évaaporites, argiles et marnes deltaïques à pélagiques)
- Pièges stratigraphiques et structuraux (rollovers, diapirs, chevauchements et plis)
- Maturation si enfouissement et flux thermique suffisants

# Une aide à l'interprétation des données de subsurfaces et à la modélisation des systèmes pétroliers



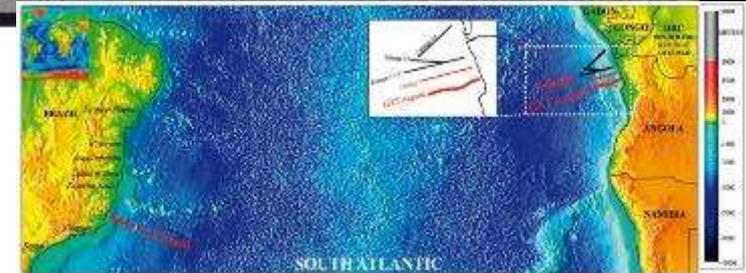
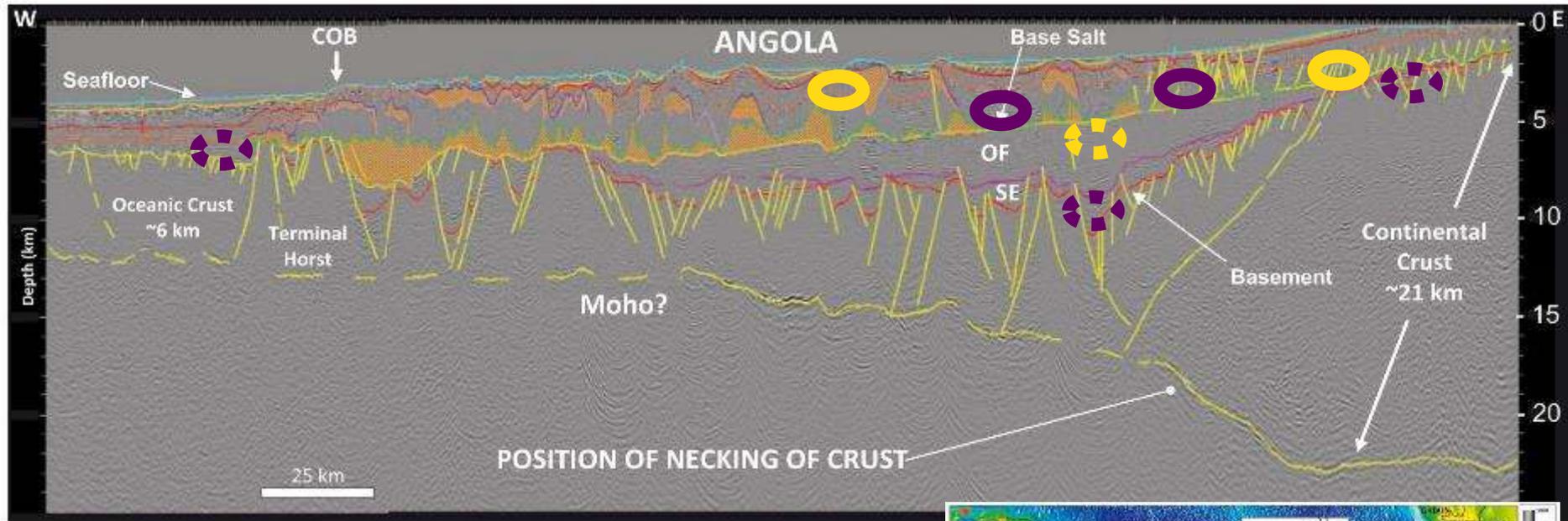
d'après Fort *et al.*, 2004 ; Rüpke *et al.*, 2010

# Exemple de la marge brésilienne



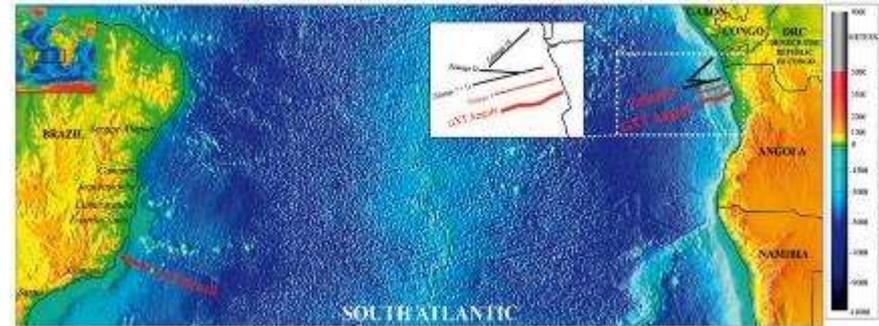
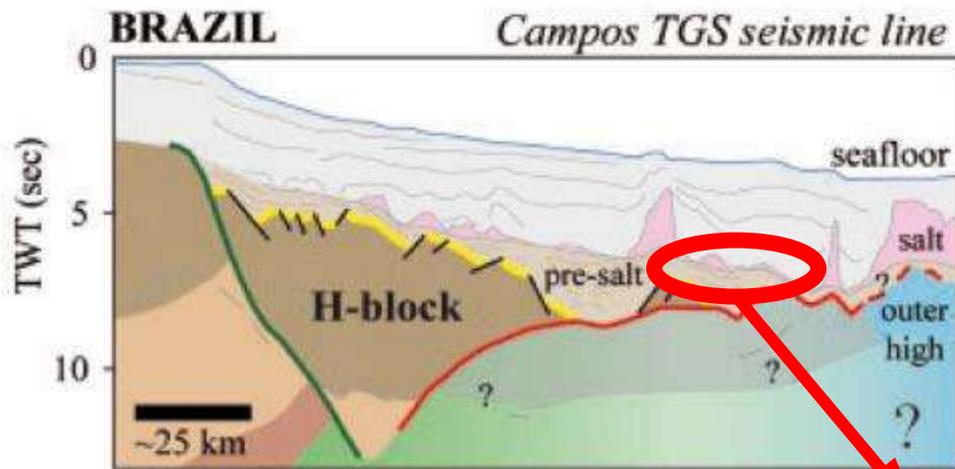
- ❑ **Roches mères syn-rifts** (argiles lacustres) **et post-rifts** (argiles littorales à prodeltaïques)
- ❑ **Réservoirs syn-rifts** (calcaires lacustres bioconstruits) **et post-rifts** (grès turbiditiques)
- ❑ **Couvertures post-rifts** (évacorites et argiles pélagiques)
- ❑ **Pièges structuraux syn-rifts** (blocs basculés) **et post-rifts** (rollovers, diapirs, chevauchements et plis)
- ❑ **Roches mères syn-rifts matures sur toute la marge / roches mères post-rifts immatures**

## Exemple de la marge angolaise

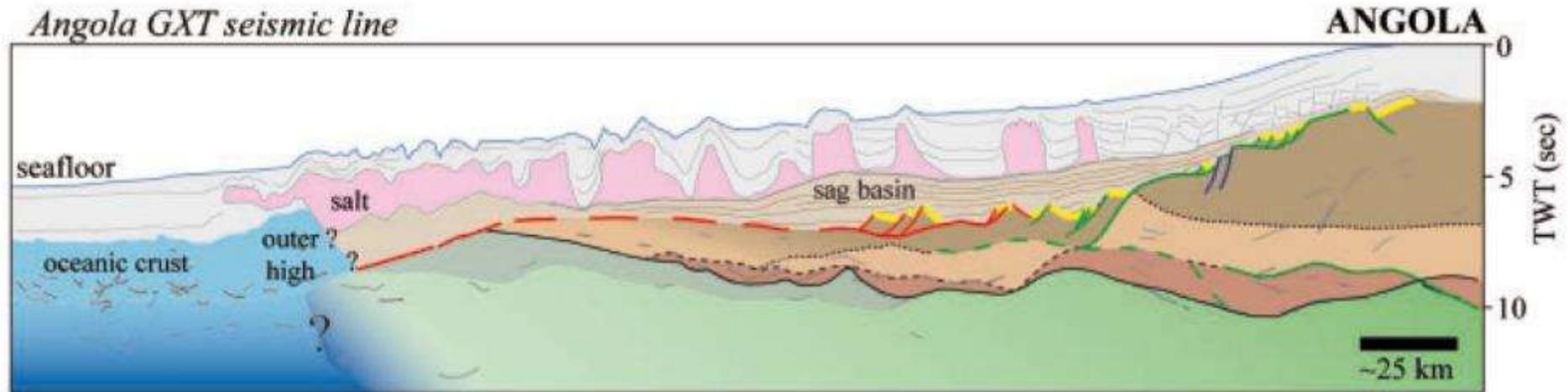


- ❑ **Roches mères syn-rifts ? (argiles lacustres) et post-rifts (argiles littorales à prodeltaïques)**
- ❑ **Réservoirs syn-rifts ? (calcaires lacustres bioconstruits) et post-rifts (calcaires de plate forme et grès turbiditiques)**
- ❑ **Couvertures post-rifts (évaporites et argiles pélagiques)**
- ❑ **Pièges structuraux syn-rifts ? (blocs basculés) et post-rifts (rollovers, diapirs, chevauchements et plis)**
- ❑ **Roches mères syn-rifts / roches mères post-rifts matures au centre de la marge**

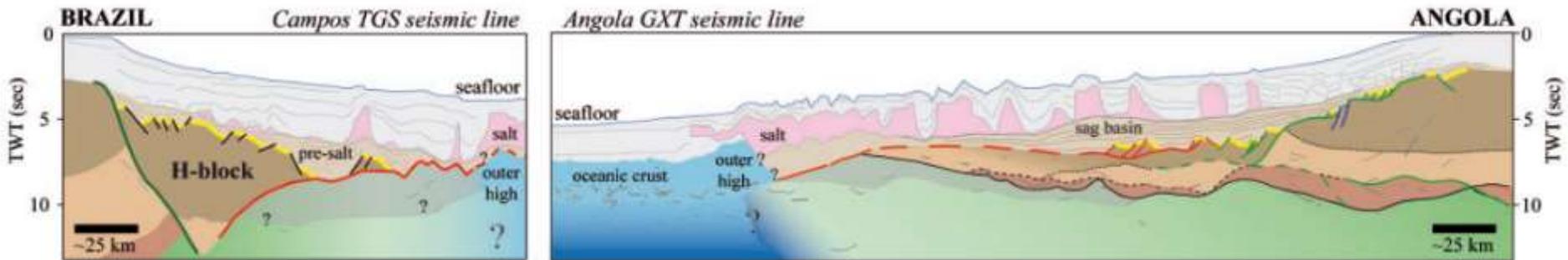
## Des observations qui diffèrent du modèle classique



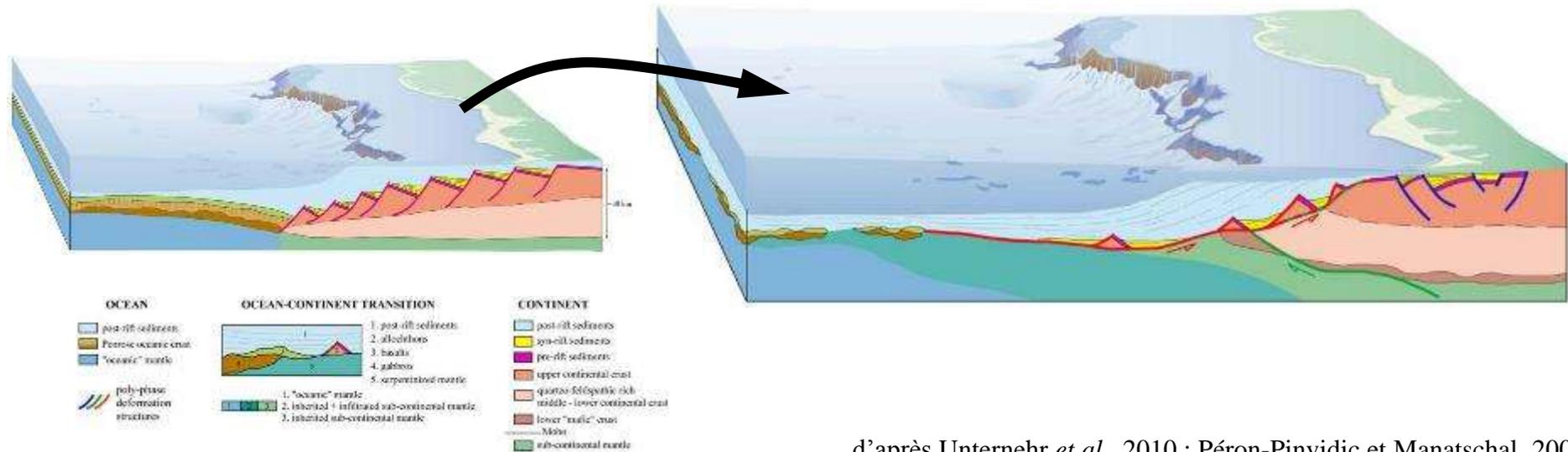
**24 Gbo (e.g. Tupi = 3-5 Gbo)**



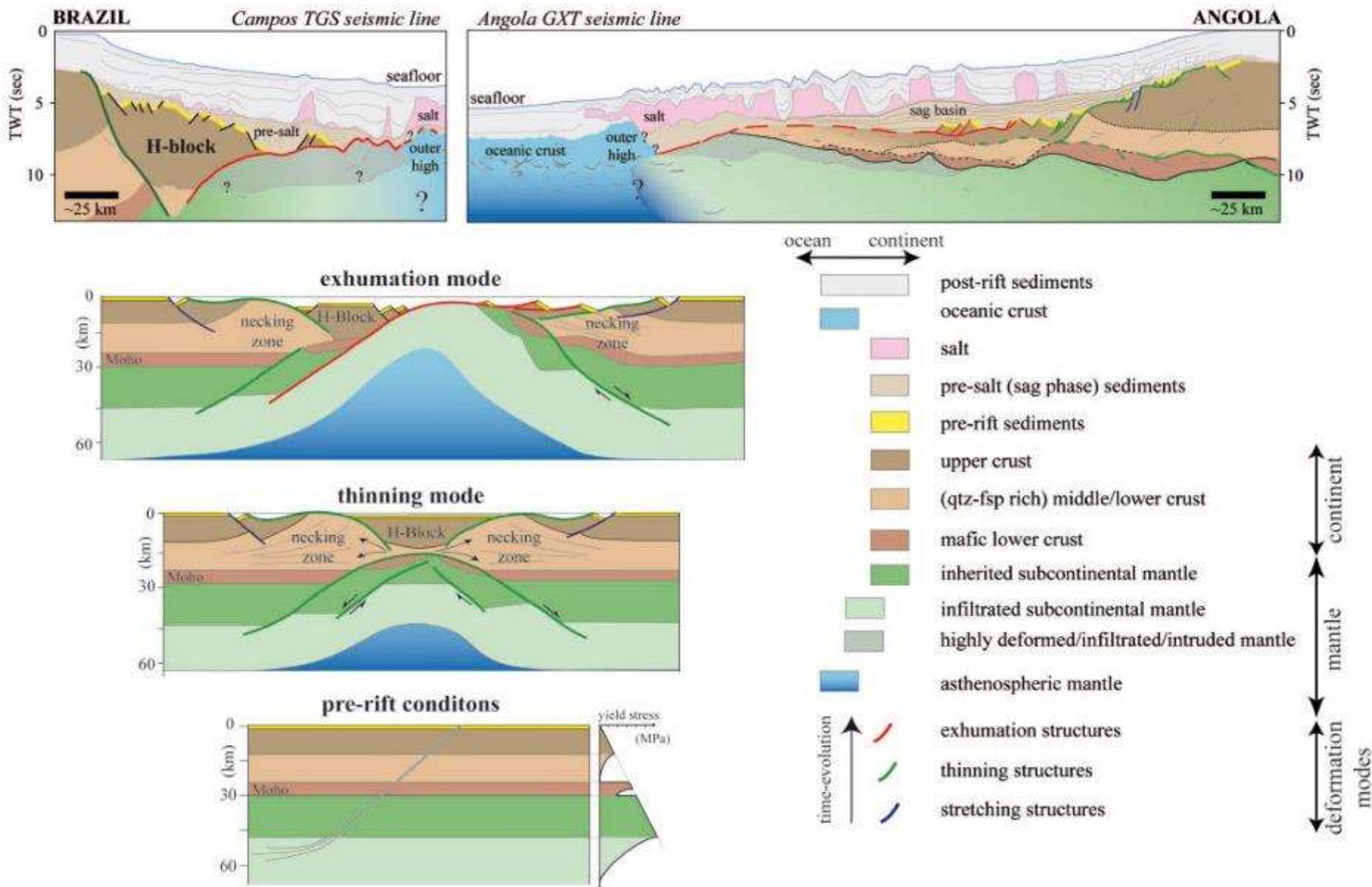
## Des observations qui diffèrent du modèle classique



- Croûte hyper-étirée sous un « sag-basin » sans failles normales associées
- Détachement au sommet du socle à la transition océan-continent
- Manteau exhumé sans magmatisme associé à la transition océan-continent
- Soulèvements post-rifts, *etc.*

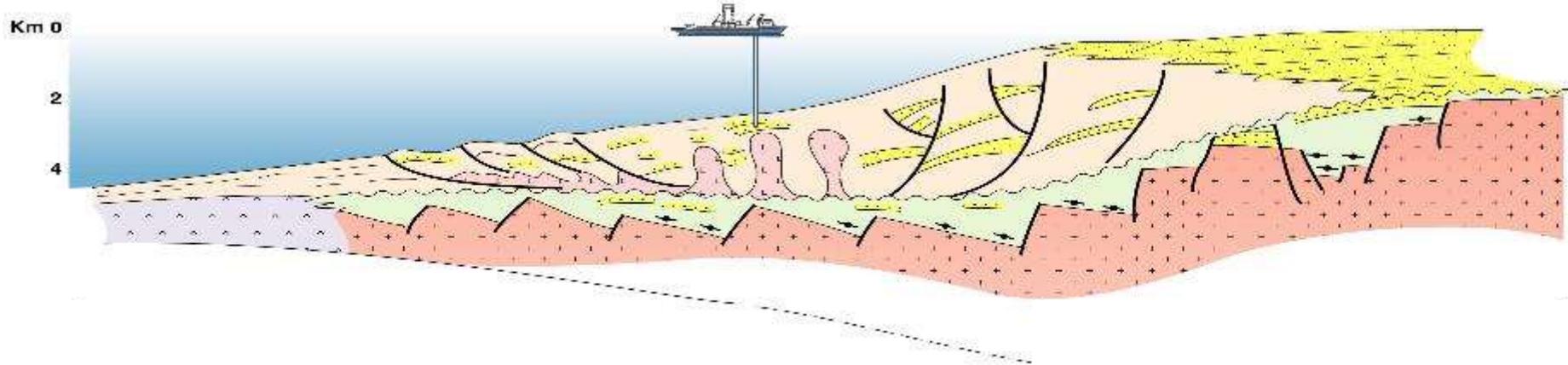


# Des observations qui diffèrent du modèle classique



## Conclusion

- ❑ Pas d'hydrocarbures sans bassin, ni de bassin sans tectonique
- ❑ Via la déformation, le tectono-eustatisme et le flux de sédiments, la tectonique est un paramètre de contrôle majeur des systèmes pétroliers
- ❑ Les marges passives sont des bassins avec une histoire polyphasée et longue (x 100 Ma) propice à la formation de gisements
- ❑ Les connaissances au sujet des marges progressent par apports respectifs entre géologie appliquée et fondamentale



# LES RESSOURCES PETROLIERES NON CONVENTIONNELLES NATURE ET ENJEUX

Raymond MICHELS  
CNRS – G2R



[raymond.michels@univ-lorraine.fr](mailto:raymond.michels@univ-lorraine.fr)

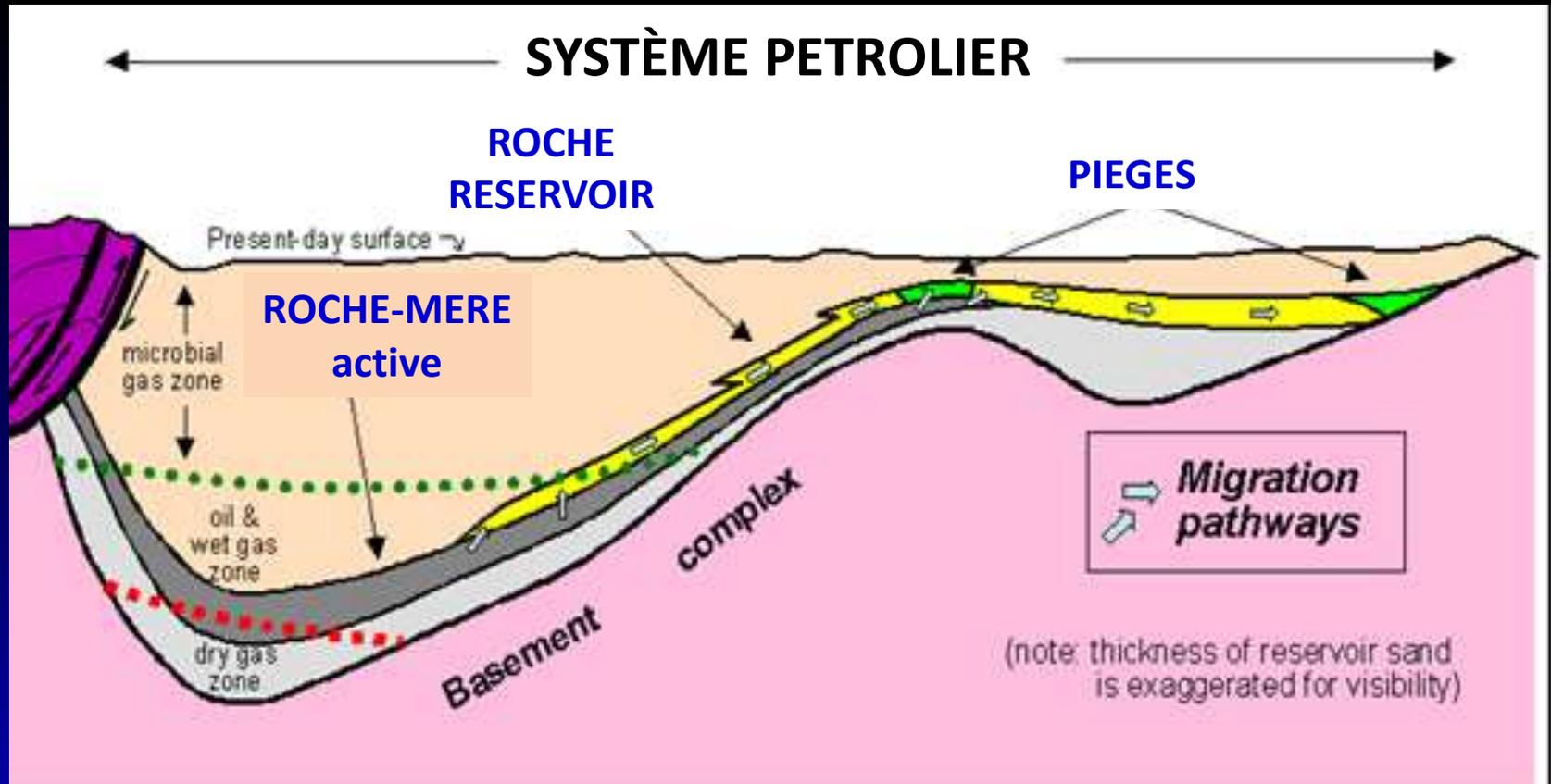
# **QU'EST-CE QU'UNE RESSOURCE « NON CONVENTIONNELLE » ?**

**Découverte scientifique?**

**Nouvel objet géologique?**

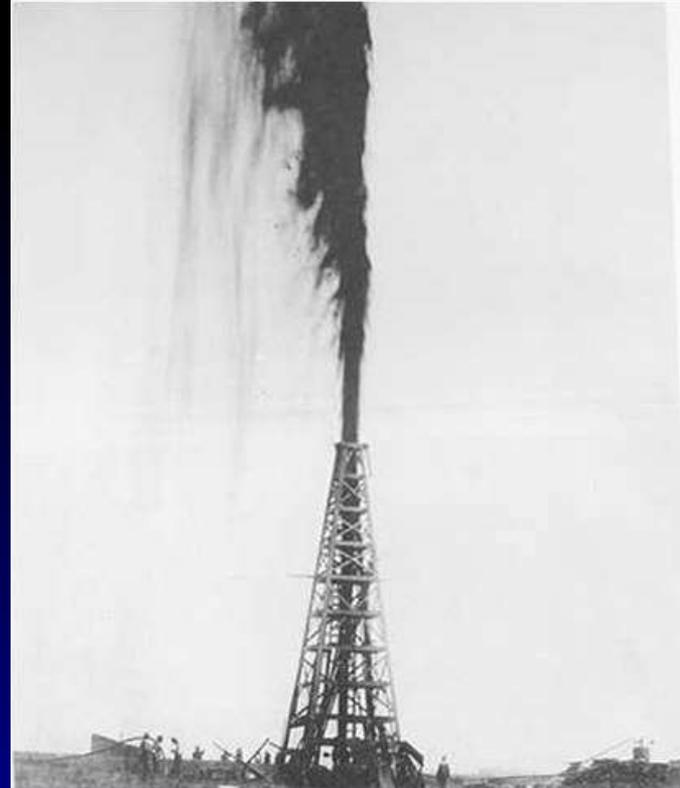
**Nouveau concept?**

# LE MODELE D'EXPLORATION



# LE MODE D'EXPLOITATION

**Ressources  
conventionnelles**



**Ressources non-conventionnelles:**

**Les hydrocarbures ne sortent pas spontanément.....**

**CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES  
DE QUELQUES GISEMENTS  
NON CONVENTIONNELS**

# SABLES BITUMINEUX (OIL SANDS)

**Des réservoirs pétroliers près de la surface**

**Du pétrole dégradé:  
Perte des gaz  
Biodégradation**





# Exploitation en carrière

Alberta, Canada

**Des sables  
non consolidés**



# Pechelbronn Lobsann 1498-1970

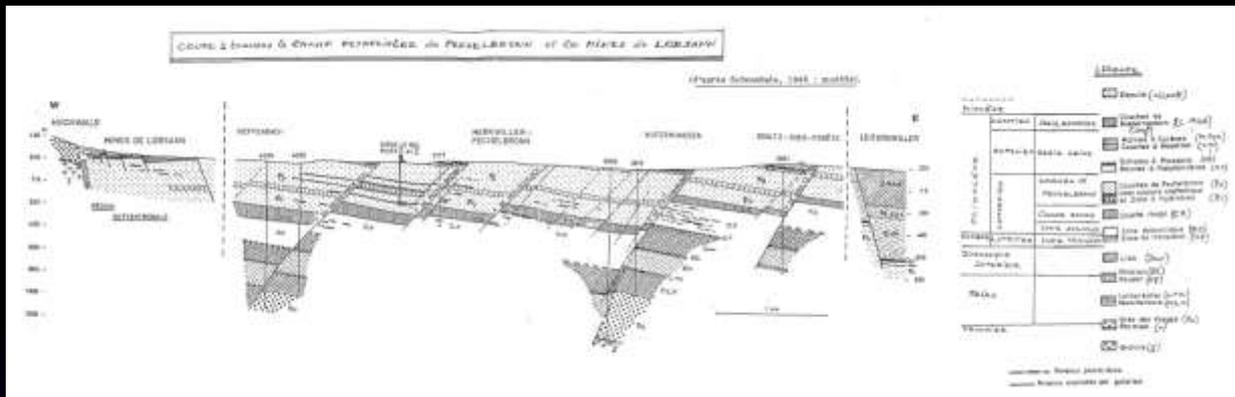
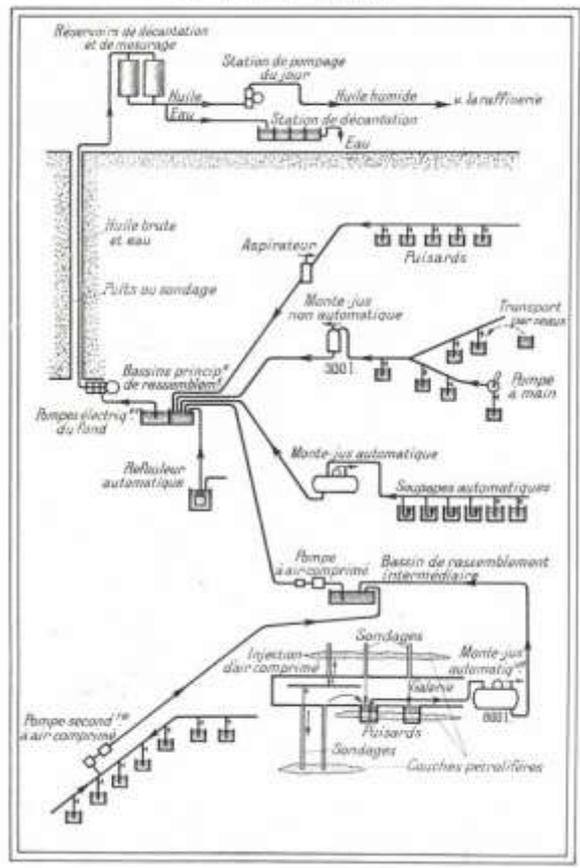


Fig. 4. — Schéma du pompage de l'huile au fond, tel qu'il est pratiqué aujourd'hui dans les mines de Pechelbronn.



## Exploitation en mine

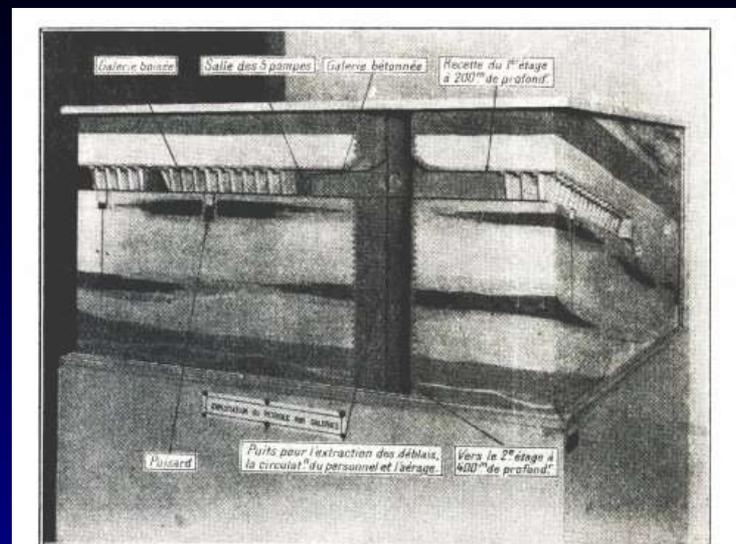
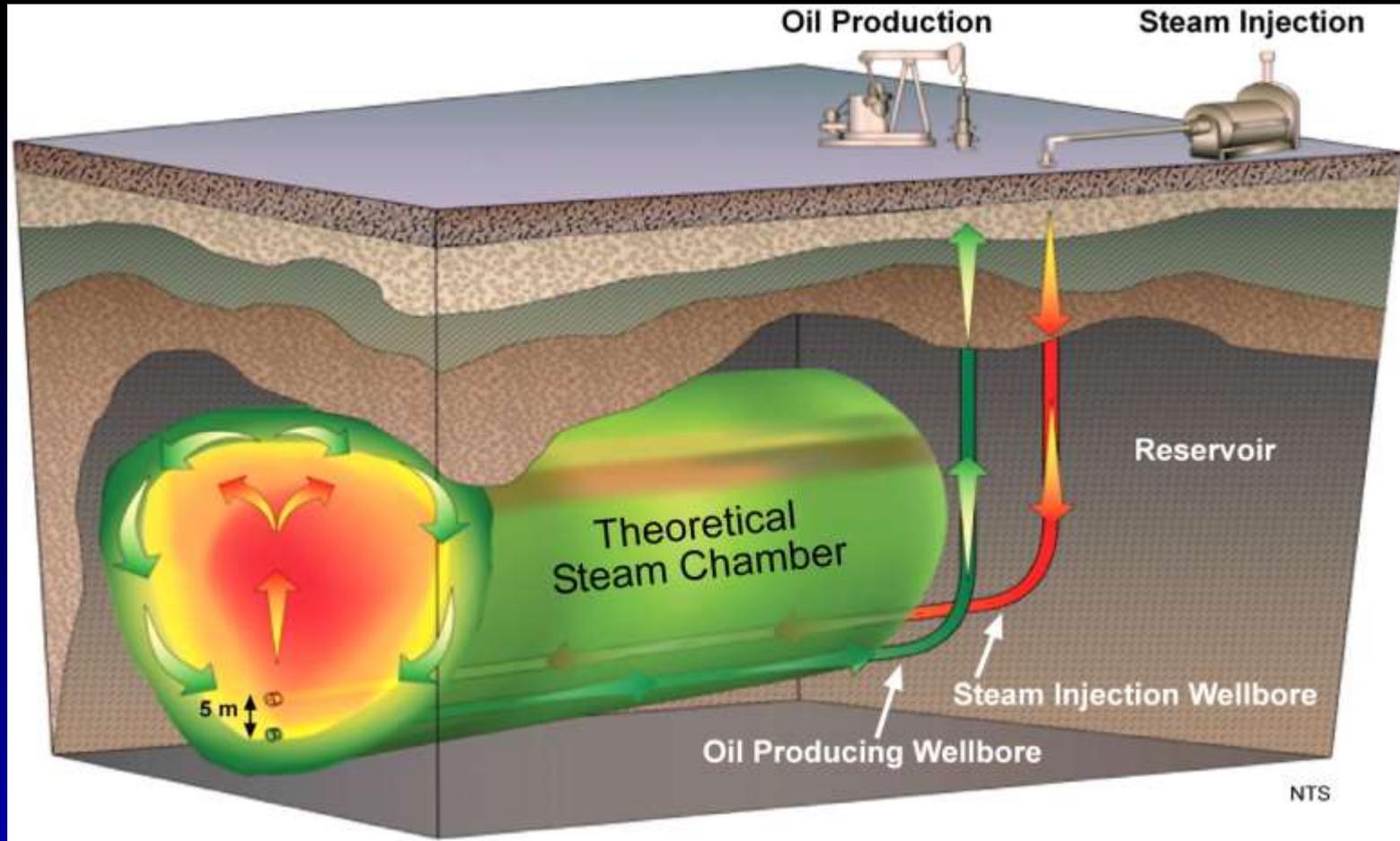


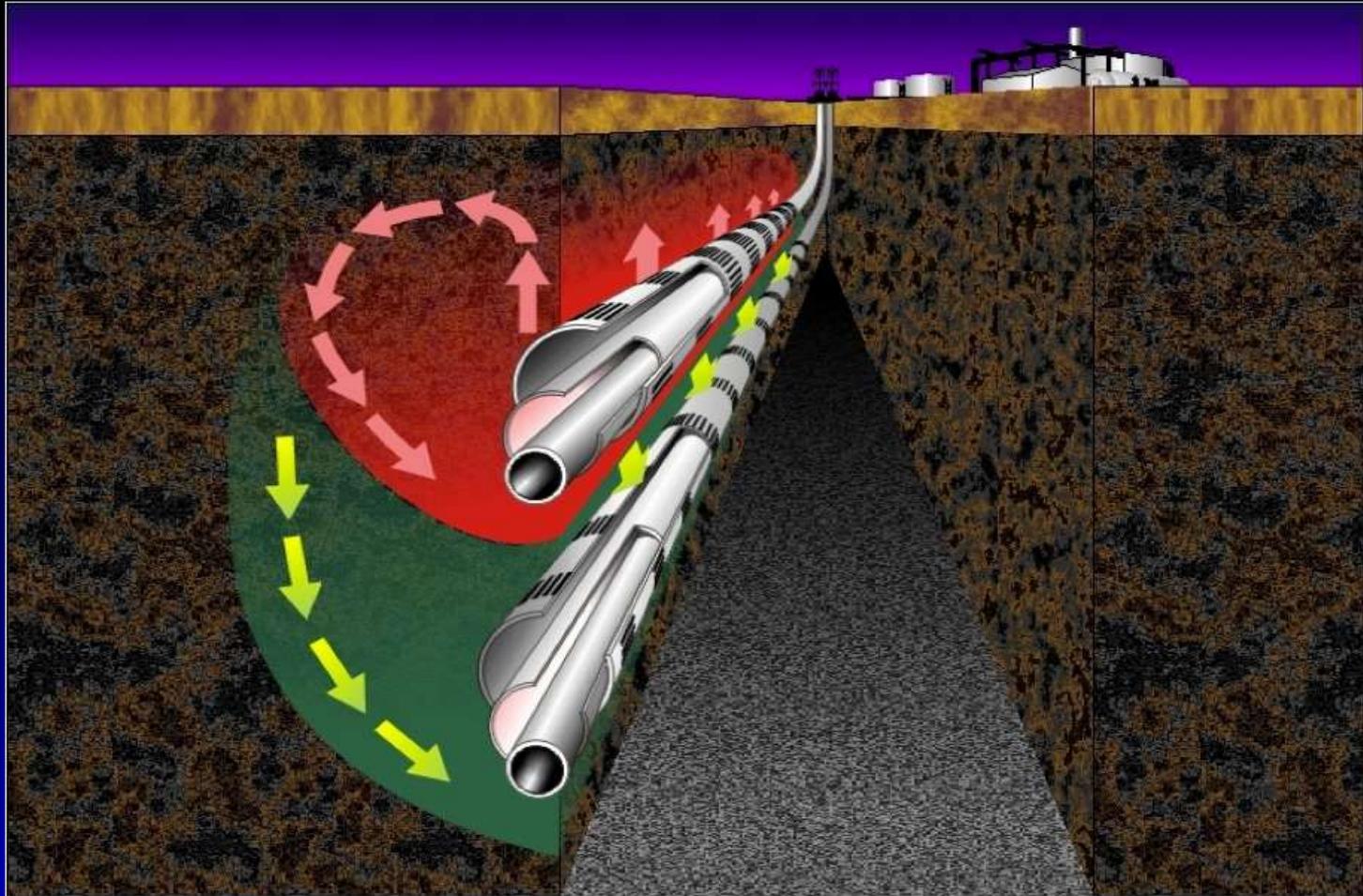
Fig. 2. — Maquette montrant comment s'effectue actuellement l'exploitation aux mines de Pechelbronn.

Au centre : puits pour l'extraction des déblais; la circulation du personnel et l'aérage; la galerie tracée dans le stérile est équipée de place en place de puisards descendant jusqu'à la couche pétrolifère. De ces puisards partent des sondages dirigés vers les bouches inférieures et par lesquels on chasse le pétrole, au moyen d'air comprimé, vers les trous de sonde voisins.

# Exploitation par injection d'eau vapeur



# Steam Assisted Gravity Drainage



# Lavage



Image courtesy of: Suncor

# L'huile lourde



# Raffinage



Image courtesy of: Suncor

# Le produit de raffinage



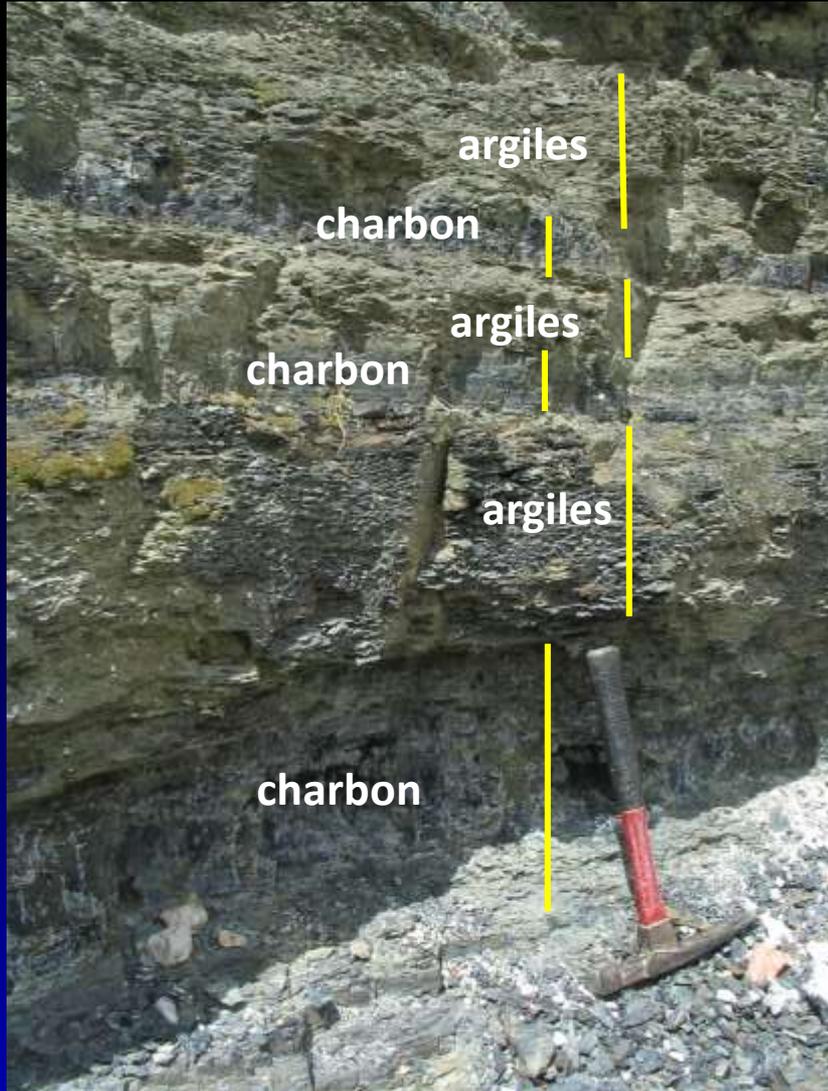
# LE GAZ DE CHARBON (COAL BED METHANE)



**Grisou**

**Méthane CH<sub>4</sub>**



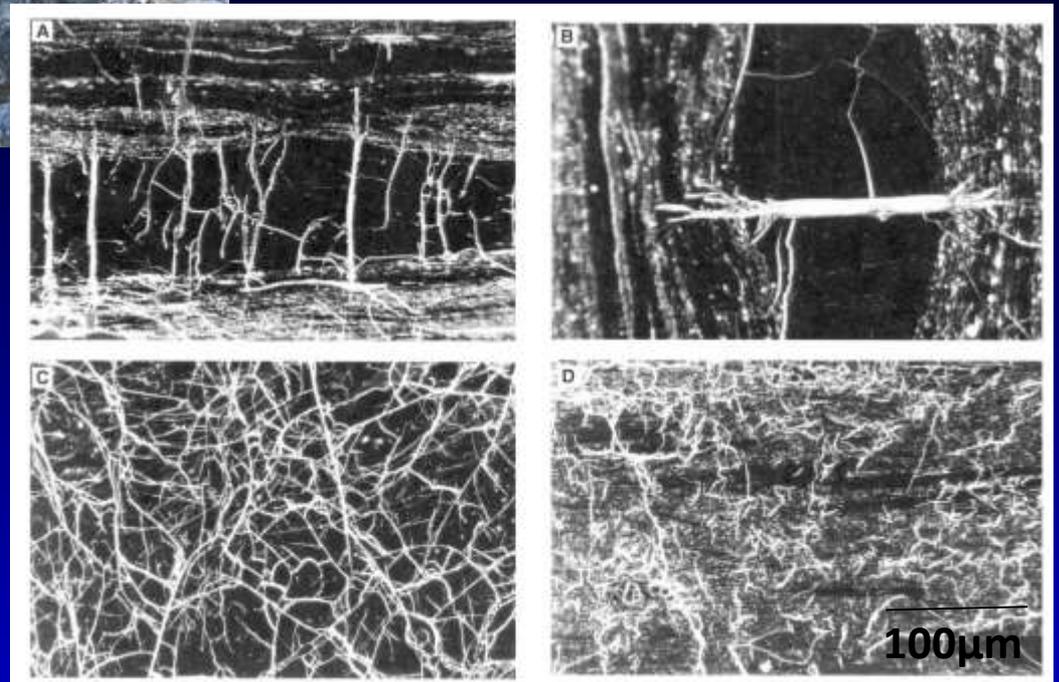


**Le charbon est  
associé aux argiles**

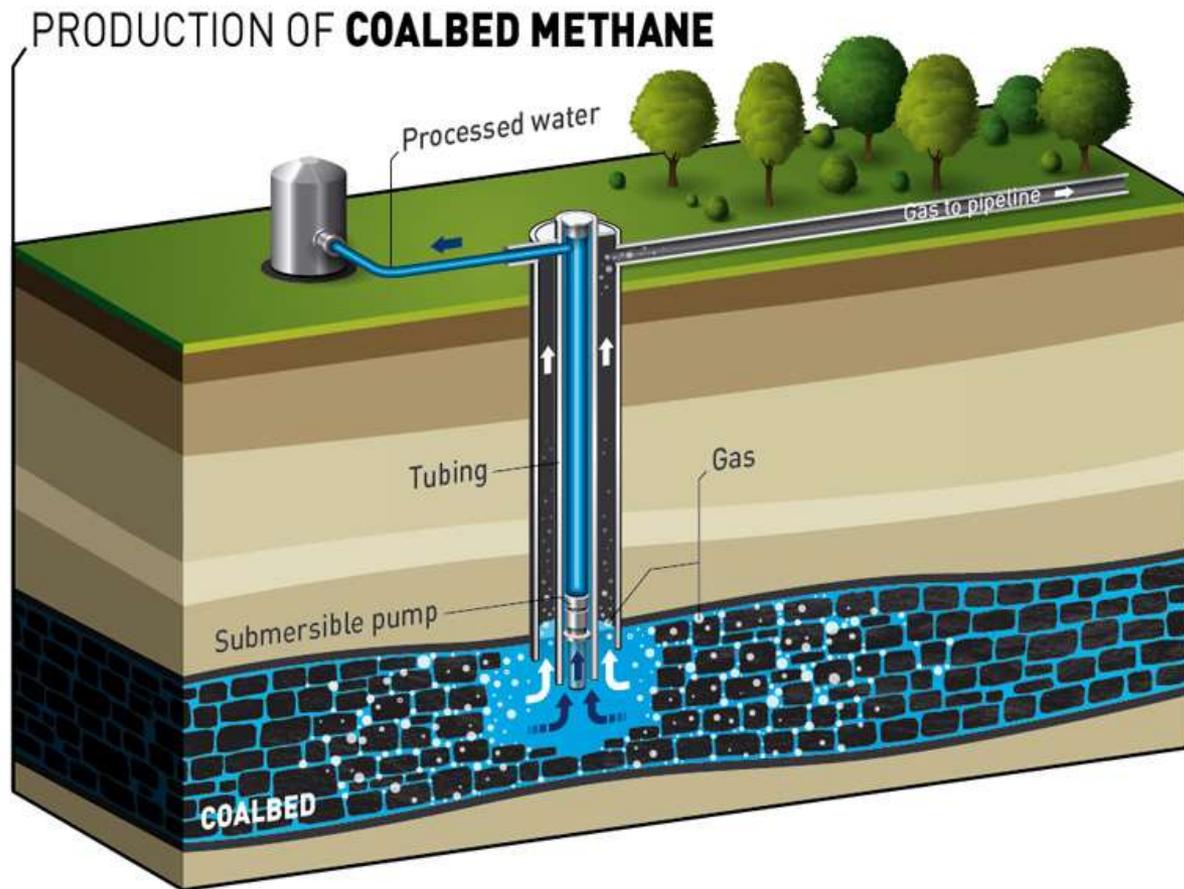
**Il est source et réservoir**



**Le charbon est toujours très fracturé**



# Le gaz de charbon (coal bed methane)



# LE « SCHISTE » BITUMINEUX (OIL SHALE)



# « SCHISTE »: un peu de vocabulaire

## Larousse

Toute roche susceptible de se débiter en feuillets, et en particulier roche à grain fin (classe des lutites) et à structure foliacée. (Les schistes peuvent être sédimentaires ou métamorphiques.)

## Dictionnaire de Géologie (éd. Masson)

1. Au sens large qu'il vaut mieux éviter....
2. Roche ayant acquis une schistosité sous l'influence d'une contrainte tectonique

## Roches métamorphiques

### Schistosité

## Roches sédimentaires

### Litage

### Lamination

Structure acquise lors du dépôt

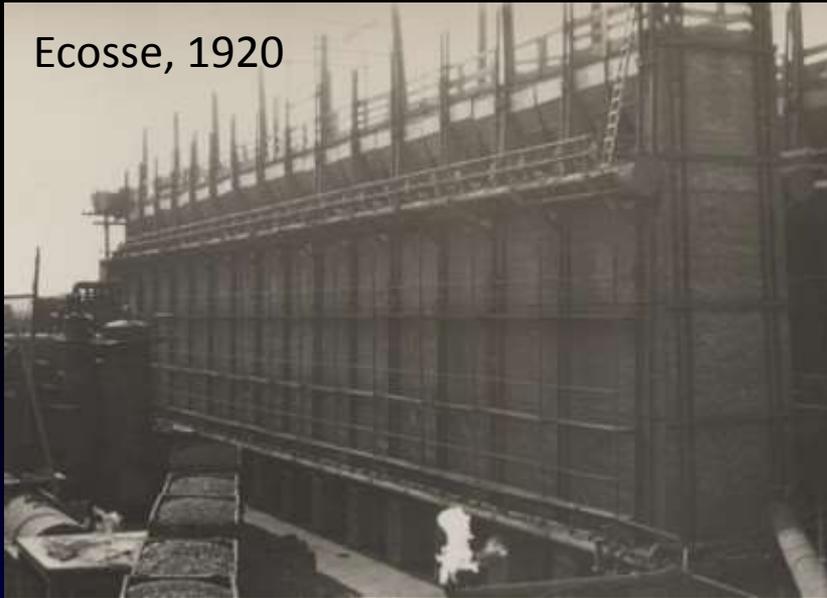
# LE « SCHISTE » BITUMINEUX (OIL SHALE)

Roche sédimentaire détritique finement litée  
SHALE = argile, argilite, marne

Contient de la matière organique fossile = kérogène

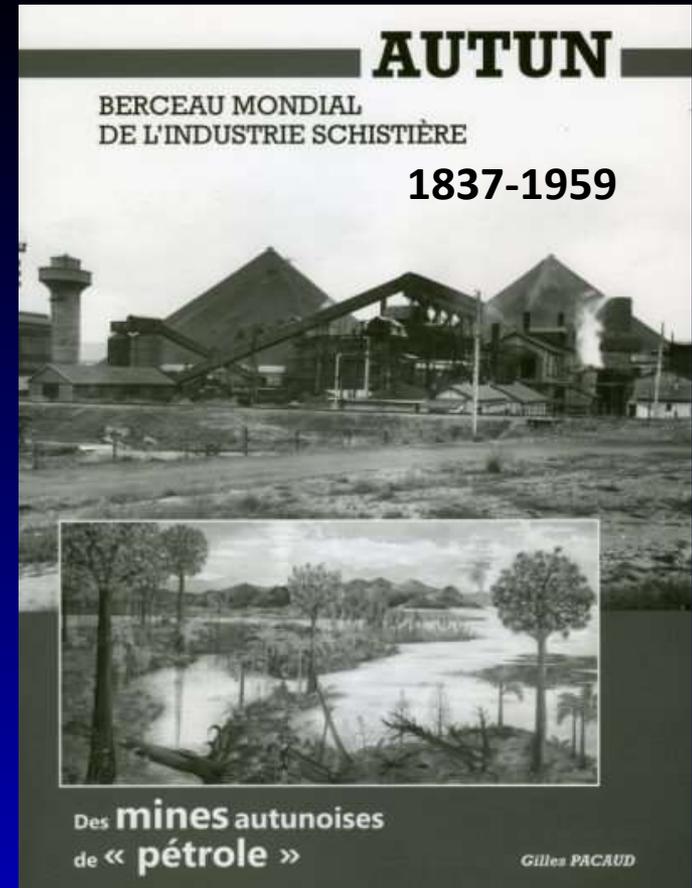


Ecosse, 1920



# Pyrolyse en usine

Four tournant



Des mines autunoises  
de « pétrole »

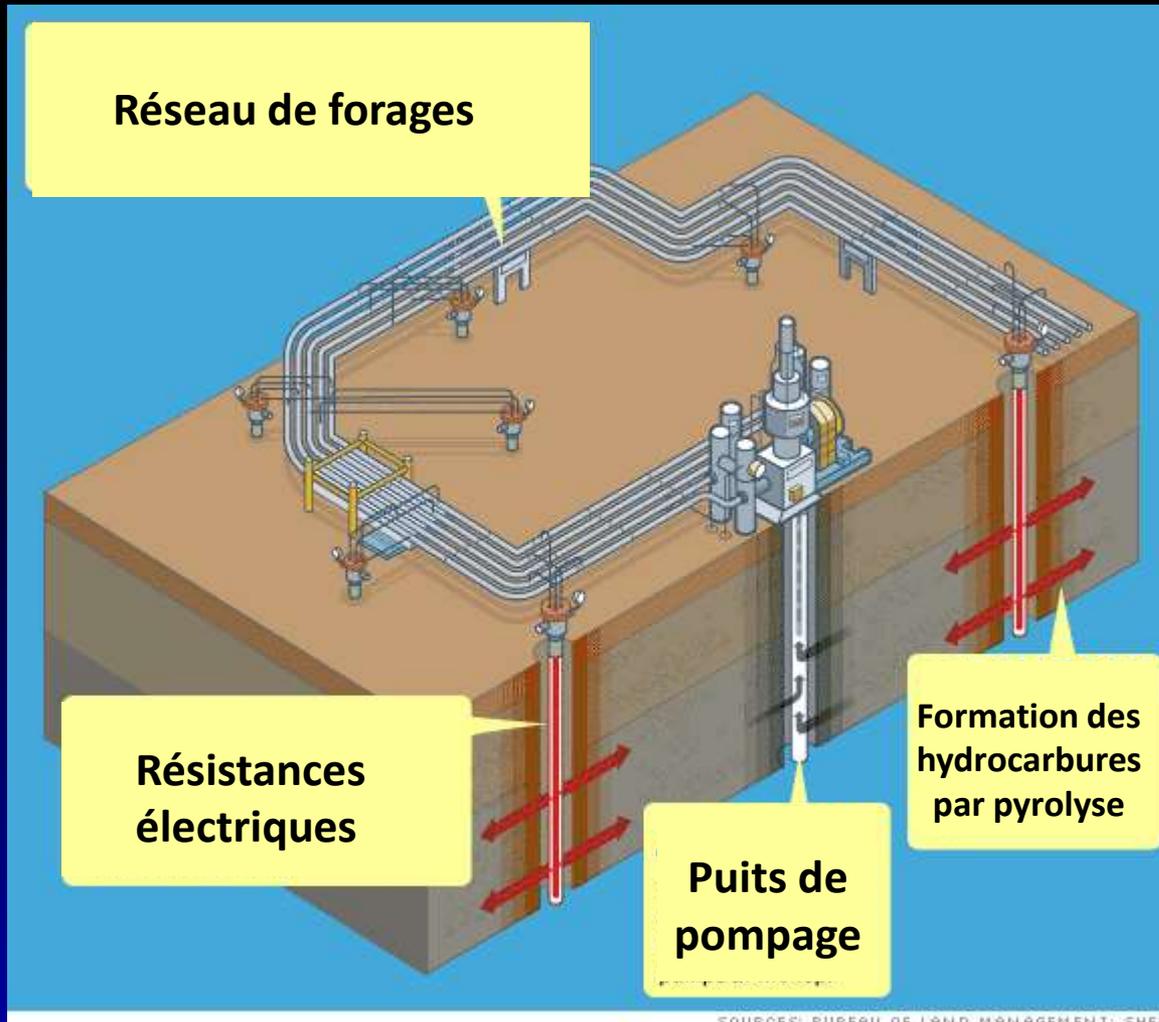
Gilles PACAUD

Réseau de forages

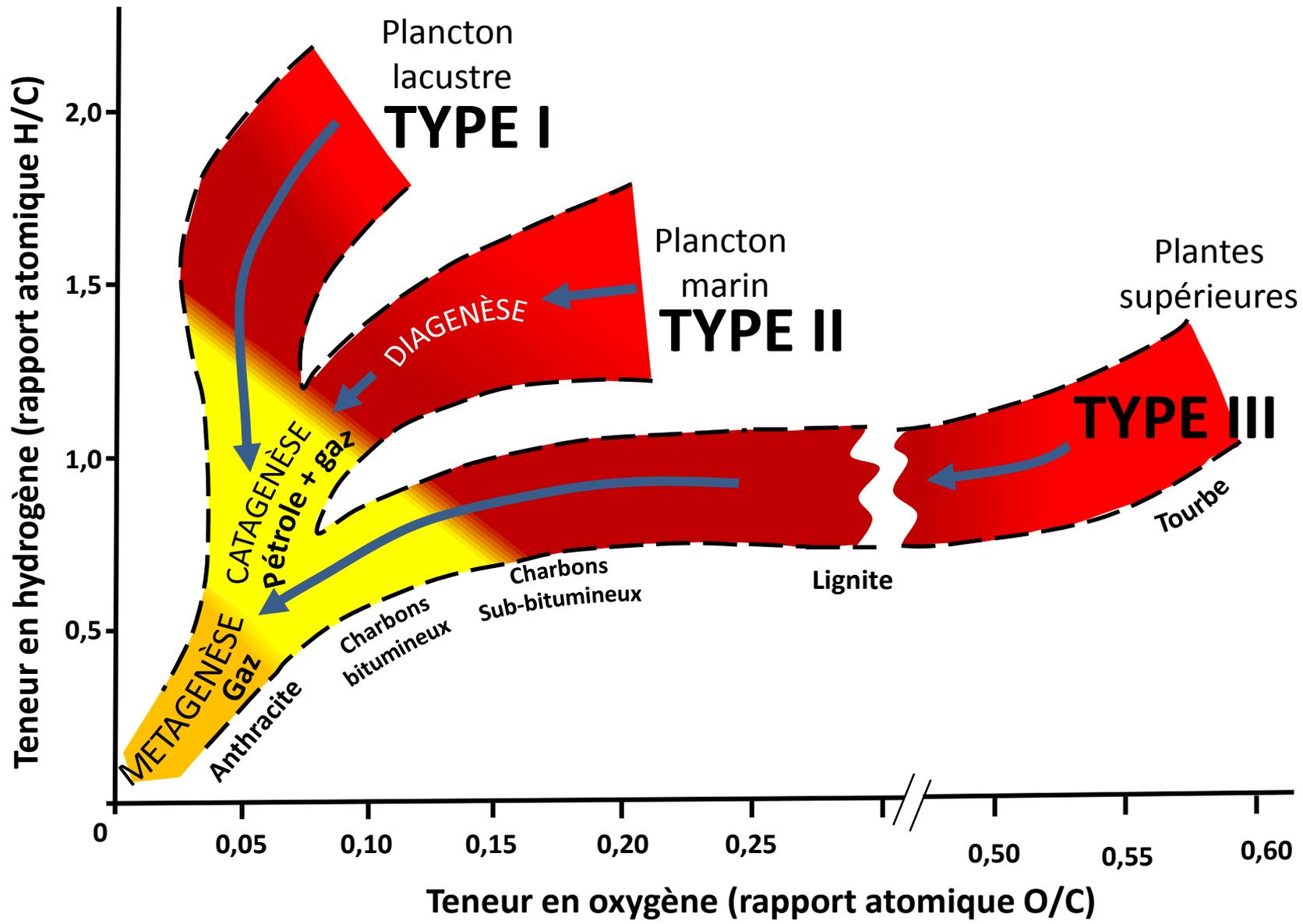
Résistances  
électriques

Puits de  
pompage

Formation des  
hydrocarbures  
par pyrolyse



**GAZ ET HUILE DE « SCHISTE »**  
**= GAZ ET HUILE DE « ROCHE-MÈRE »**  
**(SHALE GAS; SHALE OIL)**



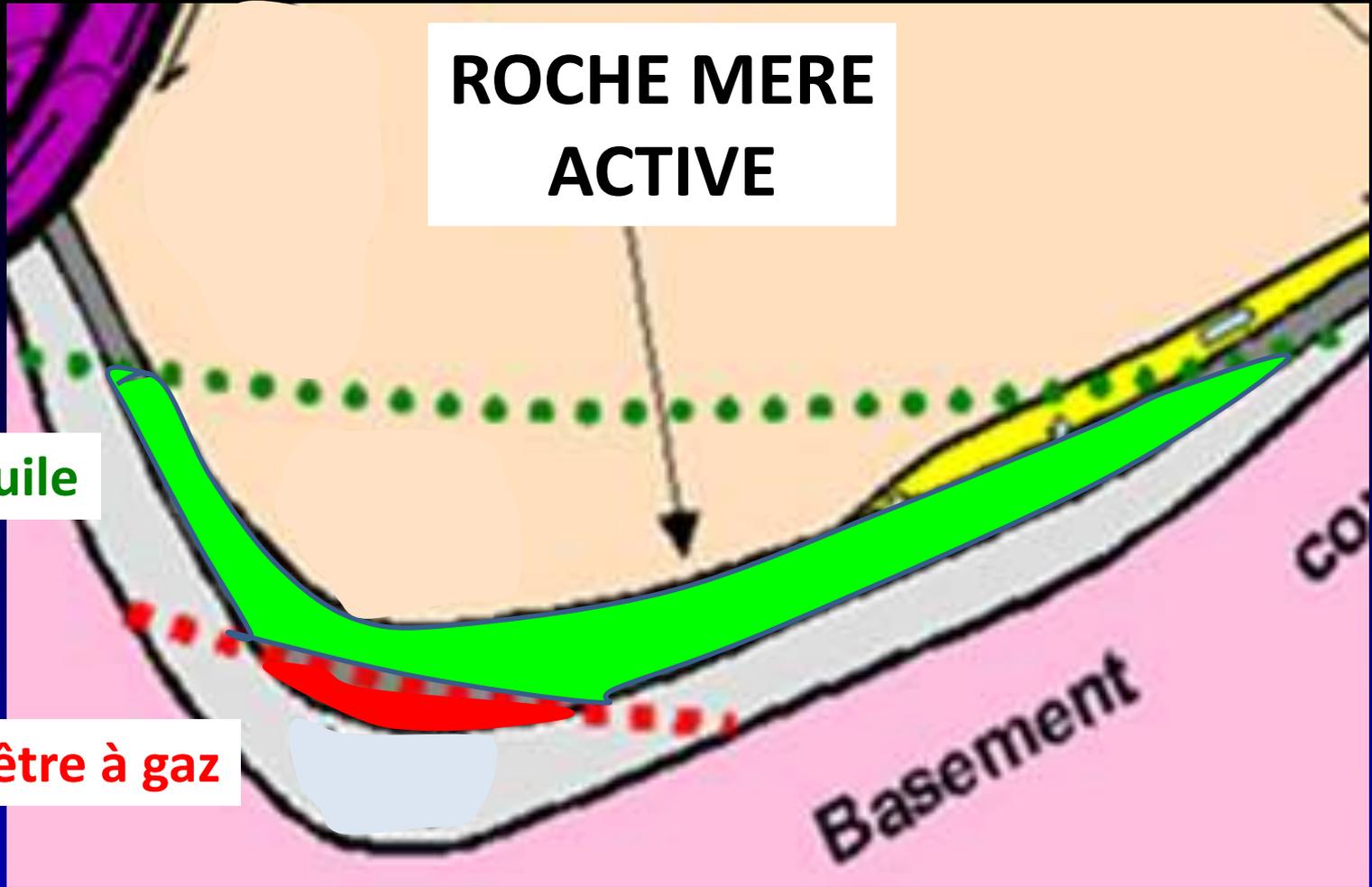
**ROCHE MERE  
ACTIVE**

**Fenêtre à huile**

**Fenêtre à gaz**

**Basement**

**CO**



CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

**Bassin de Paris  
Conventionnel  
Pétrole/GAZ**

**Bassin de Paris  
Non Conventionnel  
Gaz de schiste**

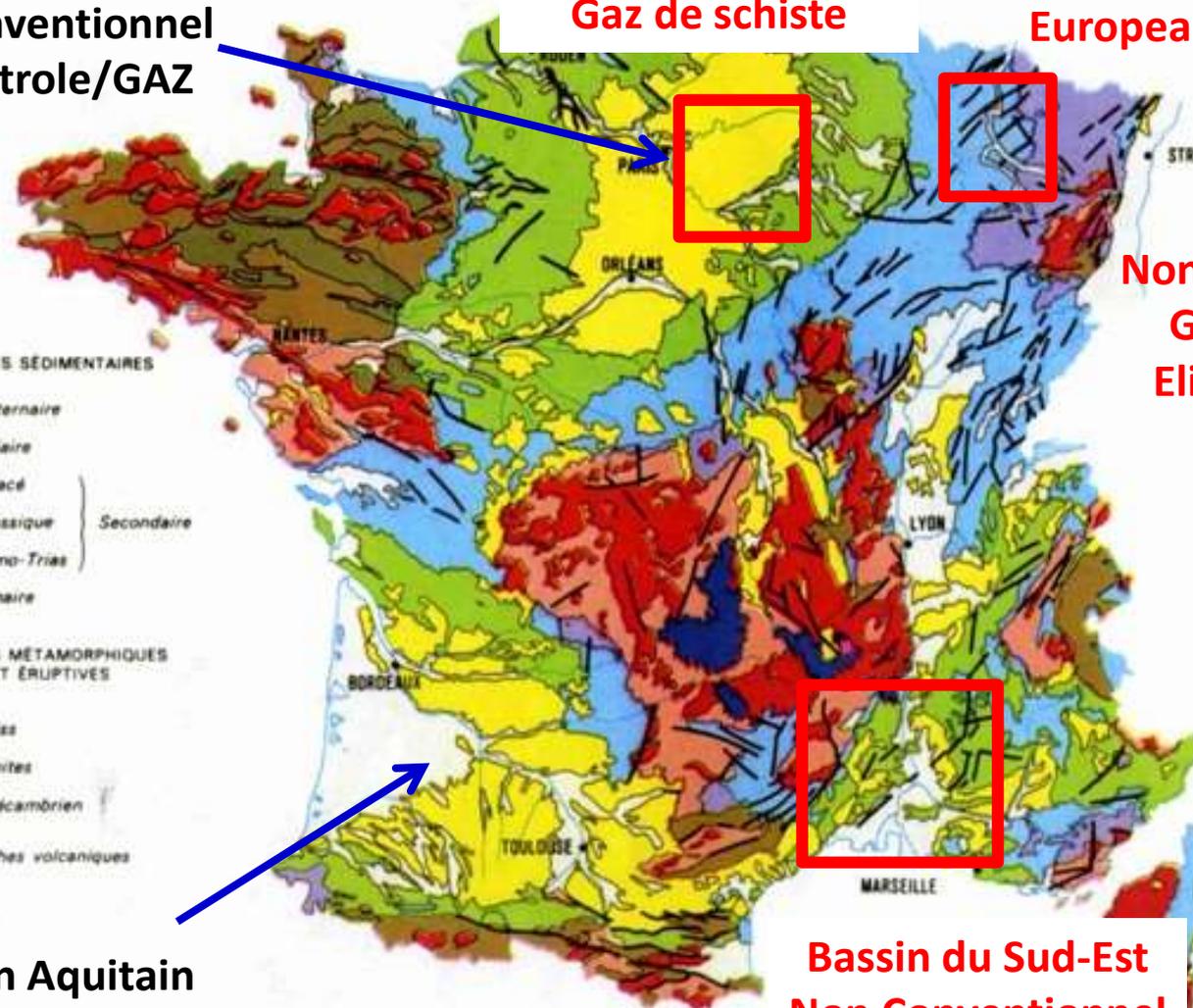
**Lorraine  
Non Conventionnel  
Gaz de Charbon  
European Gas Limited**

**Lorraine  
Non Conventionnel  
Gaz de Schiste  
Elixir Petroleum**

- ROCHES SÉDIMENTAIRES
- Quaternaire
  - Tertiaire
  - Crétacé
  - Jurassique
  - Permo-Trias
  - Primaire
- ROCHES MÉTAMORPHIQUES ET ÉRUPTIVES
- Gneiss
  - Granites
  - Antécambrien
  - Roches volcaniques

**Bassin Aquitain  
Conventionnel  
Pétrole/GAZ**

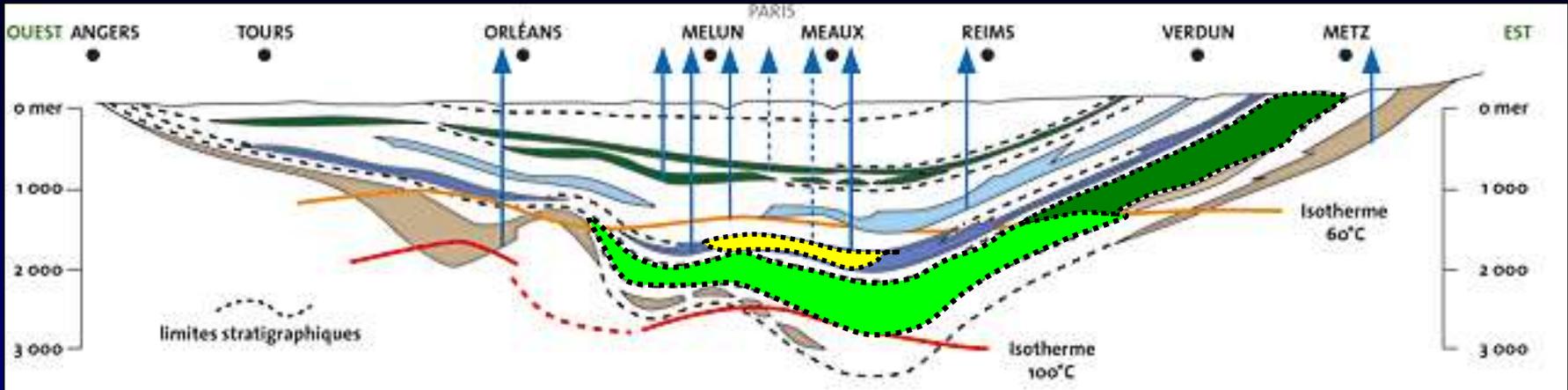
**Bassin du Sud-Est  
Non Conventionnel  
Gaz de Schiste**



# GISEMENTS CONVENTIONNELS ET NON CONVENTIONNELS DANS LE BASSIN DE PARIS

Lias: roche-mère potentielle  
« Schiste bitumineux »

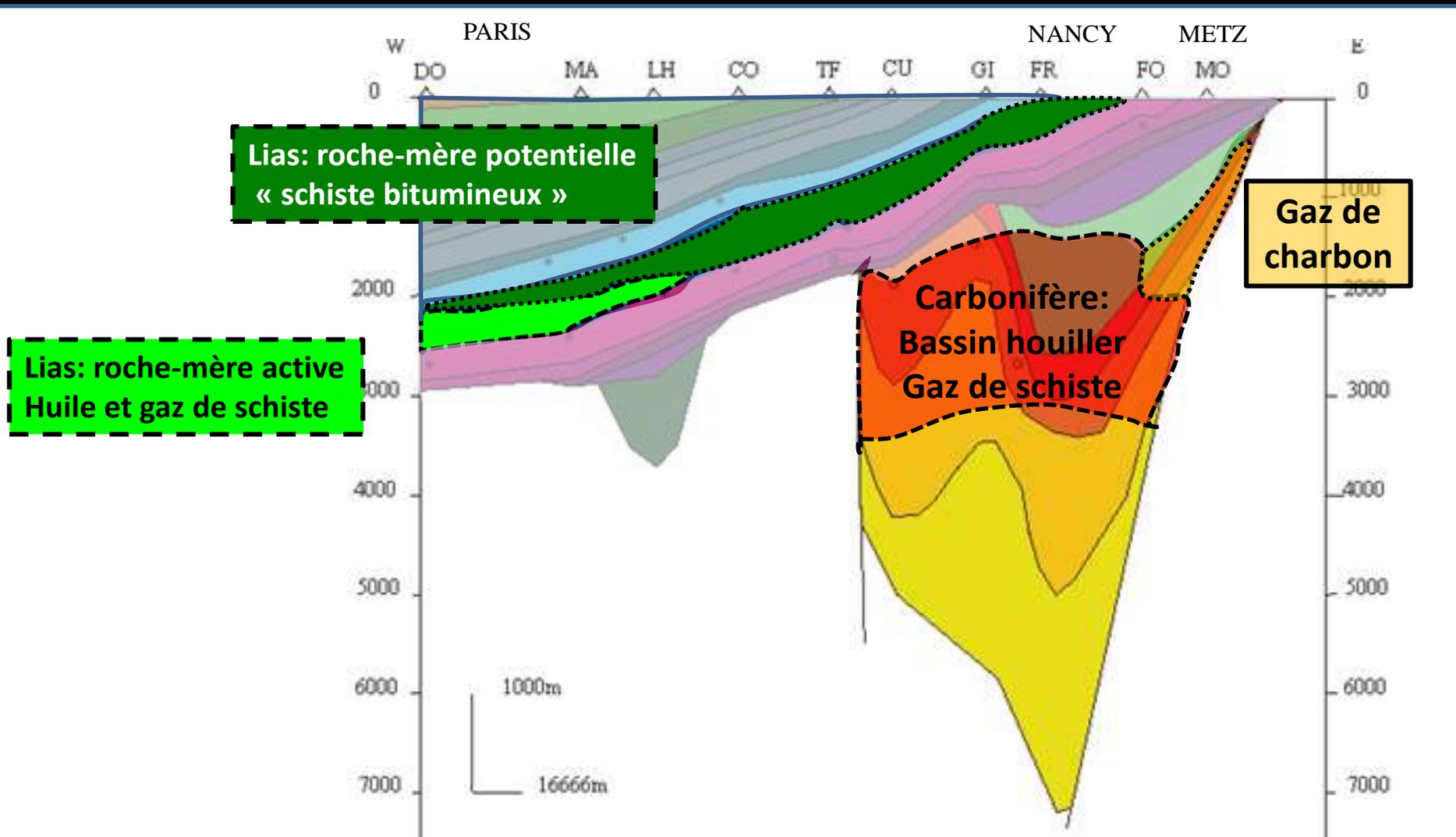
<http://www.geothermie-perspectives.fr/07-geothermie-france/02-basse-energie.html>



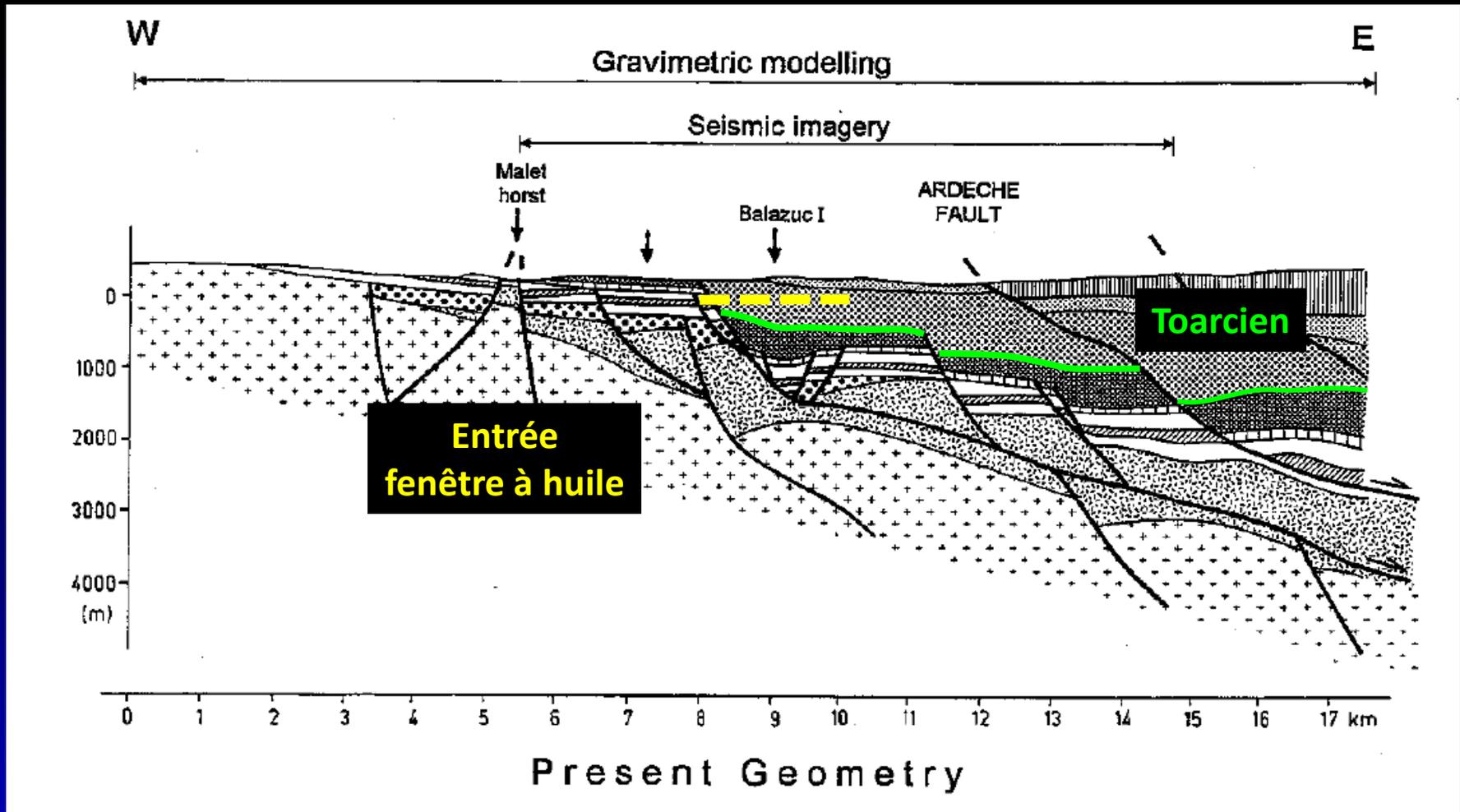
**Dogger**  
**Réservoir pétrolier**

**Lias: roche-mère active**  
**Huile et gaz de schiste**

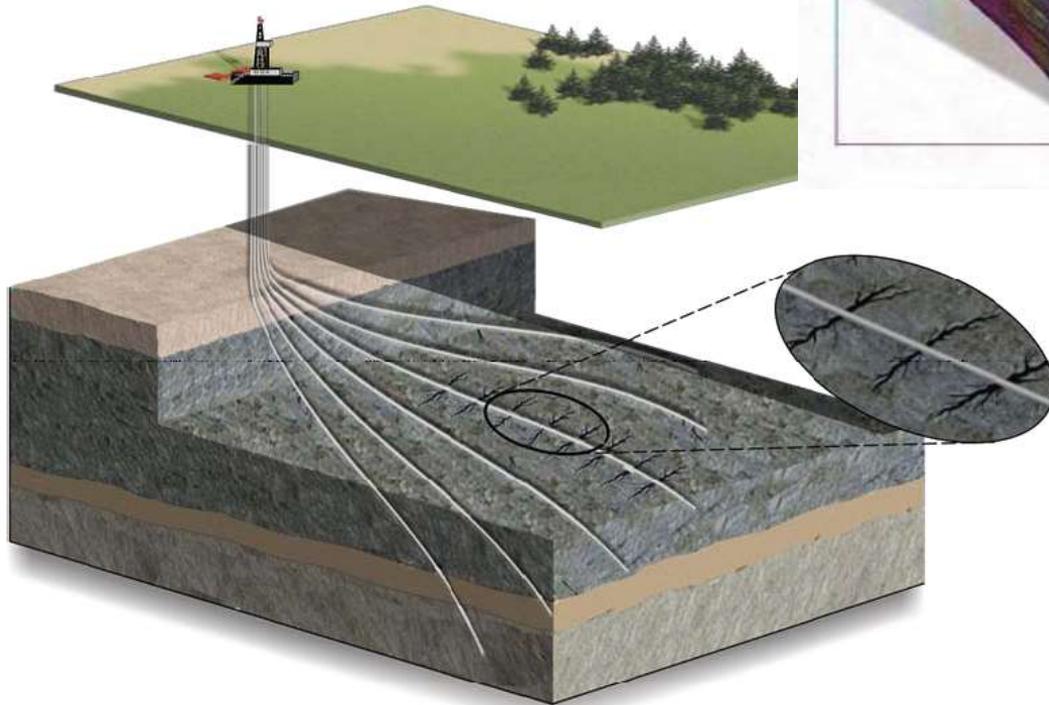
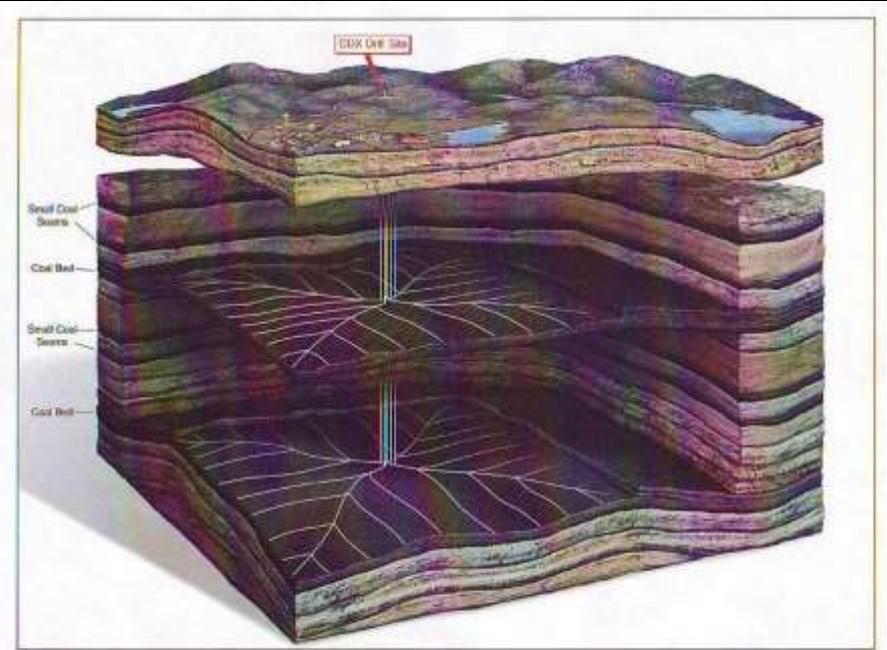
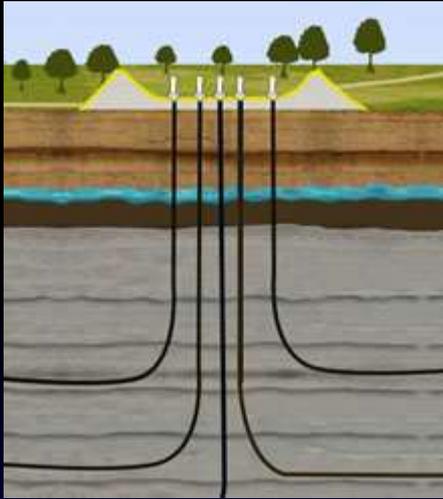
# GISEMENTS NON CONVENTIONNELS EN LORRAINE



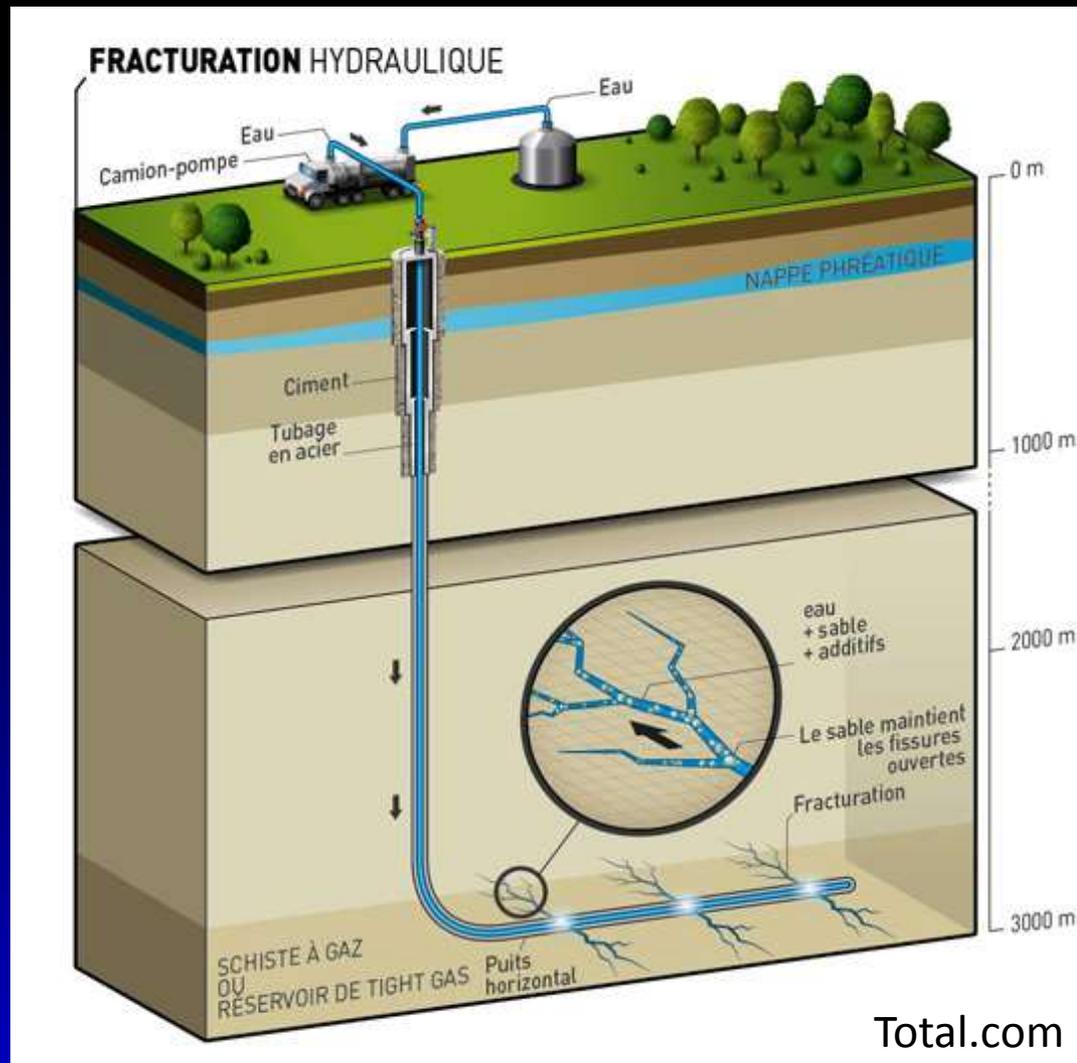
# GISEMENTS NON CONVENTIONNELS EN ARDECHE



# Forage horizontal



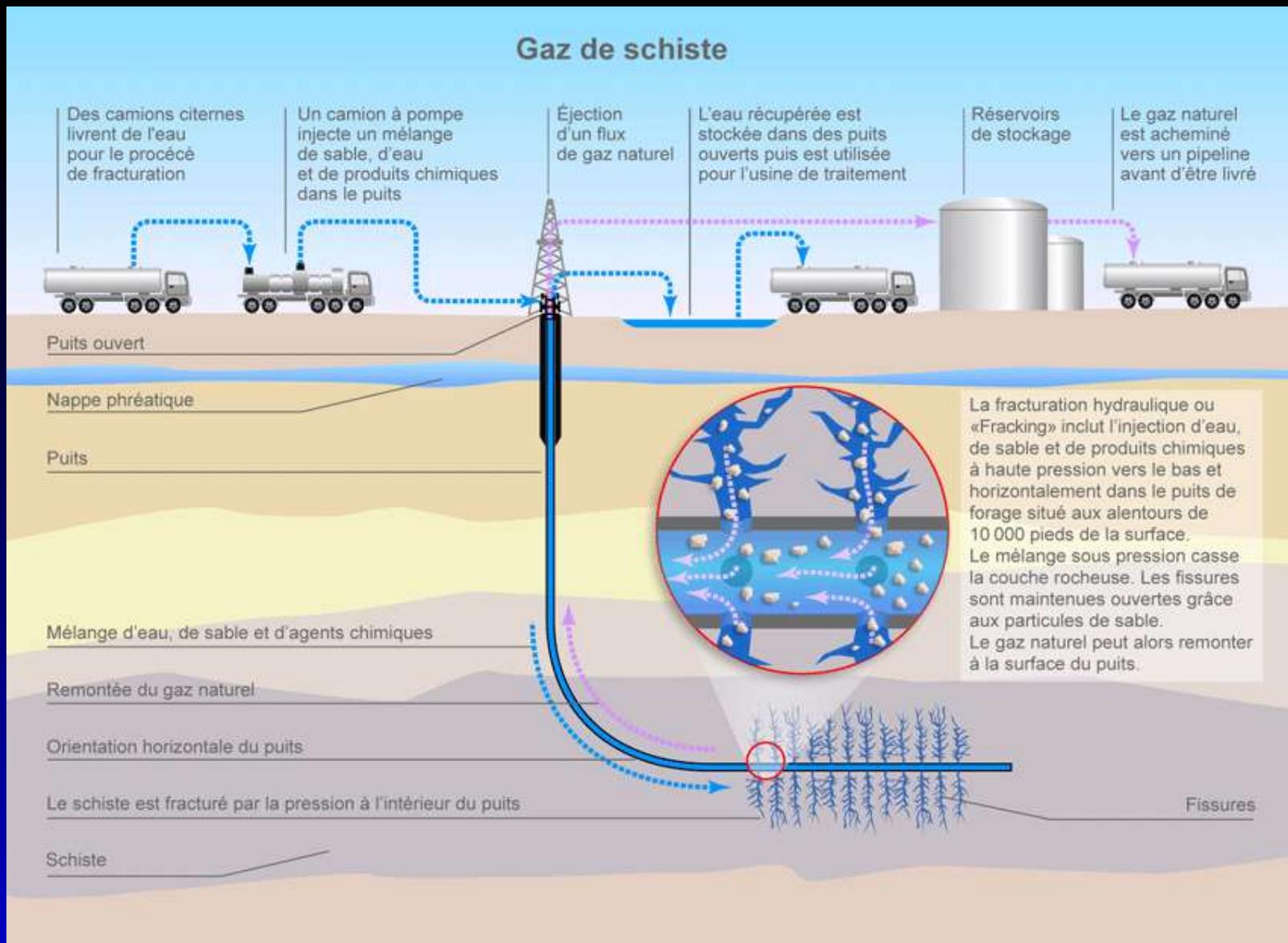
# Fracturation hydraulique: ouverture du réseau de fractures



# Fracturation naturelle des shales



# Production du gaz et de l'huile

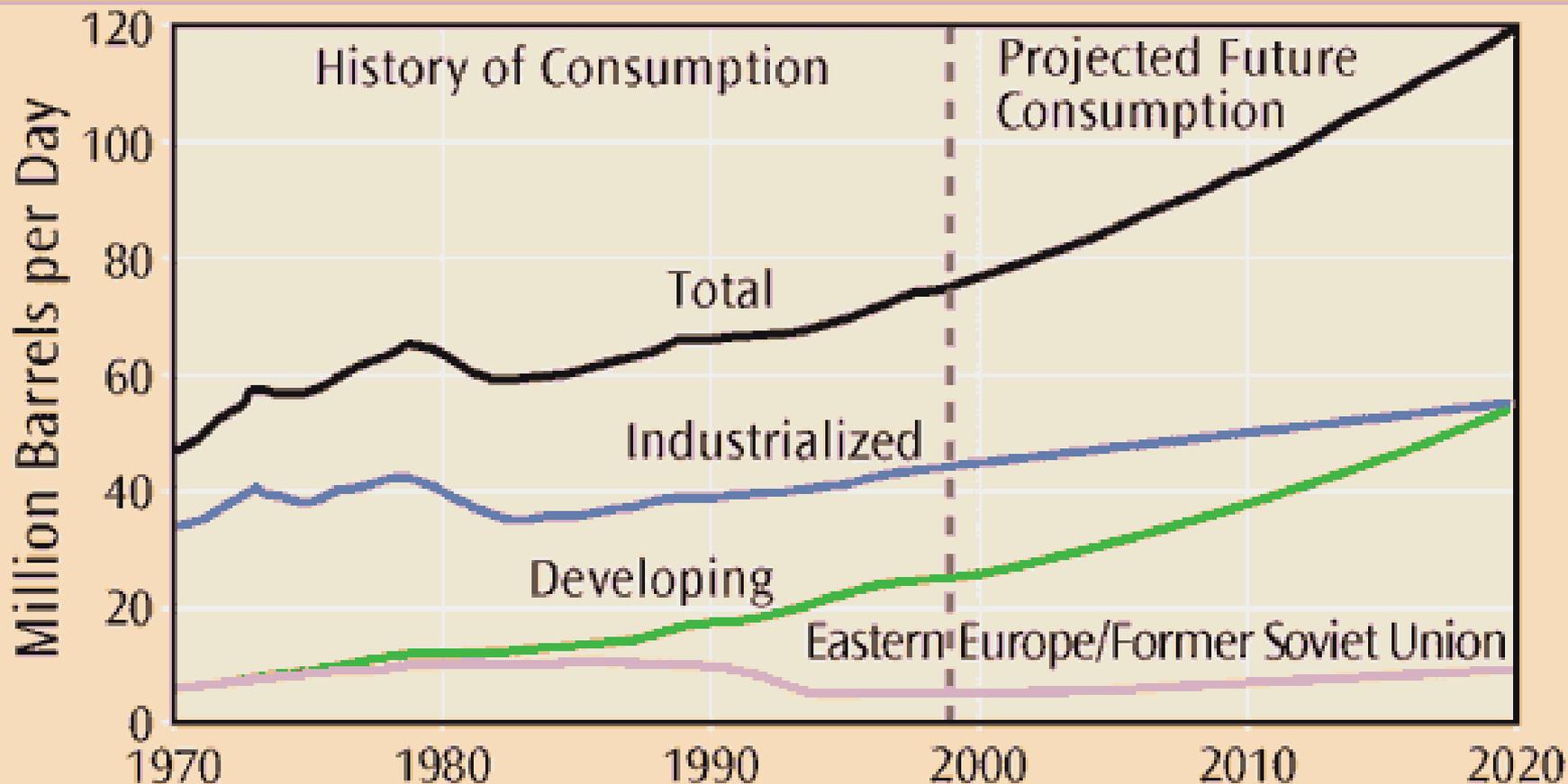


**RESSOURCES NON-CONVENTIONNELLES**

**POURQUOI S'Y INTERESSER?**

# CONSOMMATION DE PETROLE

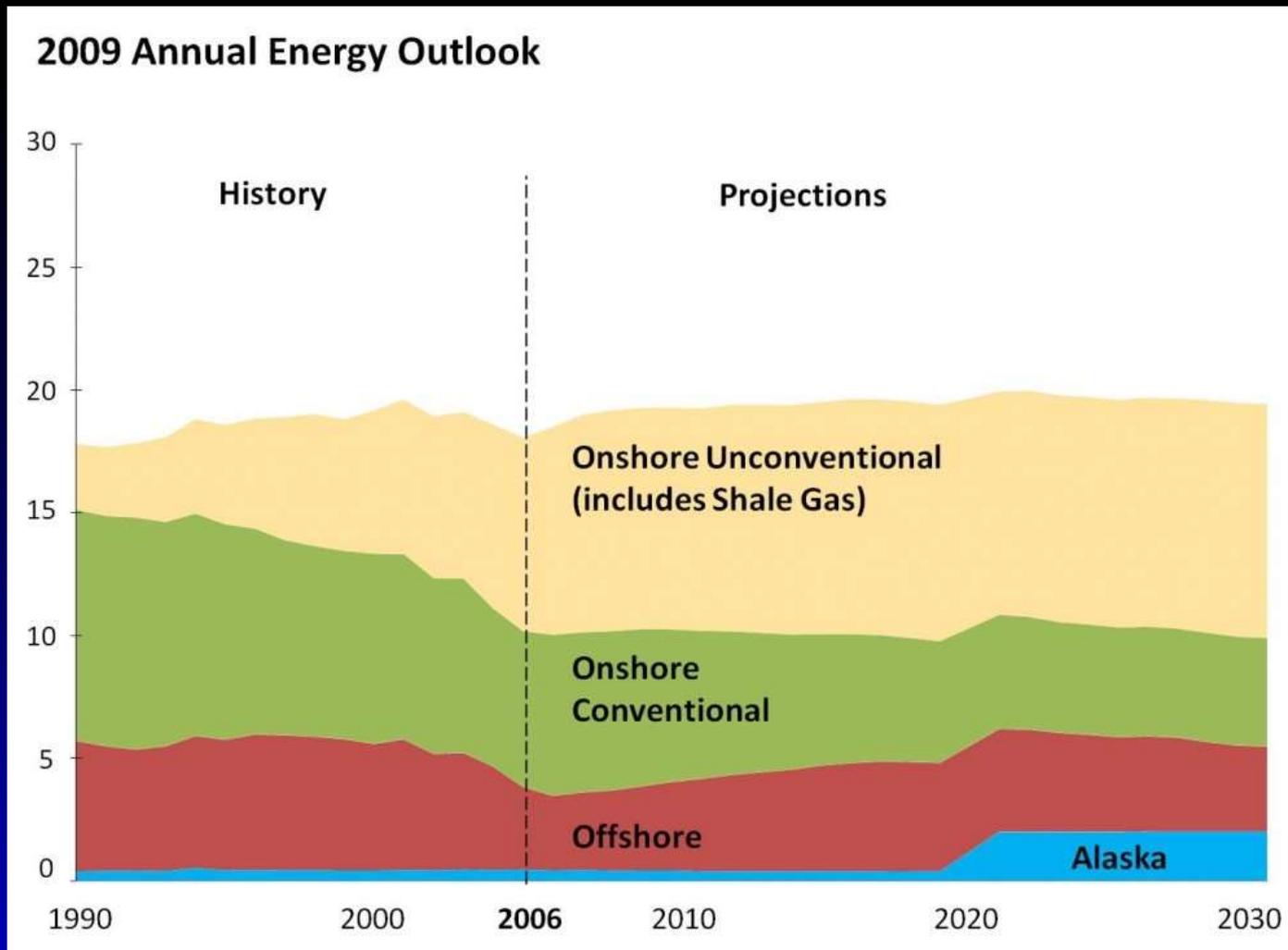
## WORLD OIL CONSUMPTION BY REGION 1970 – 2020



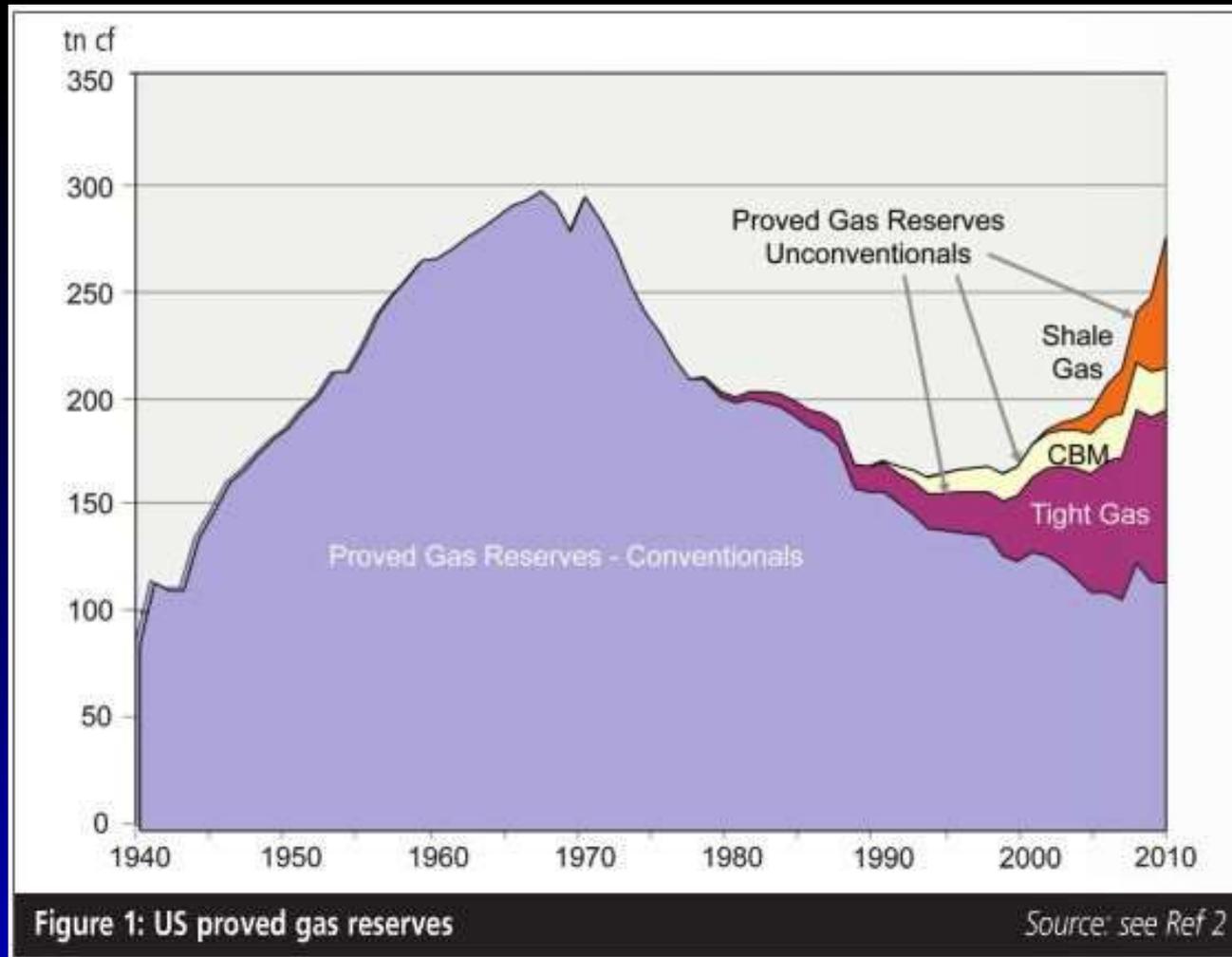
Source: Association for the Study of Peak Oil, [www.asponews.org](http://www.asponews.org)



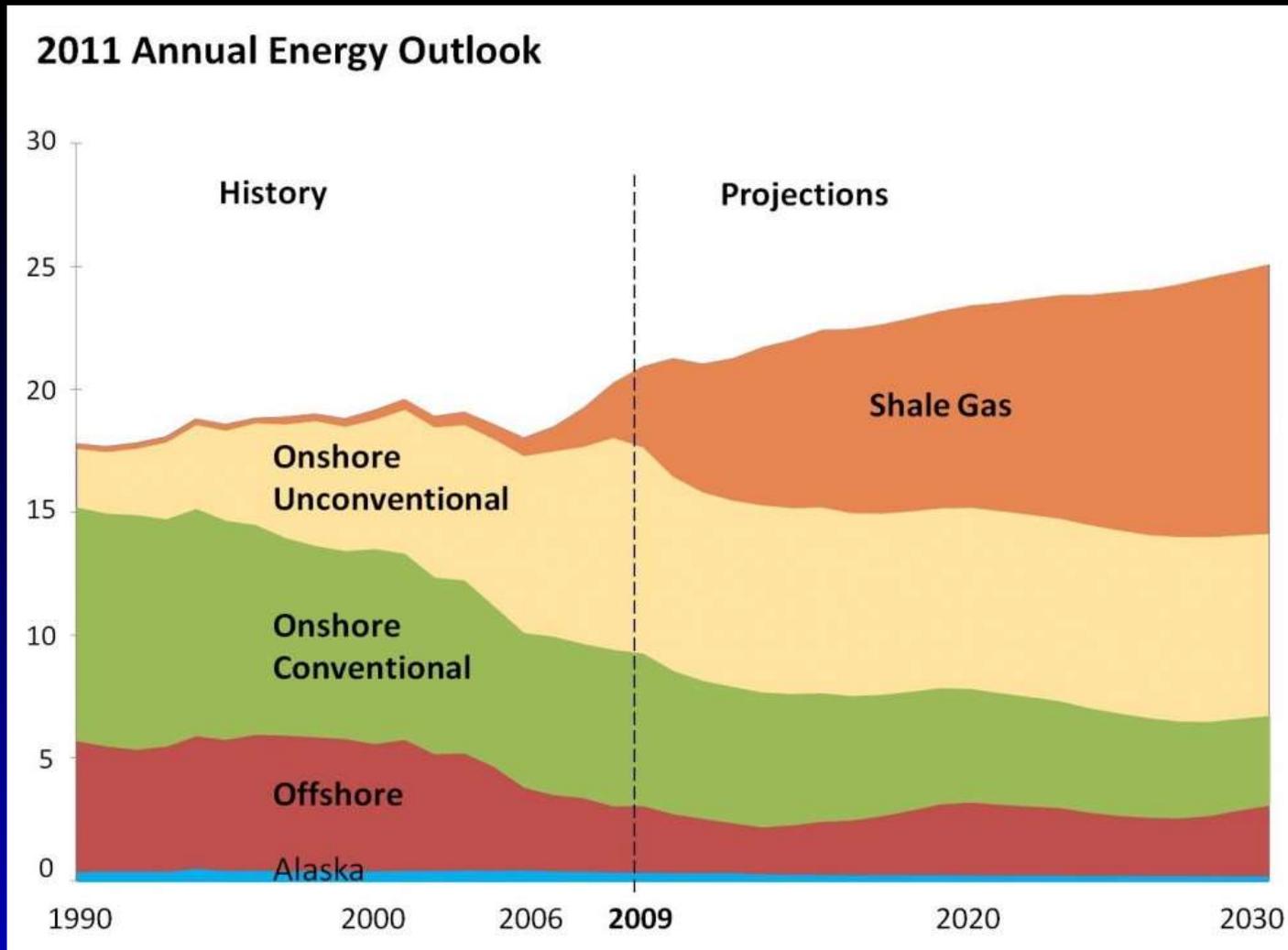
# RESSOURCES NON-CONVENTIONNELLES INFLUENCE SUR LES RESERVES



# RESSOURCES NON-CONVENTIONNELLES INFLUENCE SUR LES RESERVES

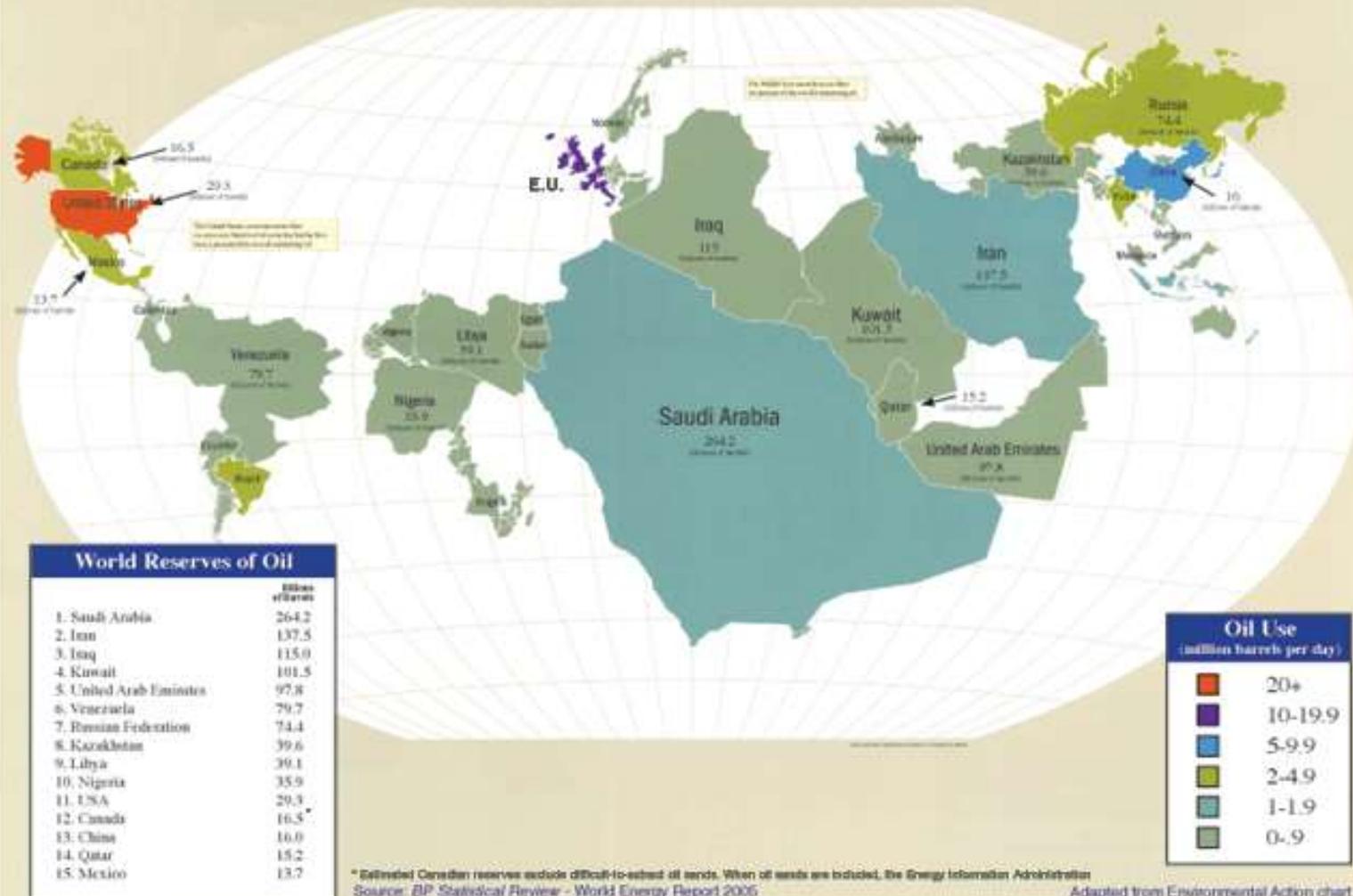


# RESSOURCES NON-CONVENTIONNELLES INFLUENCE SUR LA PRODUCTION

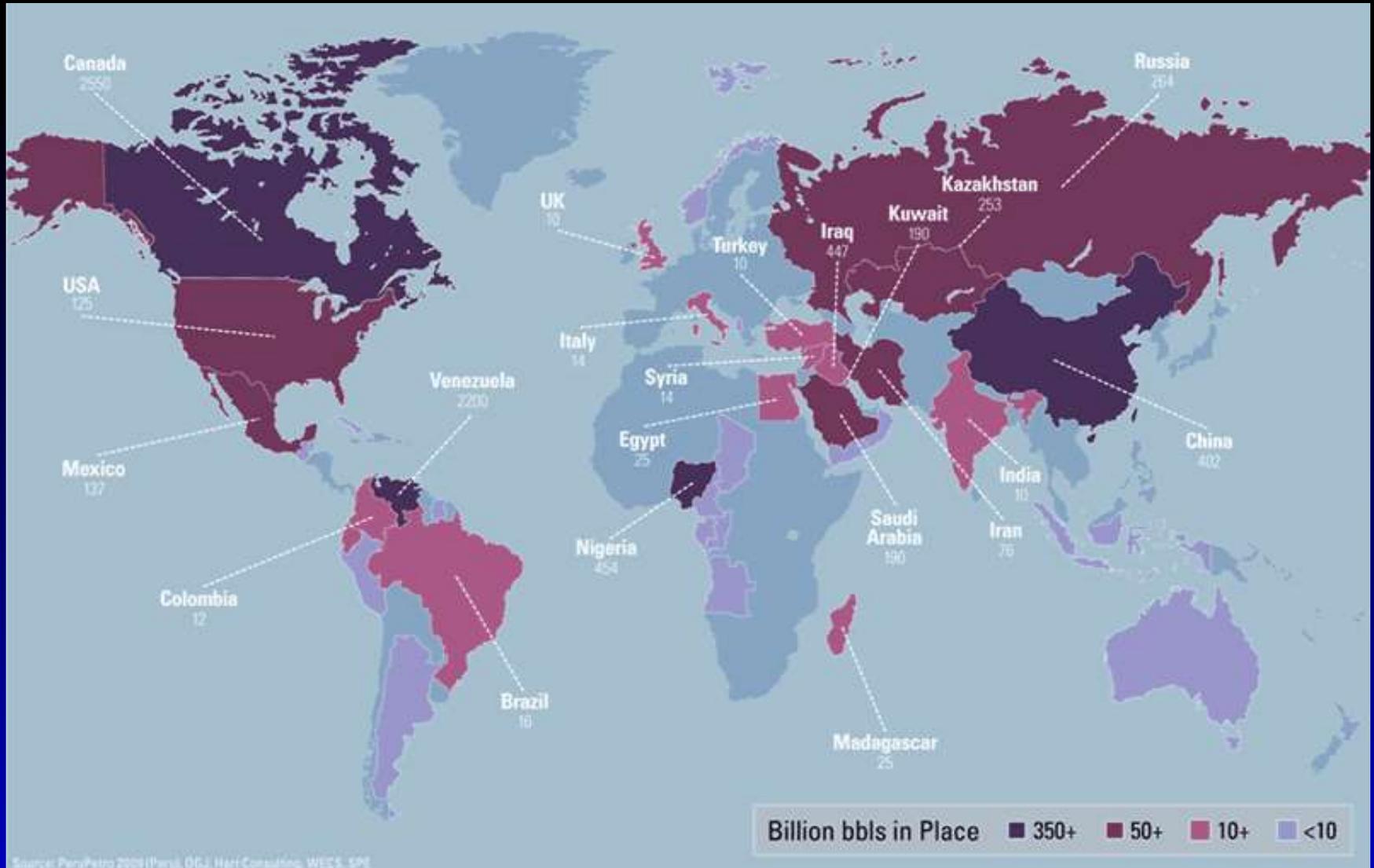


# RESSOURCES NON-CONVENTIONNELLES INFLUENCE SUR LA GEOPOLITIQUE

## QUI DETIENT LE PETROLE?



# RESSOURCES EN SABLES BITUMINEUX



## Top World Oil Producers, 2011

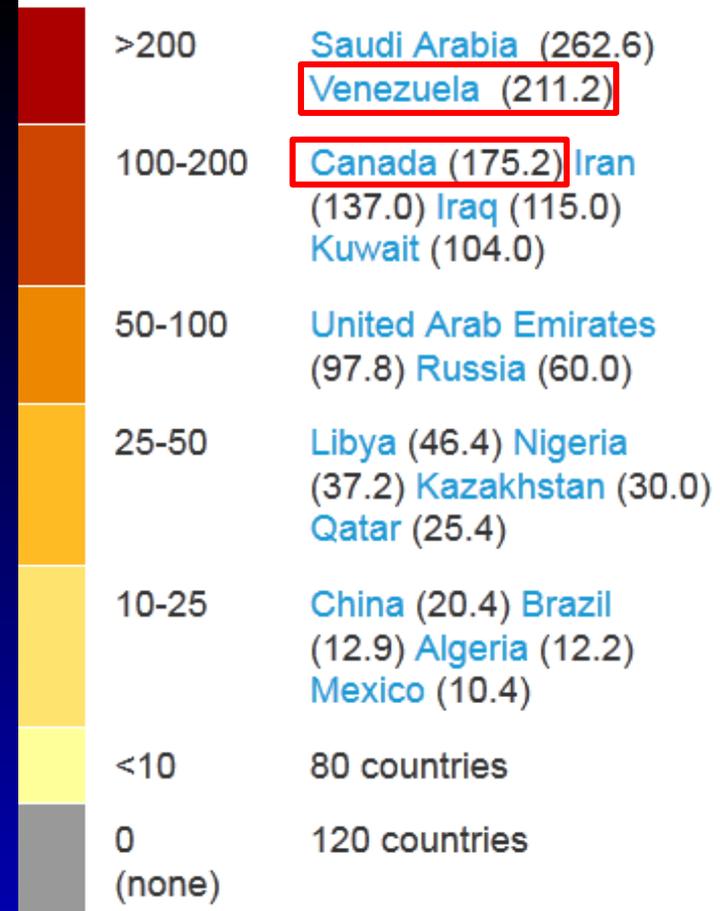
(Thousand Barrels per Day)

Sort By

Country	Production
1 Saudi Arabia	11,153
2 Russia	10,229
3 United States	10,142
4 China	4,299
5 Iran	4,234
6 Canada	3,600
7 United Arab Emirates	3,096
8 Mexico	2,959
9 Brazil	2,687
10 Kuwait	2,682
11 Iraq	2,635
12 Nigeria	2,528
13 Venezuela	2,470
14 Norway	2,007
15 Algeria	1,884

## 2011 World Proved Reserves

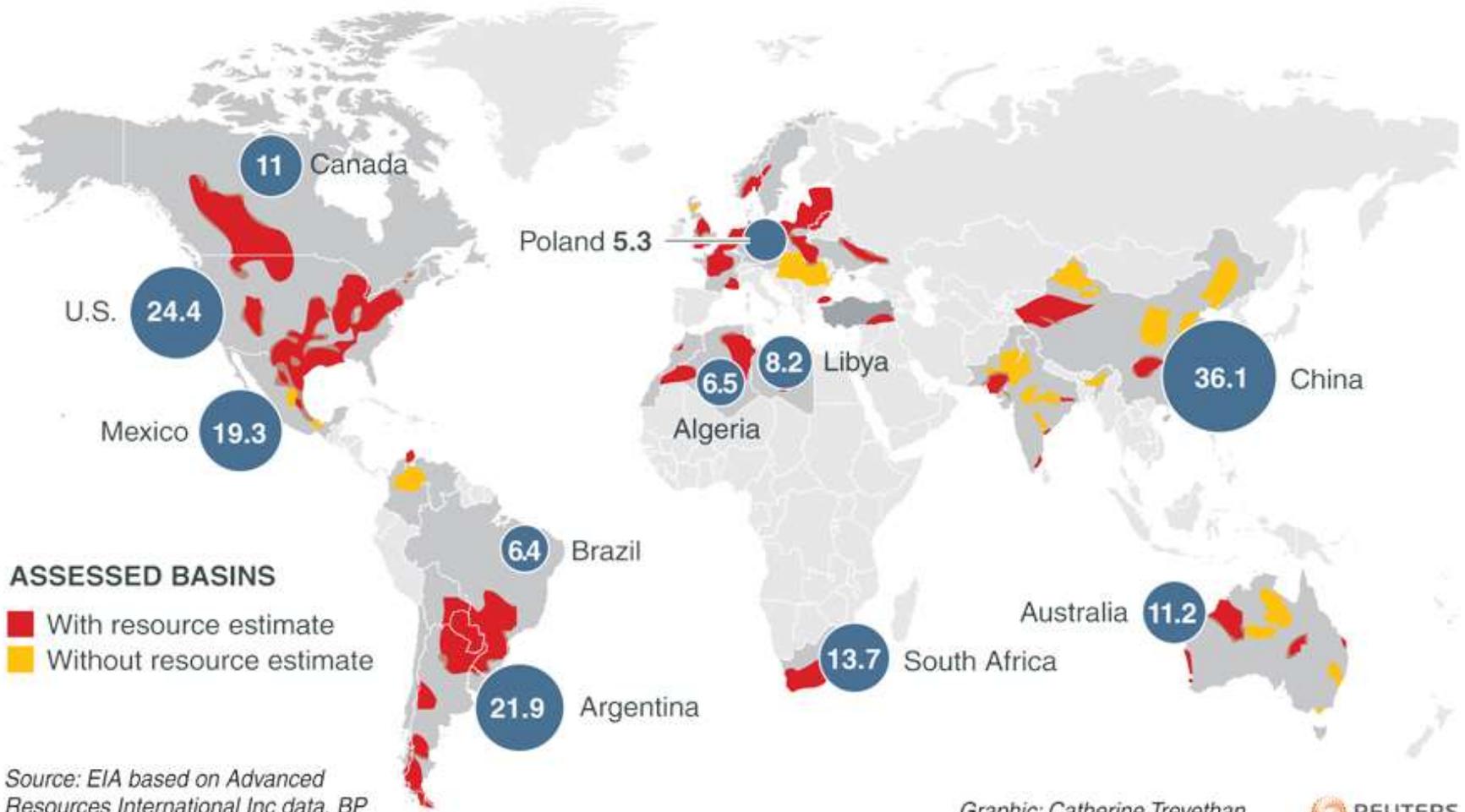
(billions of barrels)



# RESSOURCES EN GAZ DE SCHISTE

## GLOBAL SHALE GAS BASINS

● Top reserve holders 200 - In trillion cubic metres

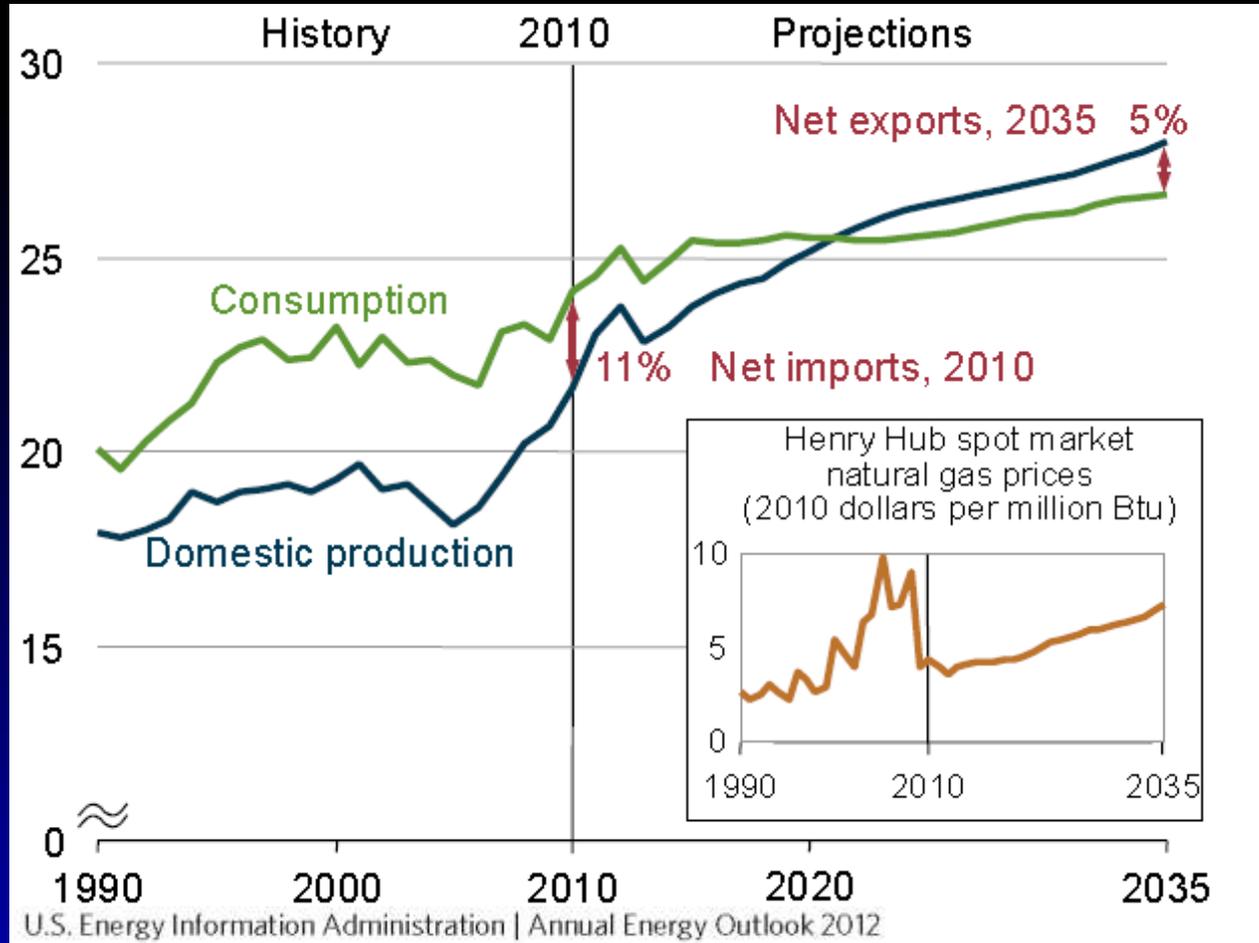


# EFFETS ECONOMIQUES DU GAZ DE SCHISTE

**Trillion cubic feet**

1 trillion (us) = échelle courte soit  $10^{12}$

1 cubic foot = 0,028 m<sup>3</sup>



**600 000 emplois créés en 2010** ([www.ihc.com](http://www.ihc.com))

# LES POINTS QUI FONT DEBAT

**Quantités d'eau**

**Composition de l'eau injectée**

**Composition de l'eau rejetée**

**Inadéquation au mode de vie**

**Qui empêche les profits?**

**Réchauffement climatique**

**Transition énergétique**

**Contrôle de l'extension du réseau de fracture**

**Casing La protection des aquifères**

**Réseaux de fractures induits et naturels**

**L'impact sur le paysage**

**Circulation des engins**

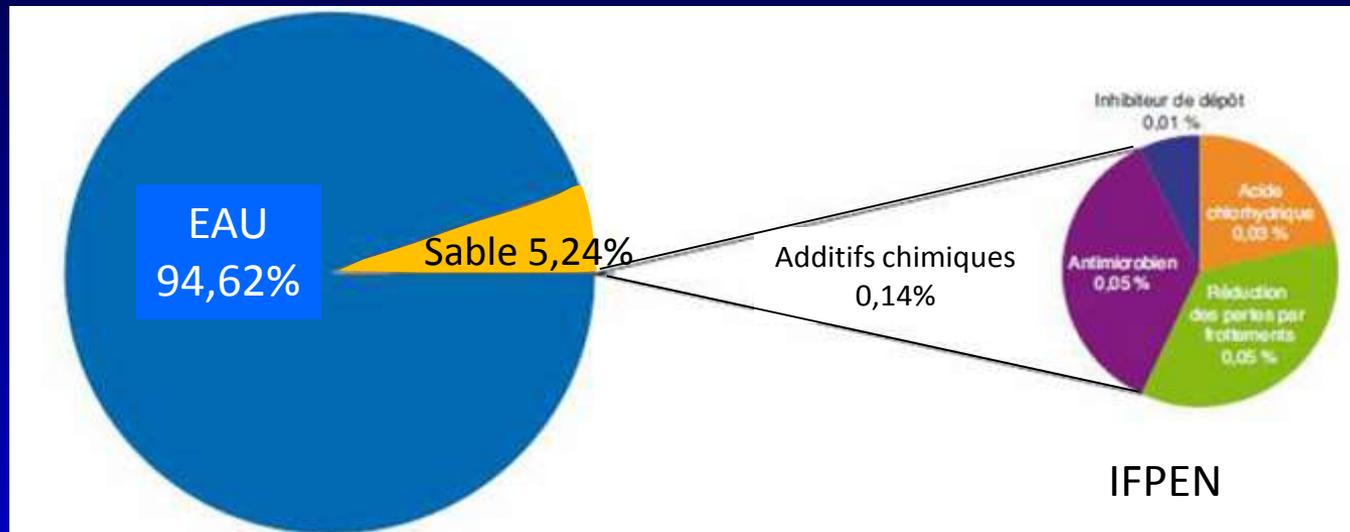


**QUELQUES ELEMENTS  
QUI FONT DEBAT**

# L'eau injectée

>10 000 m<sup>3</sup> d'eau par forage  
(Un golf haut de gamme de 18 trous a une consommation moyenne de 5.000 m<sup>3</sup>/jour) Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

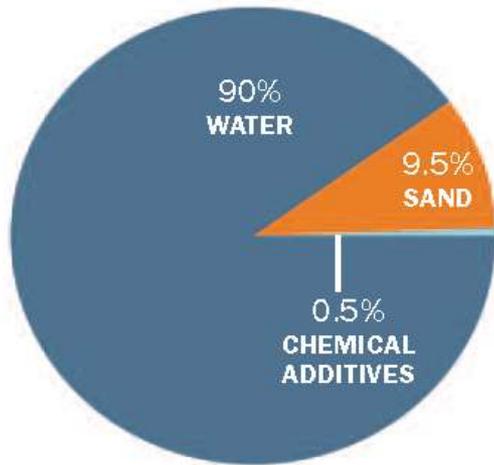
> 100 m<sup>3</sup> produits chimiques



# A quoi servent les additifs?

Constituent	Composition (% by vol)	Example	Purpose
Water and sand	99.50	Sand suspension	"Proppant" sand grains hold microfractures open
Acid	0.123	Hydrochloric or muriatic acid	Dissolves minerals and initiates cracks in the rock
Friction reducer	0.088	Polyacrylamide or mineral oil	Minimizes friction between the fluid and the pipe
Surfactant	0.085	Isopropanol	Increases the viscosity of the fracture fluid
Salt	0.06	Potassium chloride	Creates a brine carrier fluid
Scale inhibitor	0.043	Ethylene glycol	Prevents scale deposits in pipes
pH-adjusting agent	0.011	Sodium or potassium carbonate	Maintains effectiveness of chemical additives
Iron control	0.004	Citric acid	Prevents precipitation of metal oxides
Corrosion inhibitor	0.002	n,n-dimethyl formamide	Prevents pipe corrosion
Biocide	0.001	Glutaraldehyde	Minimizes growth of bacteria that produce corrosive and toxic by-products

# Quels produits chimiques.....?



Compound	Purpose	Common application
<b>Acids</b>	Helps dissolve minerals and initiate fissure in rock (pre-fracture)	Swimming pool cleaner
<b>Sodium Chloride</b>	Allows a delayed breakdown of the gel polymer chains	Table salt
<b>Polyacrylamide</b>	Minimizes the friction between fluid and pipe	Water treatment, soil conditioner
<b>Ethylene Glycol</b>	Prevents scale deposits in the pipe	Automotive anti-freeze, deicing agent, household cleaners
<b>Borate Salts</b>	Maintains fluid viscosity as temperature increases	Laundry detergent, hand soap, cosmetics
<b>Sodium/Potassium Carbonate</b>	Maintains effectiveness of other components, such as crosslinkers	Washing soda, detergent, soap, water softener, glass, ceramics
<b>Glutaraldehyde</b>	Eliminates bacteria in the water	Disinfectant, sterilization of medical and dental equipment
<b>Guar Gum</b>	Thickens the water to suspend the sand	Thickener in cosmetics, baked goods, ice cream, toothpaste, sauces
<b>Citric Acid</b>	Prevents precipitation of metal oxides	Food additive; food and beverages; lemon juice
<b>Isopropanol</b>	Used to increase the viscosity of the fracture fluid	Glass cleaner, antiperspirant, hair coloring

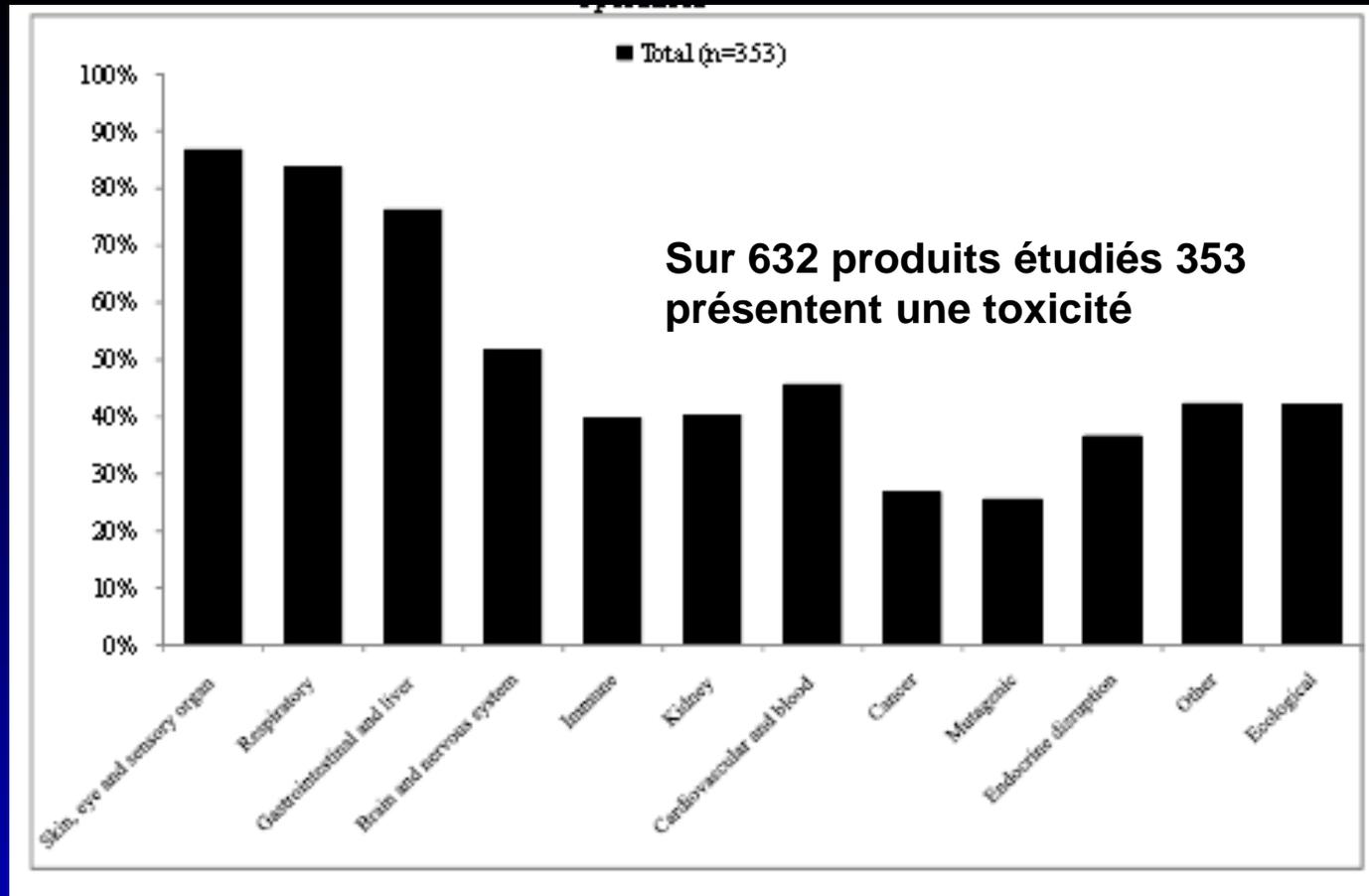


[http://www.api.org/~media/files/policy/exploration/hydraulic\\_fracturing\\_primer.ashx](http://www.api.org/~media/files/policy/exploration/hydraulic_fracturing_primer.ashx)

Source: DOE, GWPC: Modern Gas Shale Development in the United States: A Primer (2009)

# ..... pour quelle toxicité?

Plus de 900 produits différents sont disponibles



# La qualité de l'eau rejetée

Règlementation sur la nature des produits utilisés  
et la composition de l'eau injectée **A réaliser**

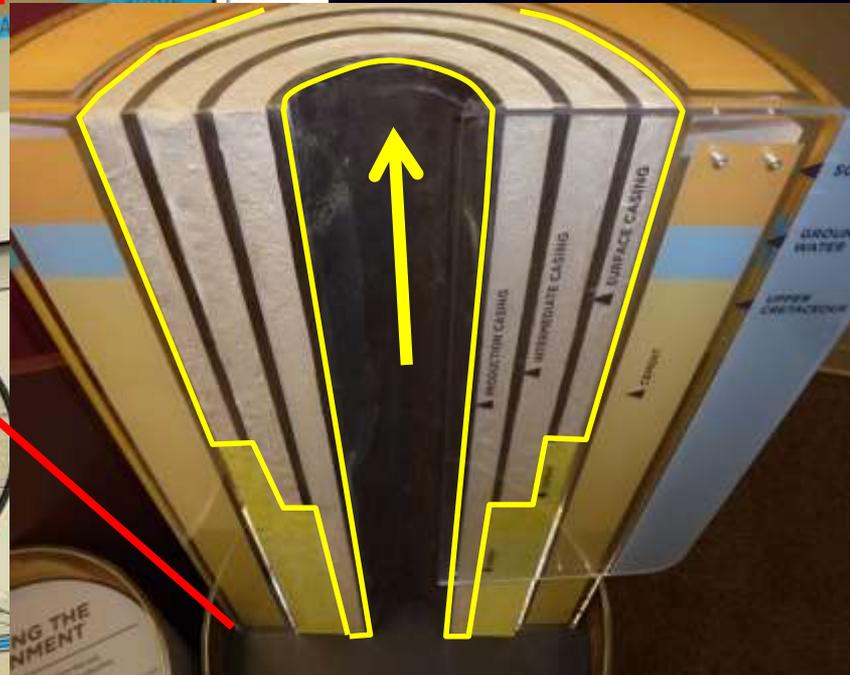
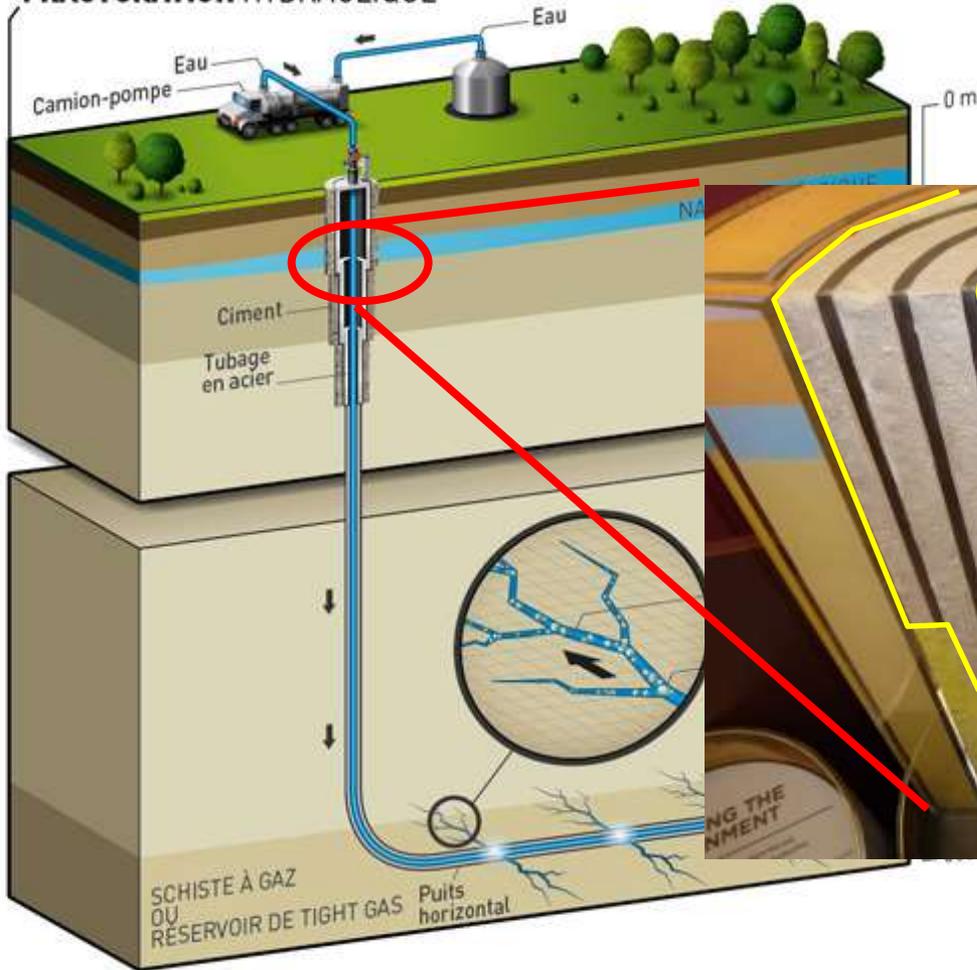
Règlementation sur la composition des eaux rejetées  
**Elle existe**

**Nécessité de développer une filière  
de d'usage et de traitement adaptée**

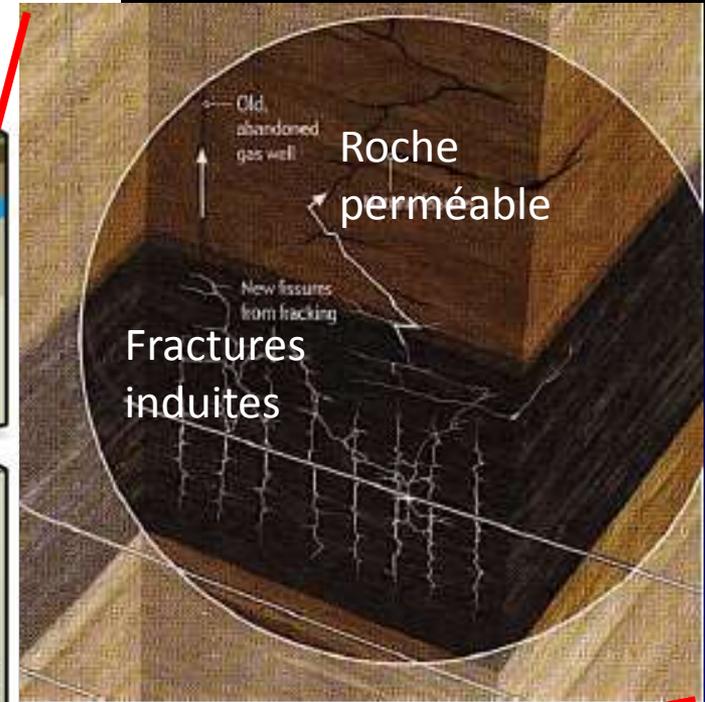
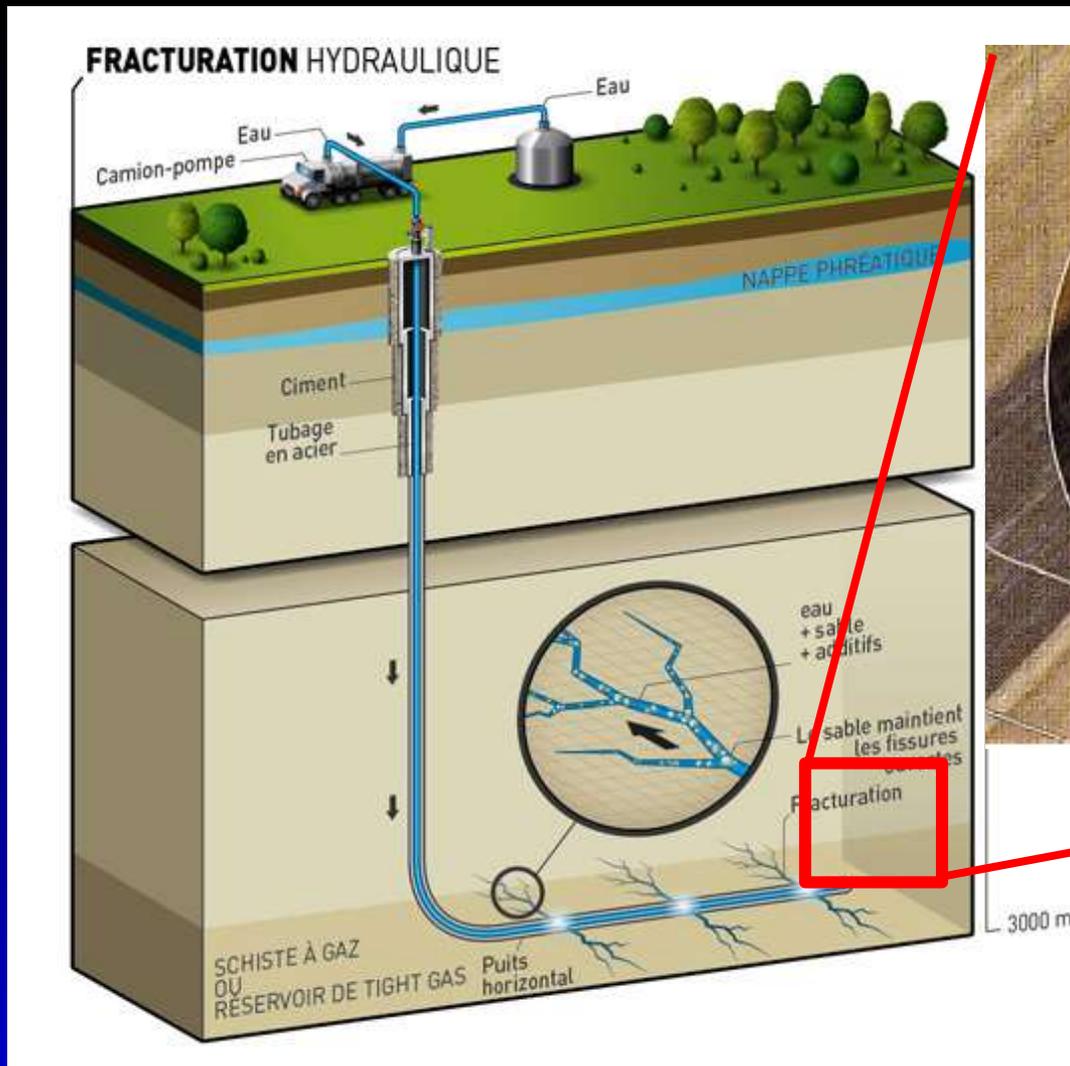
# Risques pour l'eau potable

Fuites du tubage au niveau de la nappe d'eau potable

## FRACTURATION HYDRAULIQUE

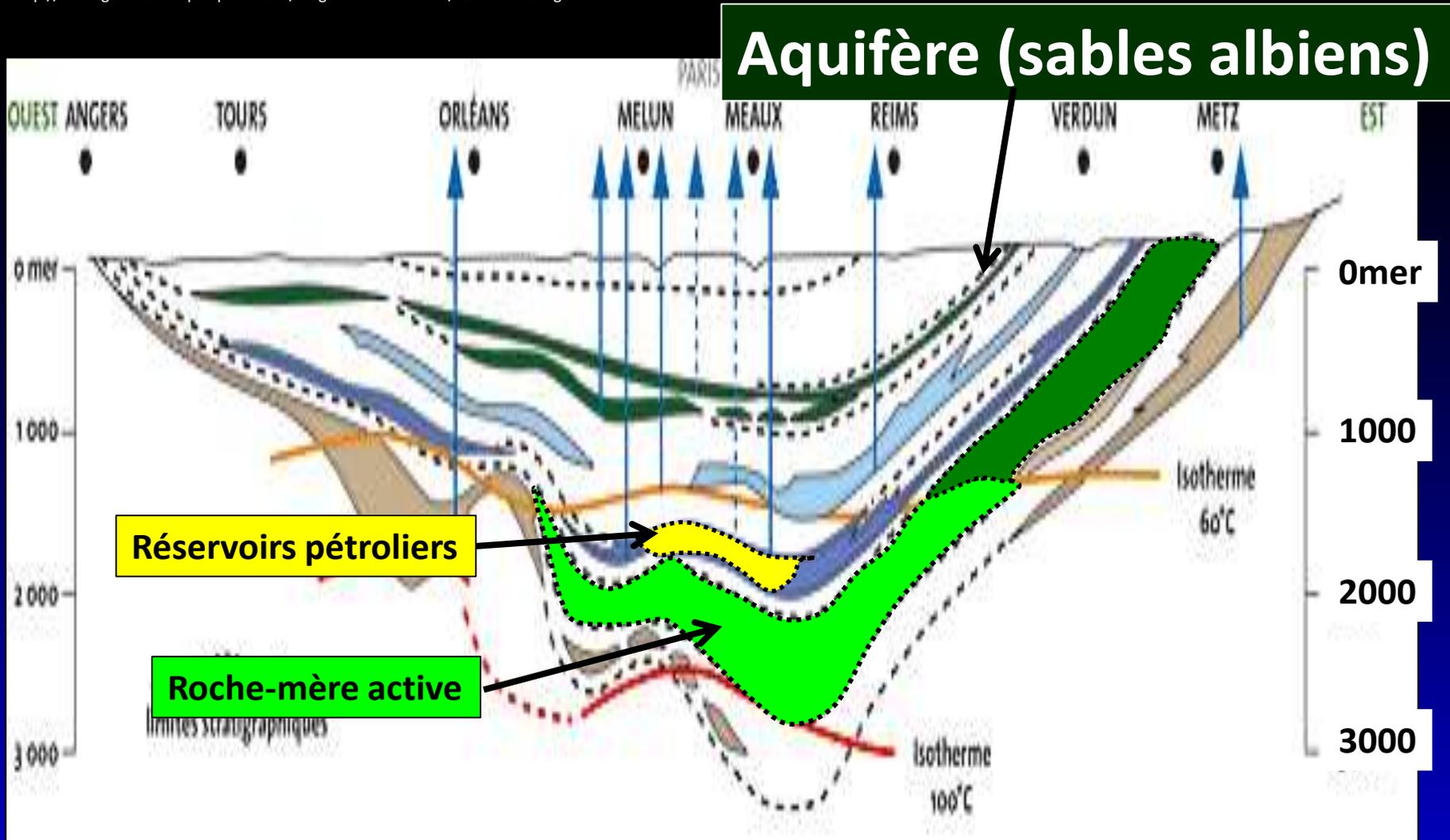


# Interconnexions des fractures induites et des roches perméables

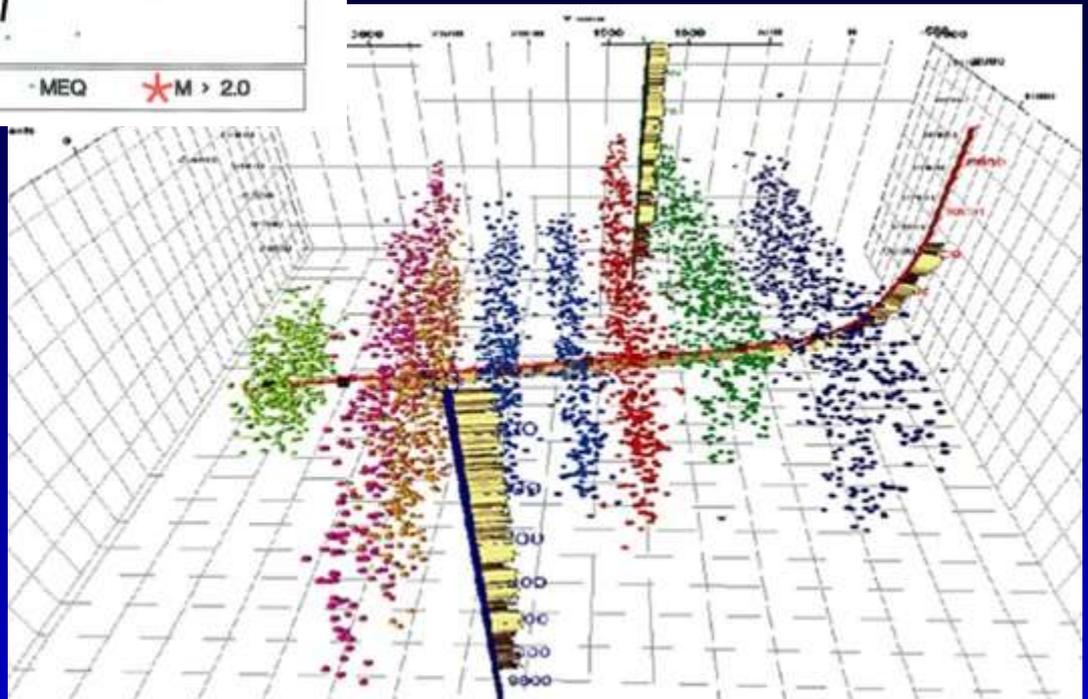
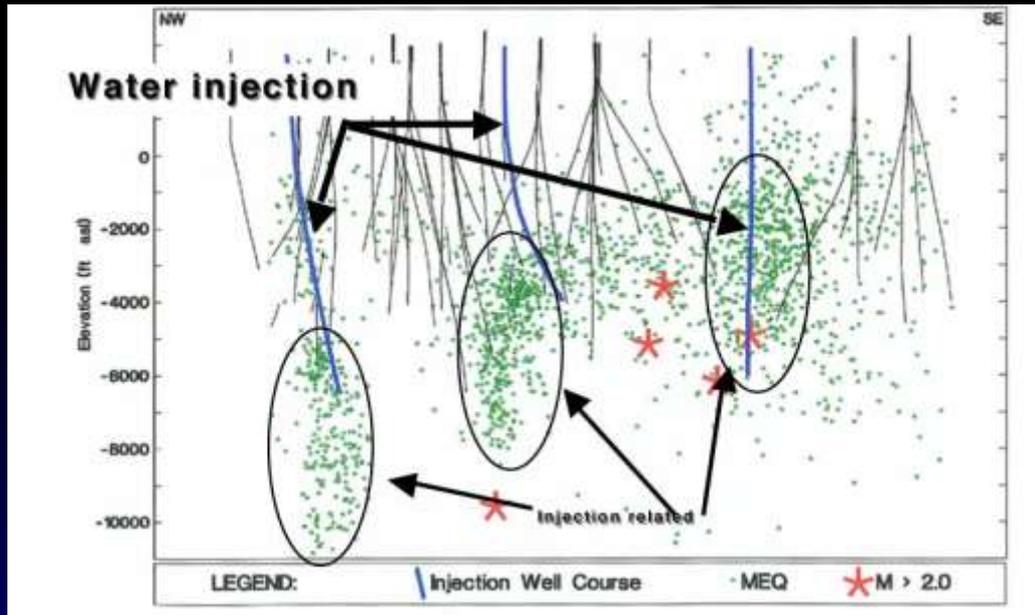


# Remise à l'échelle...

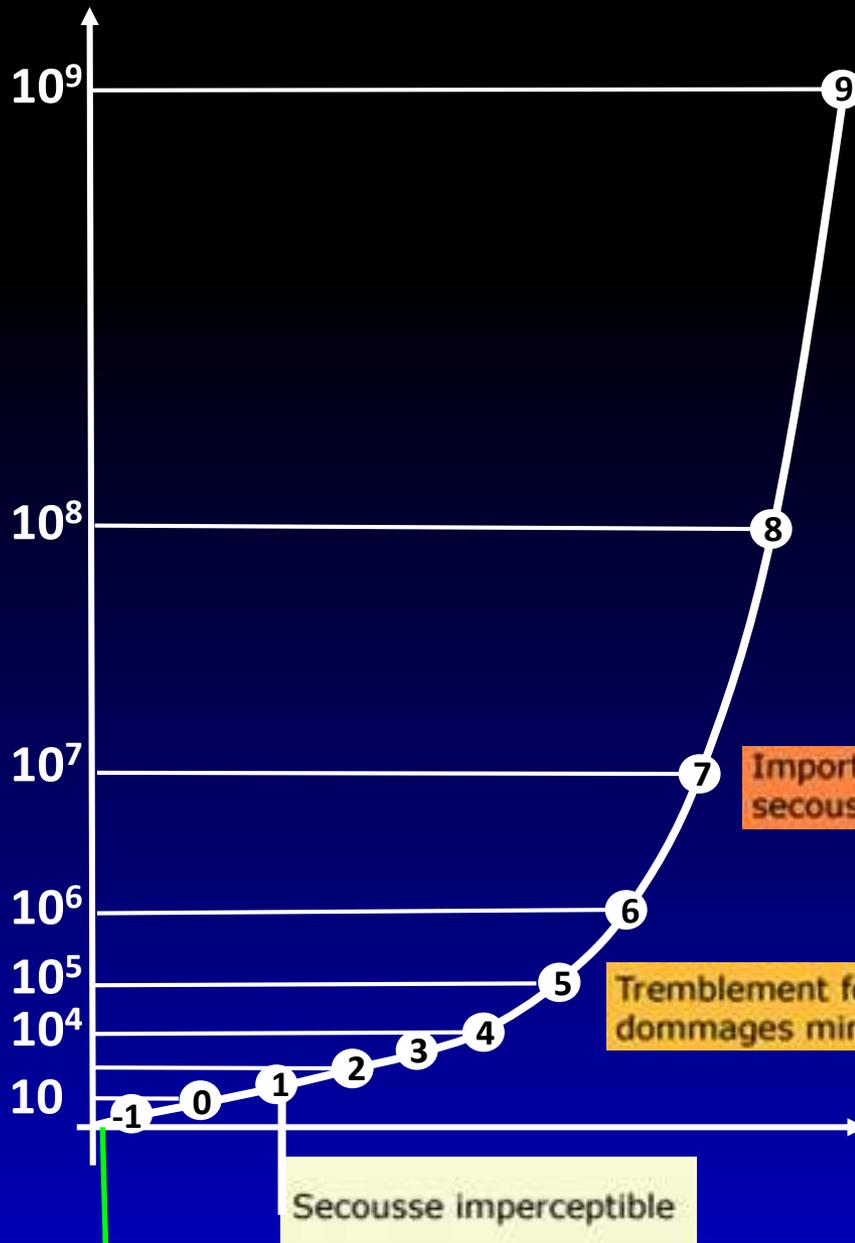
<http://www.geothermie-perspectives.fr/07-geothermie-france/02-basse-energie.html>



# Sismicité induite



AMPLITUDE MAXIMALE DE MOUVEMENT (MICRON)



Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km

## Sismicité induite

Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km

Tremblement fortement ressenti, dommages mineurs près de l'épicentre

Secousse imperceptible

Domaine de la fracturation hydraulique

# Impact sur le paysage

8 puits/km<sup>2</sup>

Routes d'accès





## LE DEBAT SOCIAL



**NI ICI**  
NI AILLEURS  
**NI AUJOUR'HUI**  
NI DEMAIN

**Inadéquation avec notre mode de vie?**

**Désindustrialisation (fin de l'industrie pétrolière  
domestique et des industries lourdes)  
Tourisme, maisons secondaires, retraités, vie à la  
campagne.....**

**Choix de société**

**Décroissance, « cela ne profite qu'aux pétroliers »**

**Réchauffement climatique**

**Transition énergétique**

# QUE TRADUIT LA MONTEE EN PUISSANCE DES RESSOURCES NON CONVENTIONNELLES?

**Des compagnies poussées  
par la fin du pétrole conventionnel aux USA**

**Une capacité rapide d'adaptation de l'industrie du pétrole**

**La nécessité d'adapter les technologies et la législation**

# QUE TRADUIT LA MONTEE EN PUISSANCE DES RESSOURCES NON CONVENTIONNELLES?

**Une transition énergétique lente :  
besoin de recherche et de découvertes pour les renouvelables**

**40 ans d'endormissement depuis le premier choc pétrolier?**

Première cellule photovoltaïque moderne: Lab. Bell 1946

Premier brevet de moteur automobile à hydrogène Dieges 1970

Eolienne pour la production d'électricité France 1955-1963

**Charbon, pétrole, gaz, nucléaire  
restent le socle du développement énergétique**

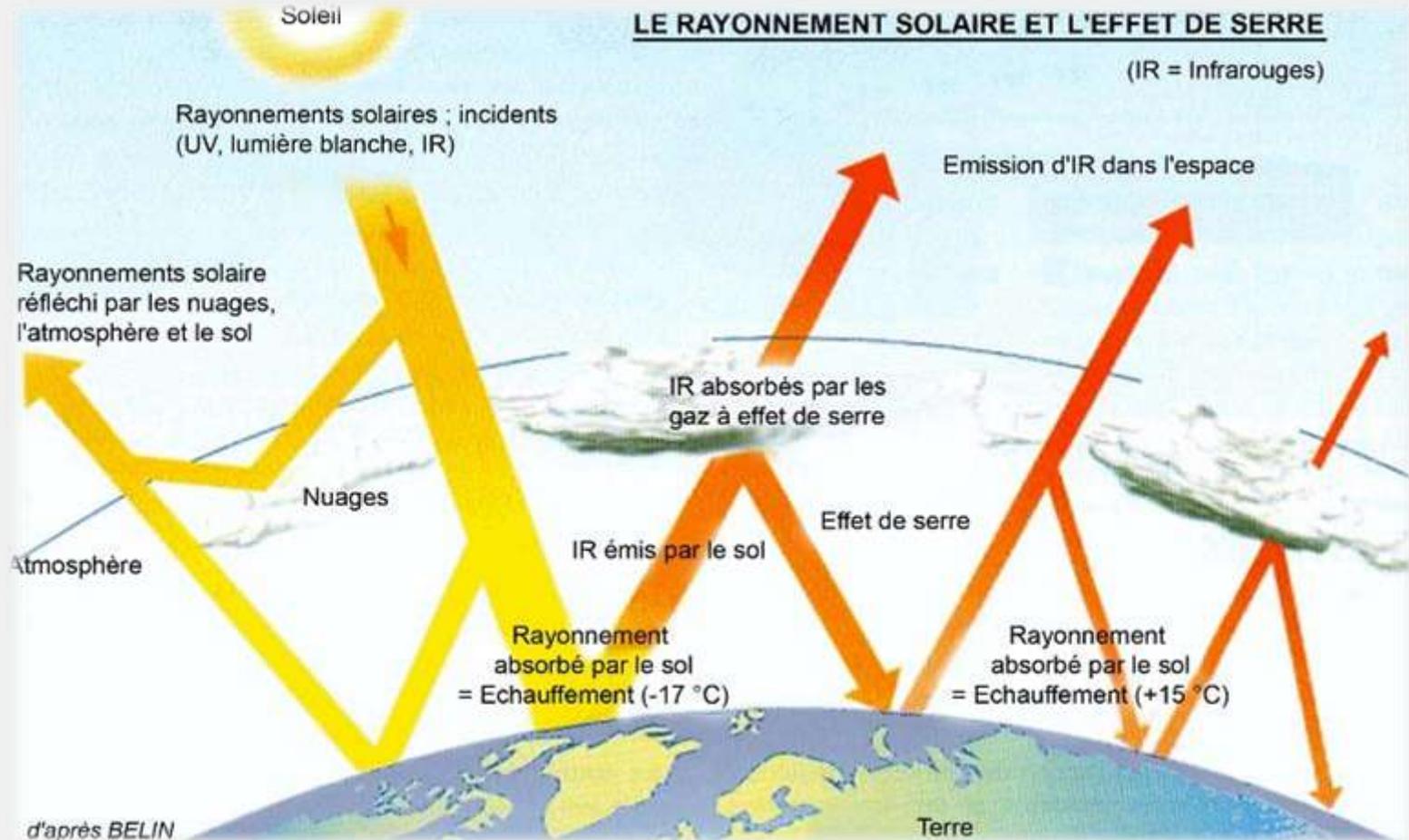
**Notre dépendance énergétique par rapport à des pays tiers**



# Sujets abordés ...

- L'effet de serre et les principaux gaz concernés
- Evolution et réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.
- La filière capture et stockage géologique du CO<sub>2</sub> (ou CCS)
- Les sites de stockage
- Les types de piègeage
- Un exemple de site pilote: Sleipner (Mer du Nord)

# L' Effet de Serre: un phénomène naturel



Des gaz de l'atmosphère absorbent une partie du rayonnement infra-rouge émis par la surface terrestre.

# Les Gaz à Effet de Serre

Le pouvoir de réchauffement global (ou PRG) d'un gaz se définit comme le "forçage radiatif" (c'est à dire la puissance radiative que le gaz à effet de serre renvoie vers le sol), cumulé sur une durée qui est généralement fixée à 100 ans, d'une quantité de gaz donnée.

Cette valeur ne se mesure pas dans l'absolu, mais relativement au CO<sub>2</sub>.

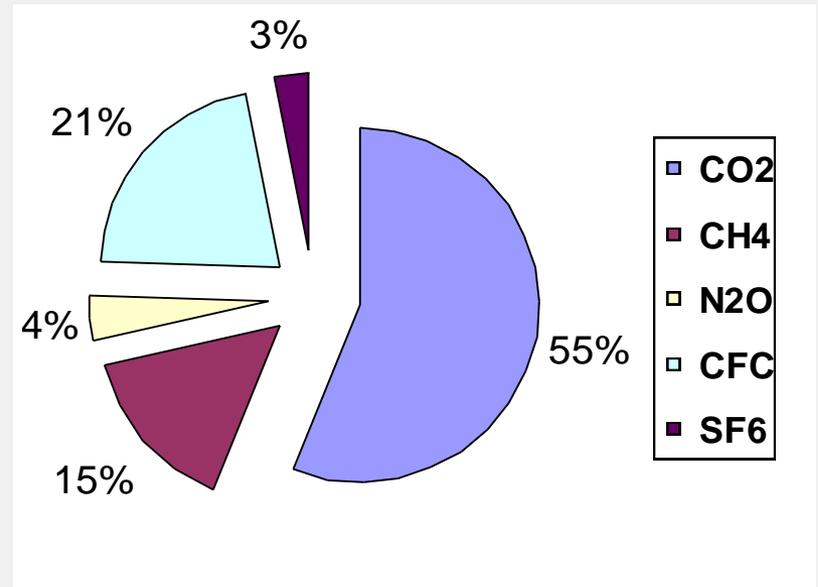
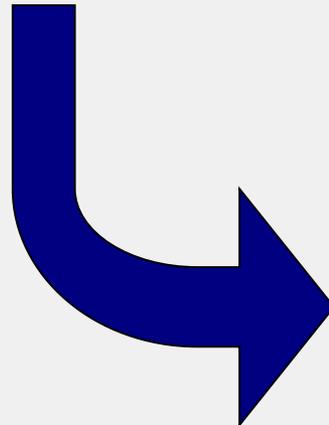
<b>Gaz</b>	<b>Formule</b>	<b>PRG relatif / CO<sub>2</sub> (à 100 ans)</b>
<b>Gaz carbonique</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>1</b>
<b>Méthane</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>23</b>
<b>Protoxyde d'azote</b>	<b>N<sub>2o</sub></b>	<b>298</b>
<b>Perfluorocarbures</b>	<b>C<sub>nF2n+2</sub></b>	<b>6500 à 8700</b>
<b>Hydrofluorocarbures</b>	<b>C<sub>nHmFp</sub></b>	<b>140 à 11700</b>
<b>Hexafluorure de soufre</b>	<b>SF<sub>6</sub></b>	<b>23900</b>

# Le réchauffement climatique

C'est le changement de climat global dû à l'augmentation de l'effet de serre elle-même liée à l'augmentation des dégagements de GES par les activités humaines.

Facteurs à prendre en compte :

- Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)
- Durée de vie du gaz dans l'atmosphère
- Quantité de gaz émis annuellement
- ...

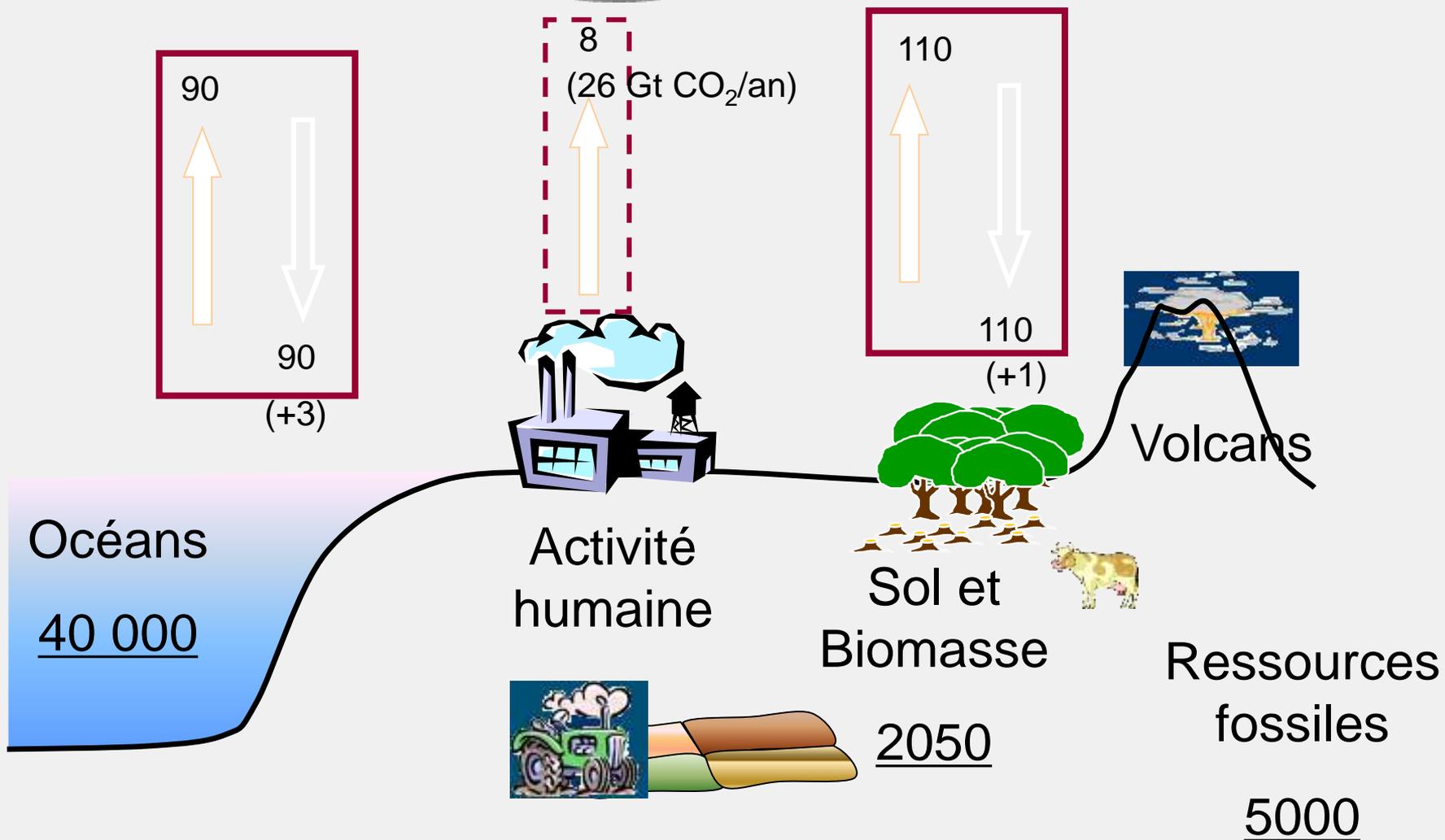


***Contribution à l'effet de serre additionnel***

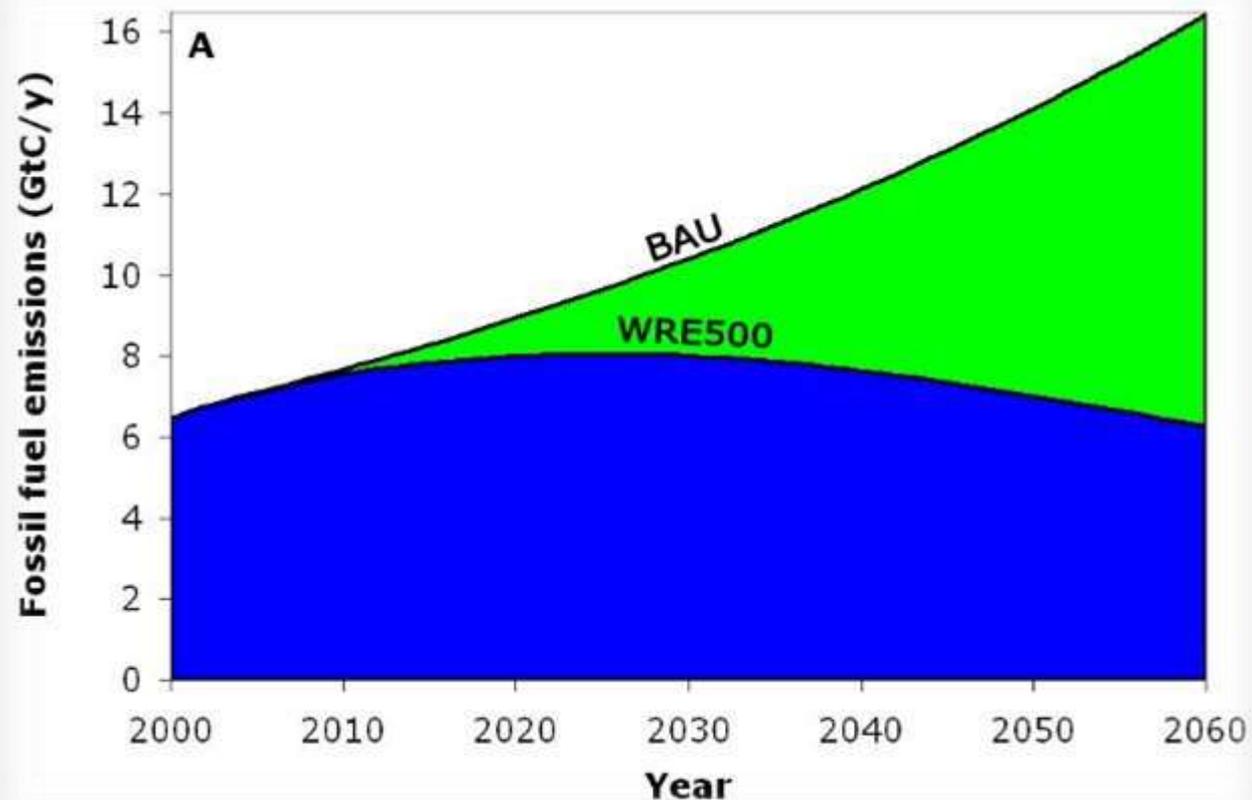
# Les réservoirs de C sur Terre

Atmosphère 750 (+ 4 /an)

Stocks en Gt C  
Flux en Gt C/an



# Prévisions pour les 50 prochaines années

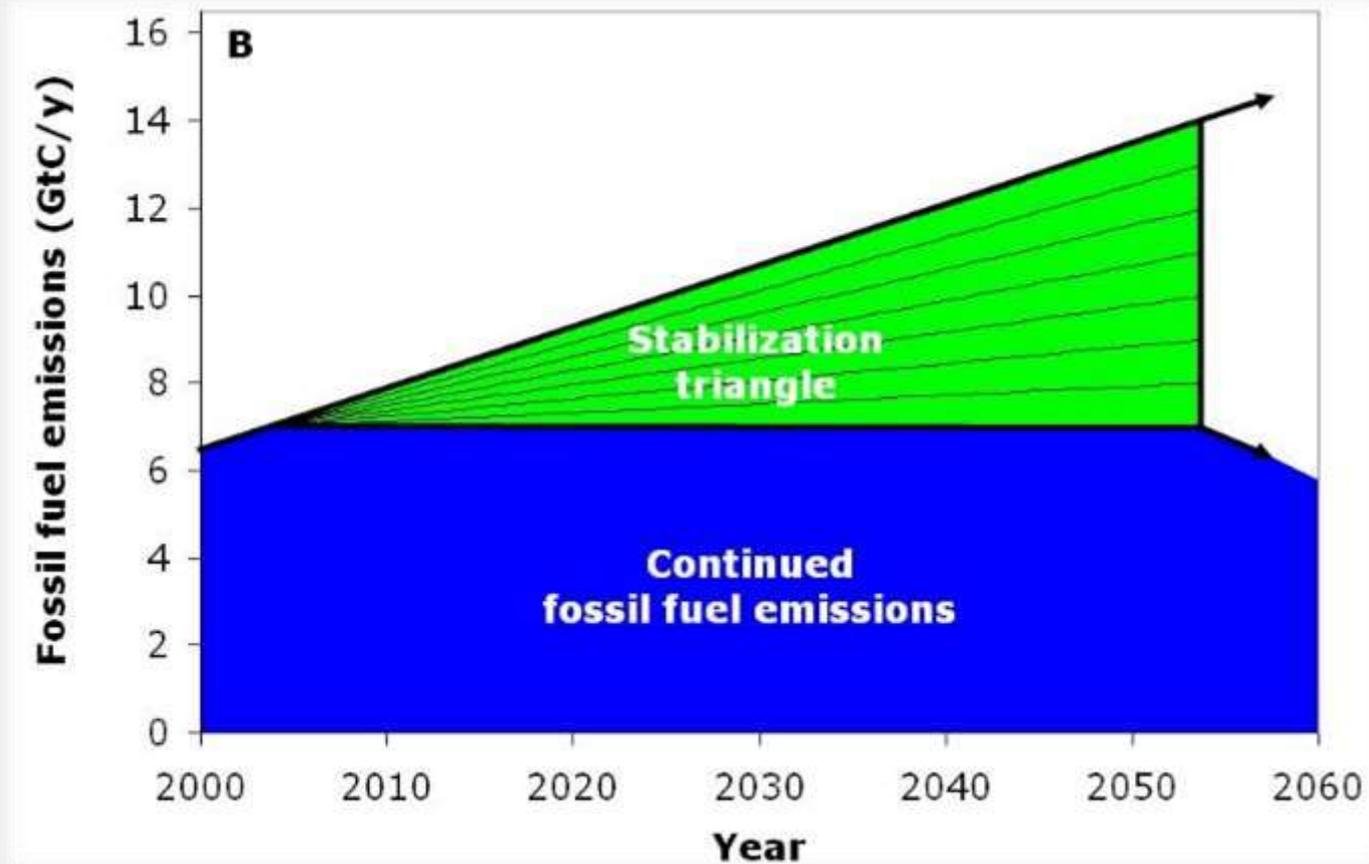


## Deux modèles de prédiction des émissions de CO<sub>2</sub>:

- BAU (Business as usual) : 1.5%/an (croissance exponentielle)
- WRE500: modèle de Wigley, Richels, Edmonds (stabilisation à 500 ppm).

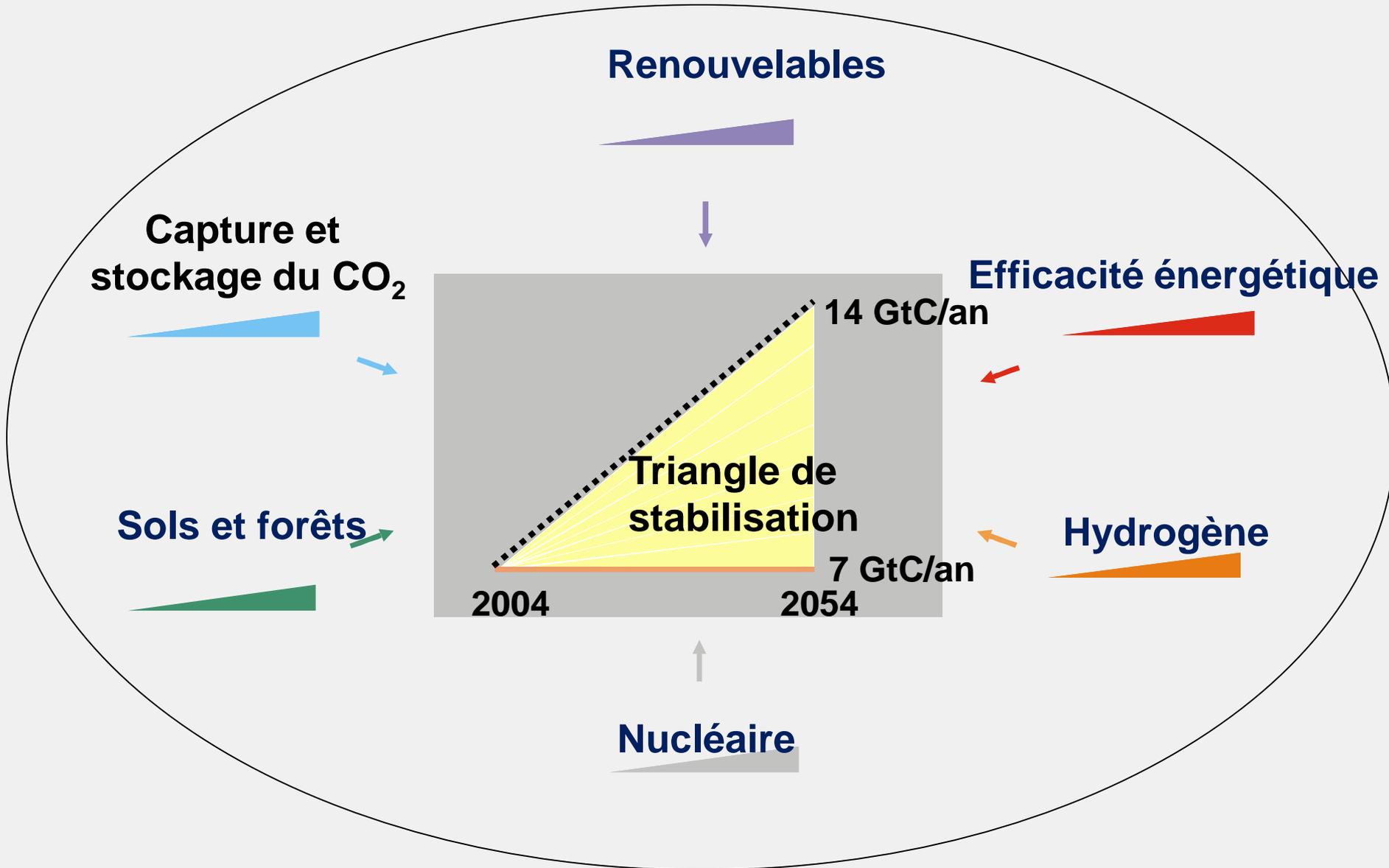
# Le Triangle de stabilisation

(d'après Pacala et Sokolow, 2004)



Pacala, S. and R.Sokolow, Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies, Science, vol. 305, pp 968-972, 2004.

# Parmi les solutions possibles ....



Parmi les solutions possibles ...

## La capture et le stockage de CO<sub>2</sub>



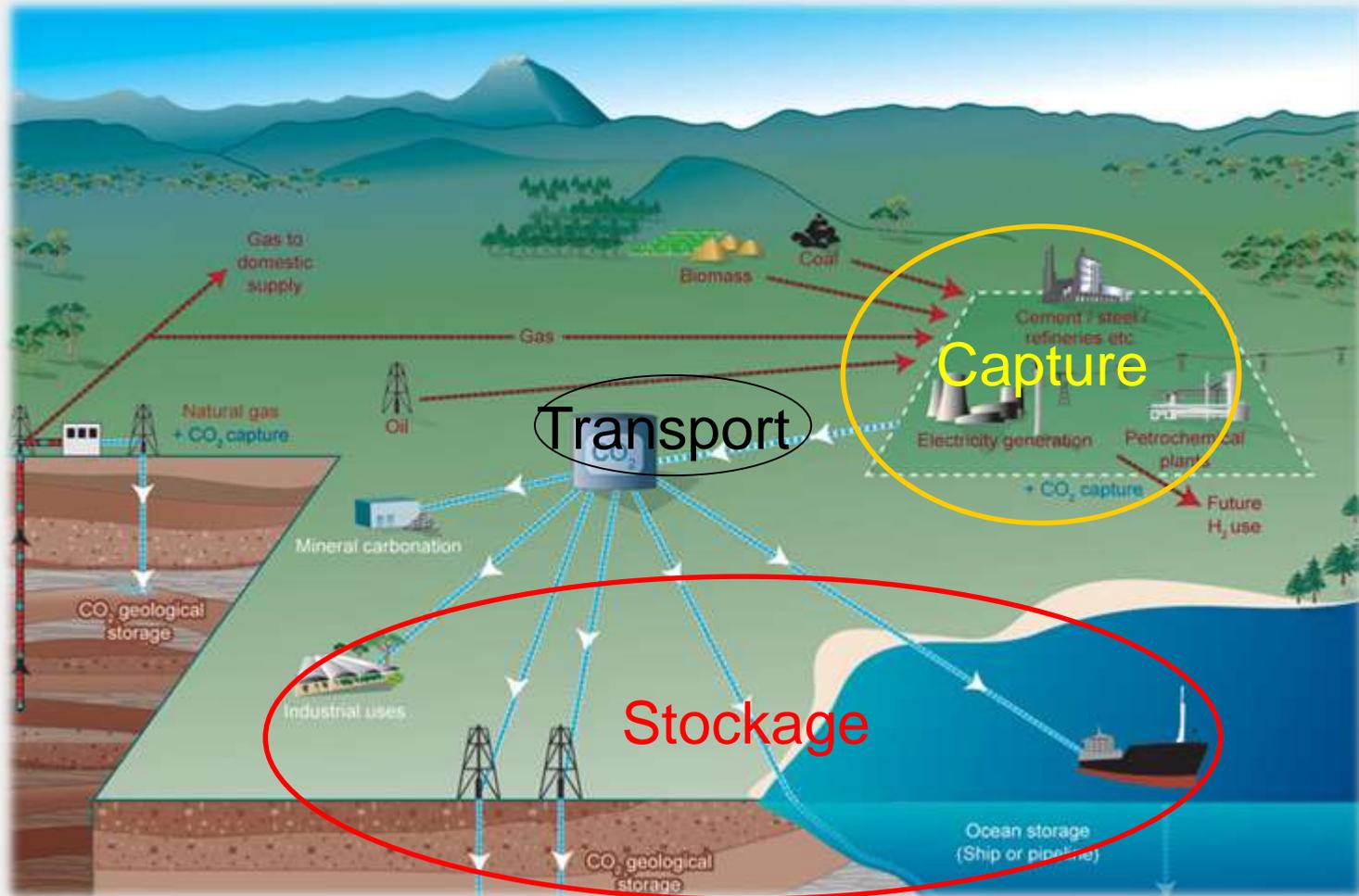
Agir sur les sources concentrées de CO<sub>2</sub> pour le capturer puis le transporter et l'enfouir dans le sous-sol pour qu'il y reste plusieurs milliers d'années si possible.

**Objectif: 1 Gtonne de C par an**

# Capture, Transport et Stockage de CO<sub>2</sub> ou CCS (Carbon Capture and Storage)



# Filière Capture, Transport et Stockage de CO<sub>2</sub>



# CCS-1: Capture du CO<sub>2</sub>

**Qu'est-ce une source de CO<sub>2</sub> adaptée au stockage géologique?**

- ▶ Important point d'émission permanent.
- ▶ Haute concentration en CO<sub>2</sub> des fumées produites
- ▶ A distance raisonnable d'un site de stockage souterrain potentiel

## Sources permanentes émettant plus de 0.1 MtCO<sub>2</sub>/an

Process	No. of sources	Emissions (MtCO <sub>2</sub> /yr)
<b>Fossil Fuels</b>		
Power (coal, gas, oil and others)	4,942	10,539
Cement production	1,175	932
Refineries	638	798
Iron and steel industry	269	646
Petrochemical industry	470	379
Oil and gas processing	N/A	50
Other sources	90	33
<b>Biomass</b>		
Bioethanol and bioenergy	303	91
<b>Total</b>	<b>7,887</b>	<b>13,466</b>

**Plus de la moitié des émissions mondiales...**

# CCS-1: Capture du CO<sub>2</sub>

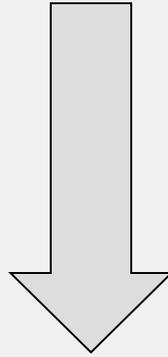
C'est l'étape qui sert à séparer le CO<sub>2</sub> des autres gaz produits lors de la combustion des hydrocarbures par exemple

**Il existe 3 types de procédés.. qui consomment aussi de l'énergie!...**

- ▶ Consommation supplémentaire d'énergie : 10 - 40%
- ▶ Efficacité de la Capture : 85 - 95%
- ▶ Réduction nette de CO<sub>2</sub> : 80 - 90%

*Et on parle donc de CO<sub>2</sub> évité plutôt que capturé.*

**Mécanismes de combustion**



**Mécanismes de capture**

# Combustion “normale”, à l’air



Séparation et capture du  $\text{CO}_2$   
par voie chimique (passage sur un solvant  
organique- amines)

# Combustion en présence d'oxygène: l'oxycombustion



Séparation (moins chère) et capture du  $\text{CO}_2$

Mais il faut produire du  $\text{O}_2$  pur (cher) et utiliser des centrales spécifiques

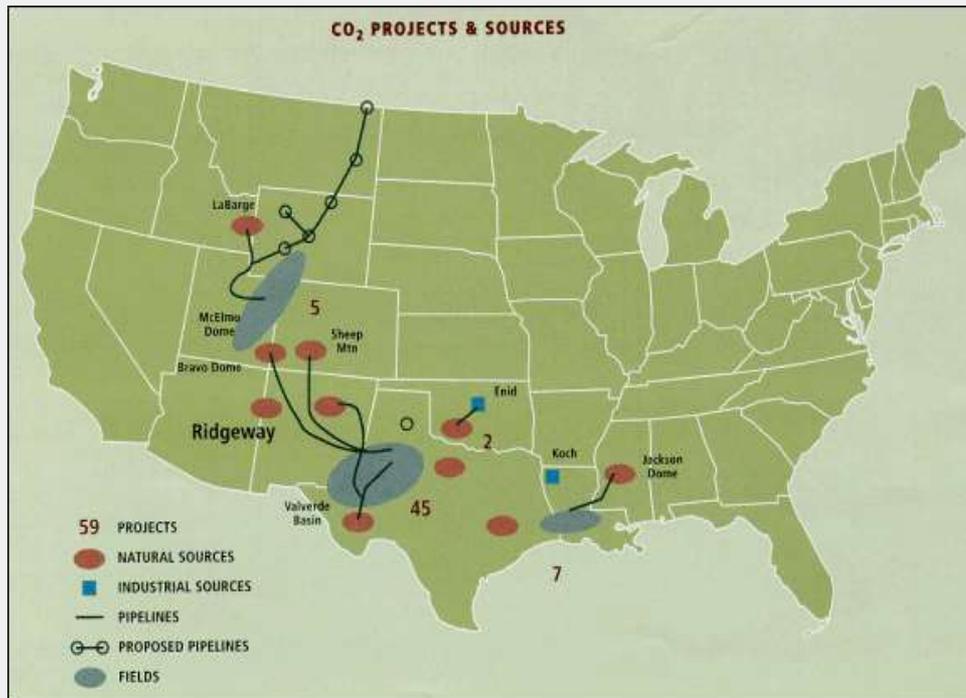
# Capture pré-combustion



# CCS-2: Transport

par gazoduc ou bateau

Aux USA: il existe déjà plusieurs milliers de km de gazoducs pour des actions de récupération assistée d'hydrocarbures.



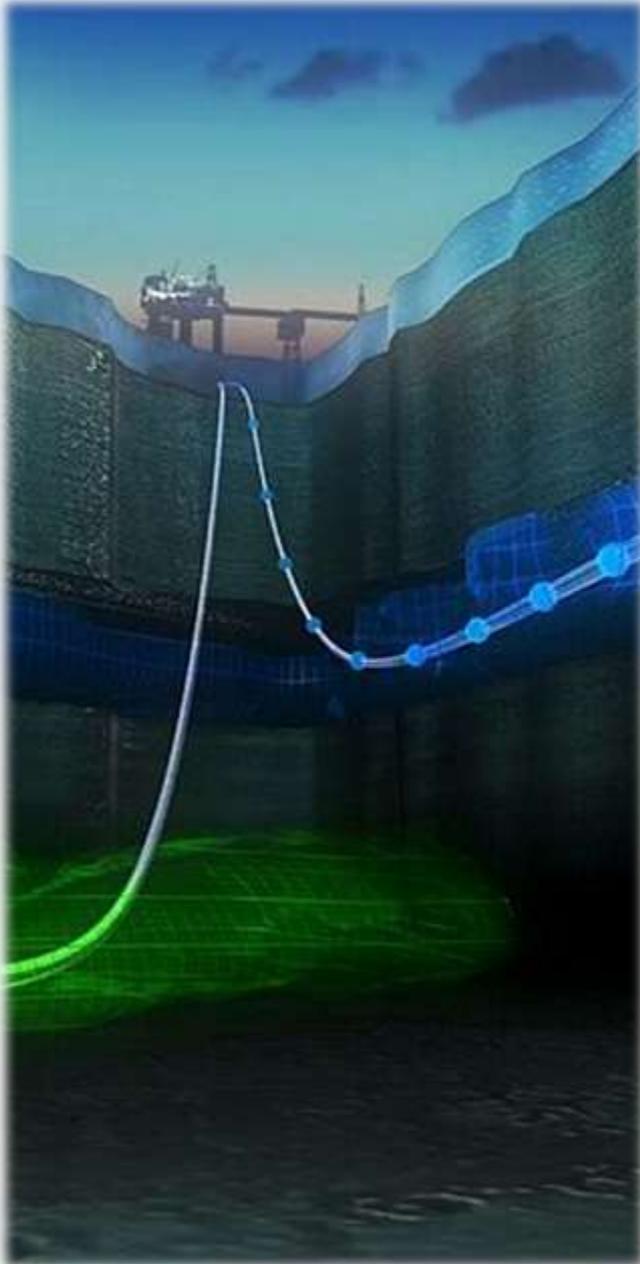
- ⇒ pas de réglementation
- ⇒ transport sous forme supercritique
- ⇒ risque de corrosion/hydrates

Coût du transport :

- Diamètre
- Epaisseur
- Longueur
- Lieu de pose (*on ou off-shore...*)

# CCS-2: Transport





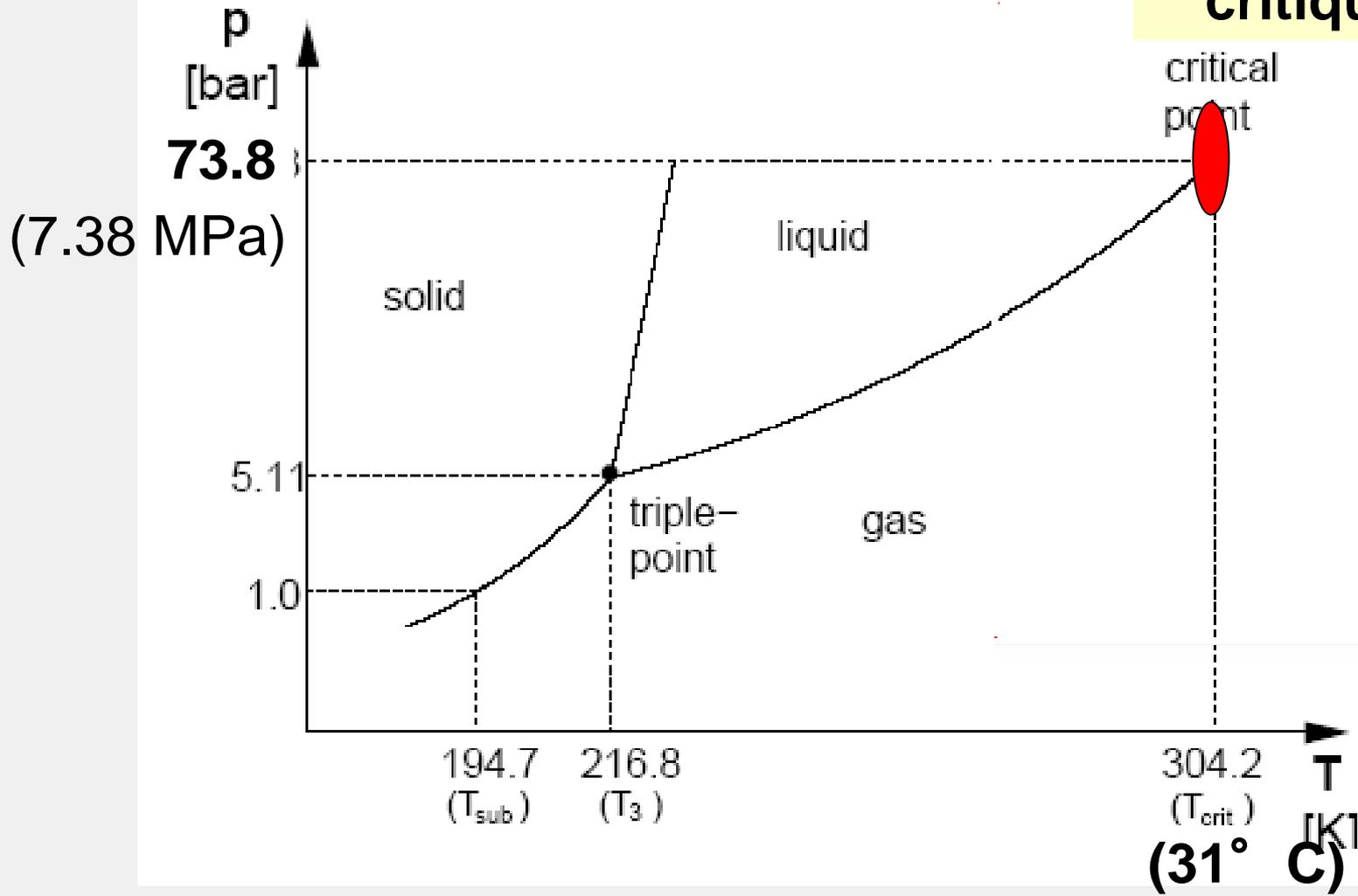
# CCS-3: Stockage

## Stockage en profondeur dans les formations géologiques

- 1) Grands types de réservoir
- 2) Les types de piégeage
- 3) Les sites existants et les projets

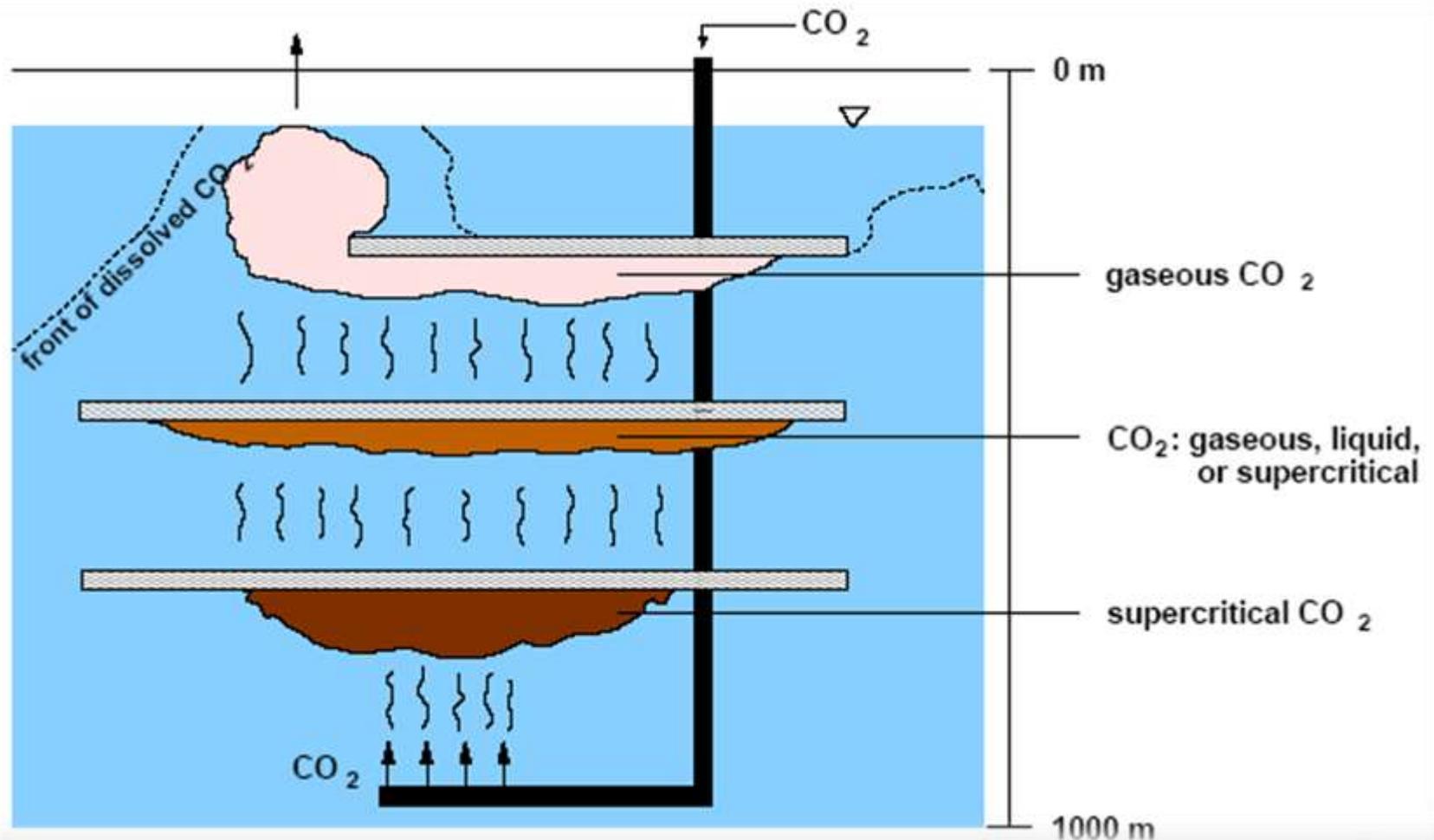
# Les états du CO2

Domaine  
super-  
critique



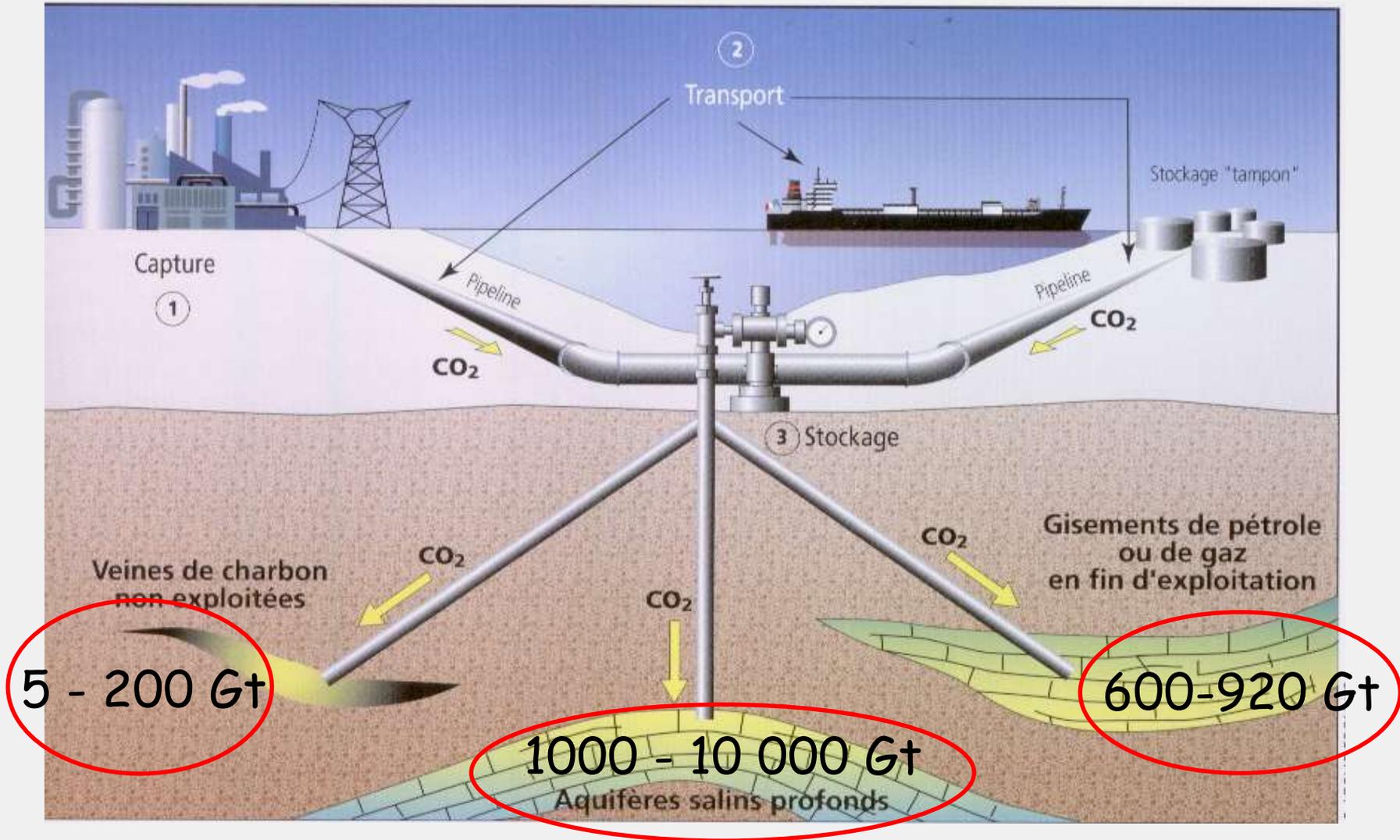
Pour  $P > P_c$  et  $T > T_c$ , le CO2 est à l'état supercritique.

# Que devient le CO<sub>2</sub> une fois injecté?



Migration de la bulle de CO<sub>2</sub> : nécessité d'avoir un toit imperméable  
Réactivité avec les fluides et les minéraux de la formation (dissolution  
précipitation)

# Candidats pour le stockage: les bassins sédimentaires



# Les formes de piègeage du CO<sub>2</sub>

- \* Immiscible: piègeage en phase résiduelle gazeuse dans l'espace poreux
- \* Soluble ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) et
- \* Ionique ( $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ ) dans les fluides de la formation (eau ou hydrocarbures)
- \* Minéralisé sous forme de carbonates néoformés ou adsorbé sur les surfaces minérales

# Sécurité du stockage

Piégeage  
minéral

élevée

Piégeage  
ionique

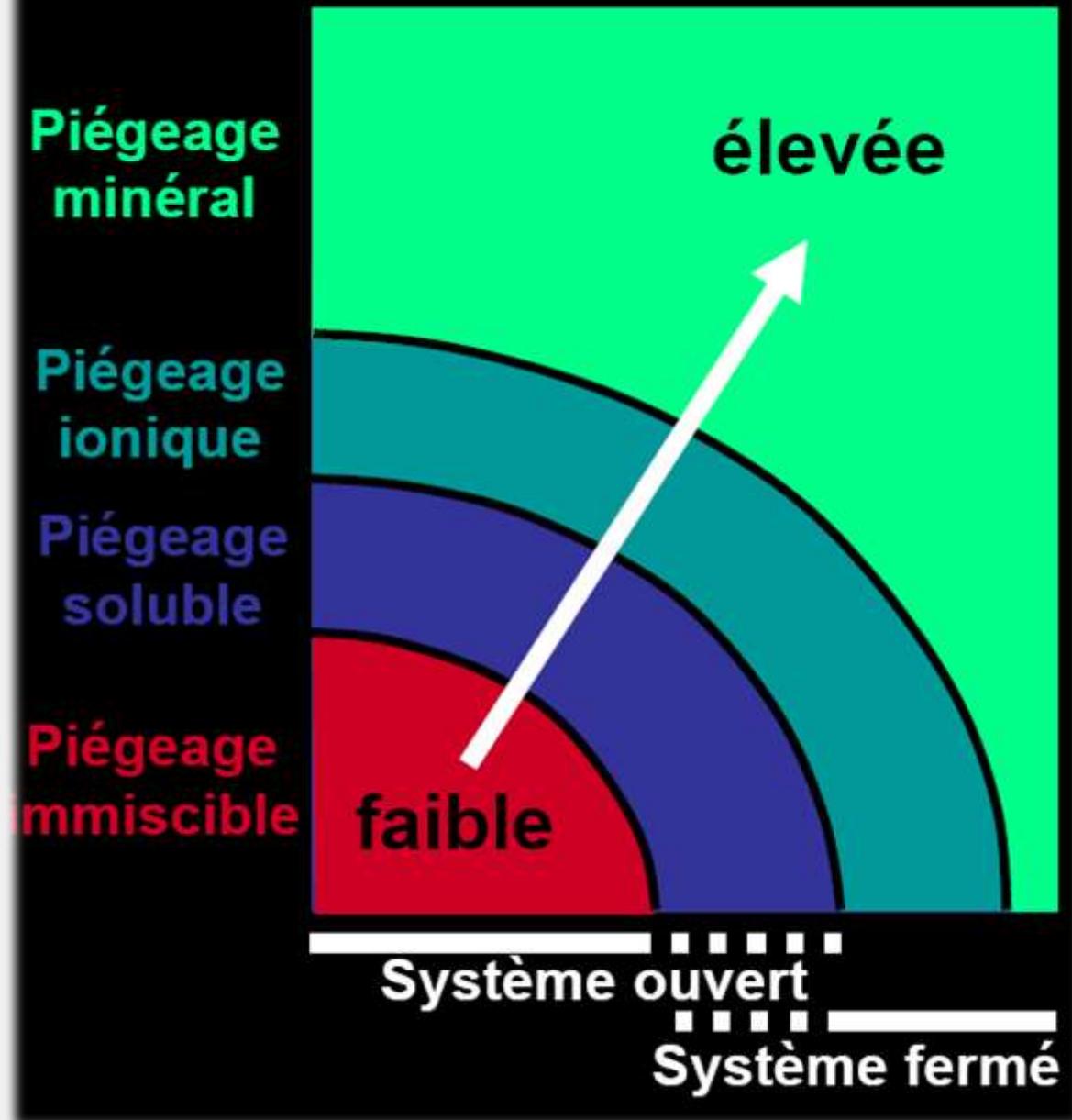
Piégeage  
soluble

Piégeage  
immiscible

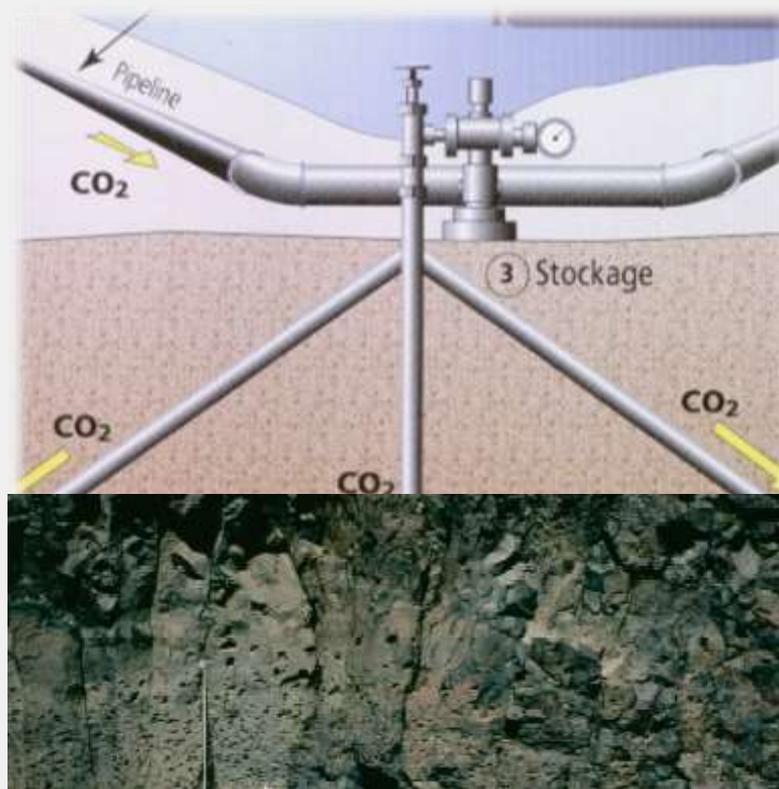
faible

Systeme ouvert

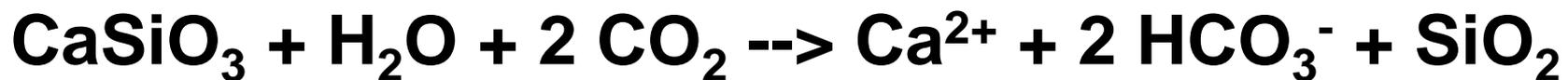
Systeme fermé



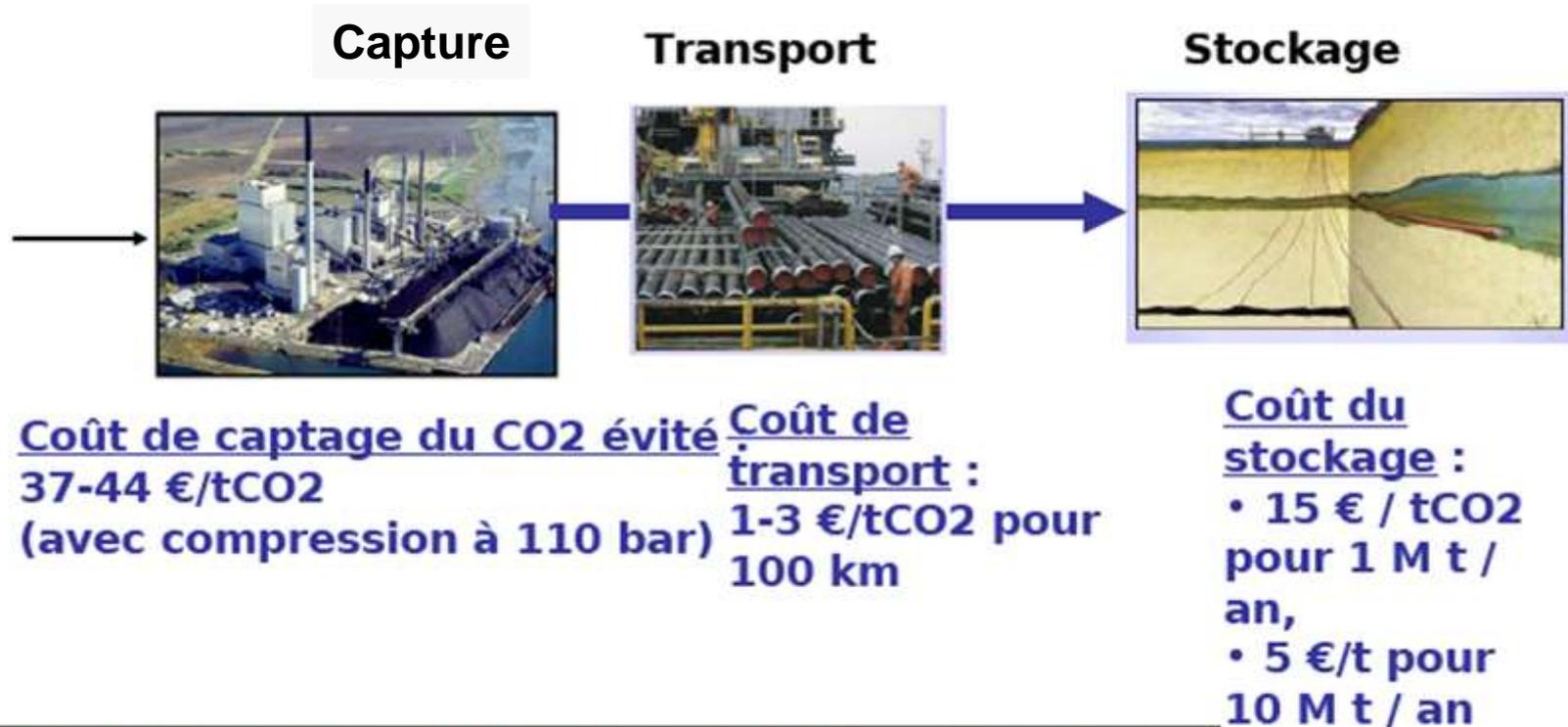
## Autre candidat: les roches basiques



**Avantage: permet le stockage minéral grâce à des réactions de dissolution + précipitation**



# Coût estimé de la filière (en 2007)



Coût de captage du CO2 évité  
37-44 €/tCO2  
(avec compression à 110 bar)

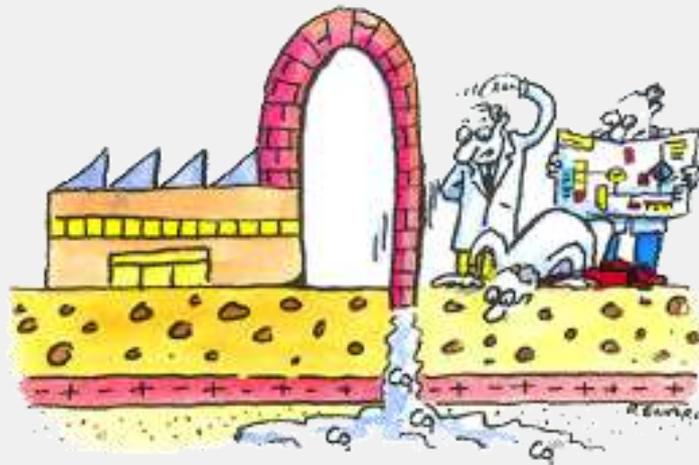
Coût de transport :  
1-3 €/tCO2 pour  
100 km

Coût du stockage :  
• 15 € / tCO2  
pour 1 M t /  
an,  
• 5 €/t pour  
10 M t / an

**Coût total entre 43 et 52 € / tCO2 évité pour 10 M t/an**

# CCS

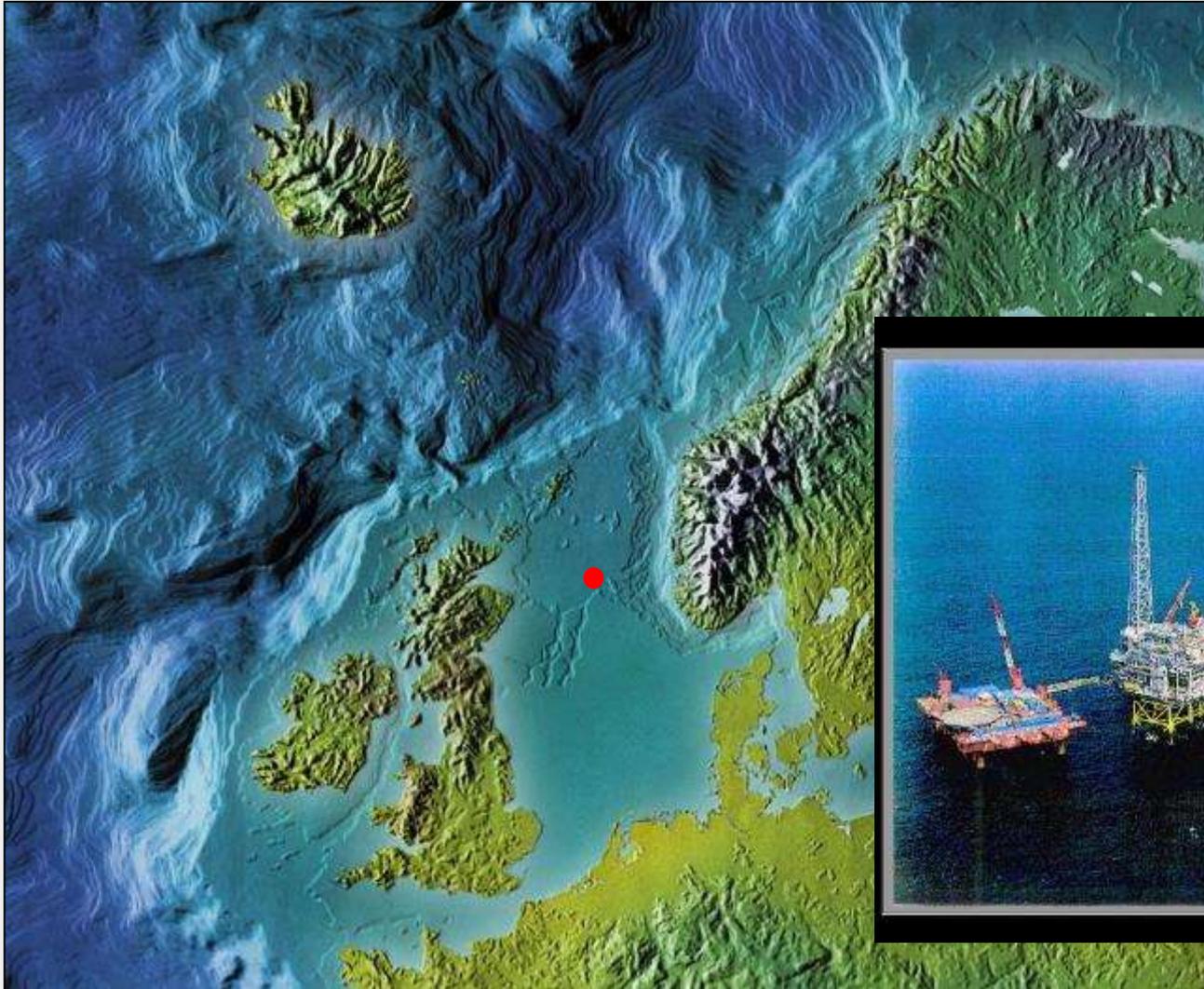
## Où?



# 2007: stockages existants

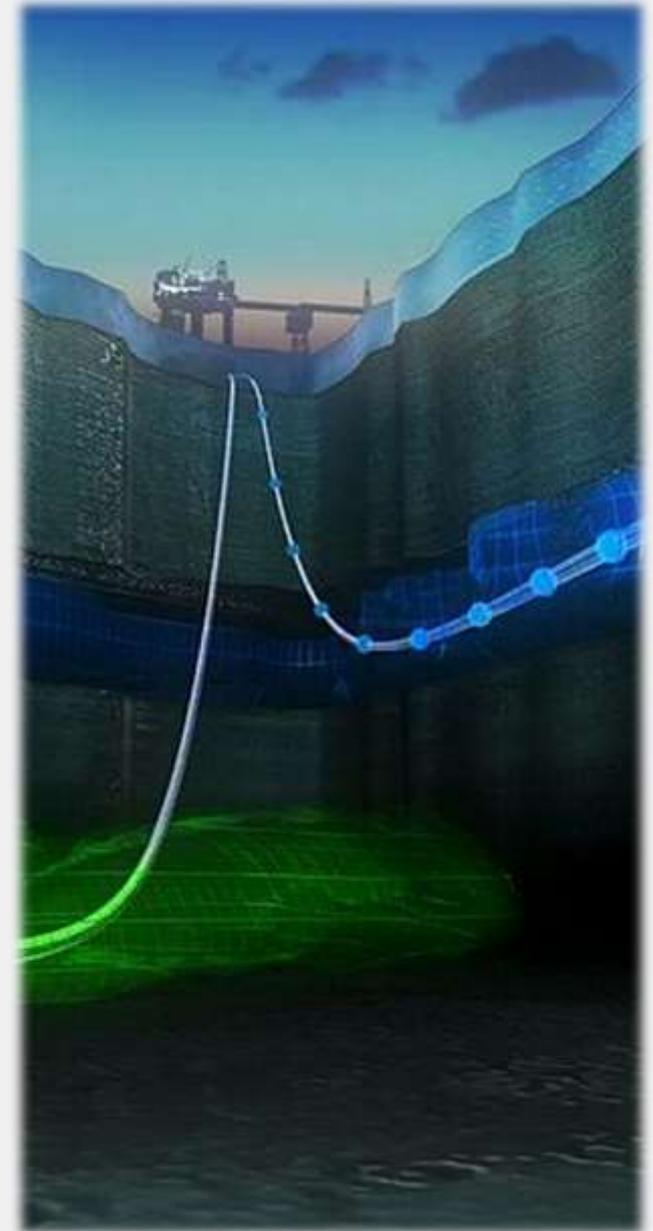
Projet	Pays	Début injection	injection (tCO <sub>2</sub> /jour)	Stockage prévu (tCO <sub>2</sub> )	Type de Réservoir
Weyburn	Canada	2000	3 000 – 5 000	20 000 000	EOR
In Salah	Algérie	2004	3 000 – 4 000	17 000 000	Champ Gaz
Sleipner	Norvège	1996	3 000	20 000 000	Aquifère salin
K12B	Hollande	2004	100	8 000 000	EGR
Frio	Etats-Unis	2004	177	1 600	Aquifère salin

# Un exemple de stockage de CO<sub>2</sub> dans un aquifère, champ de Sleipner, Norvège



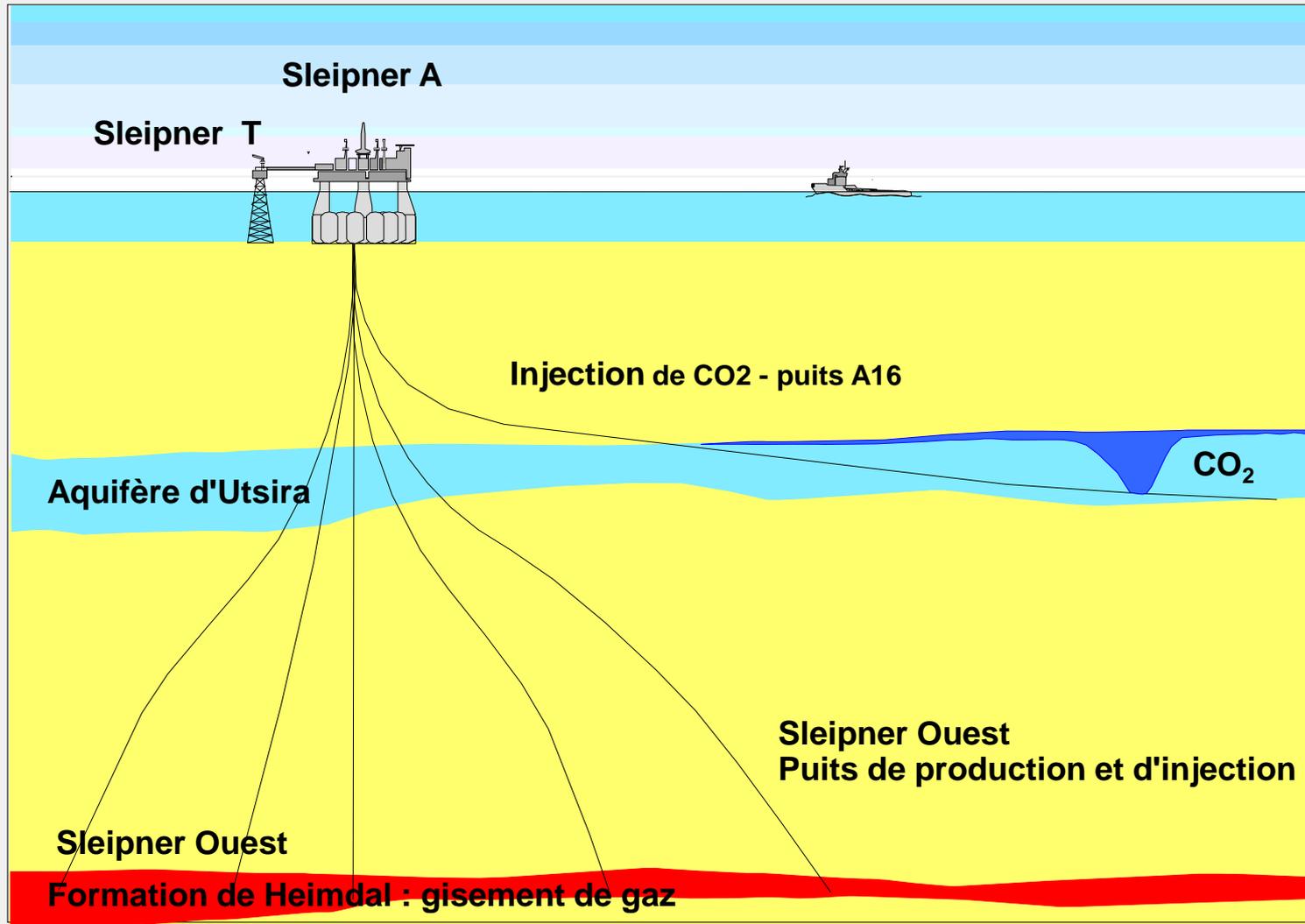
# Stockage à Sleipner : pourquoi ?

- Le gaz naturel du gisement de Sleipner contient 9% de CO<sub>2</sub> dans le réservoir..... les spécifications pour la vente du gaz autorisent un maximum de 2,5%
- La décision de réinjecter le CO<sub>2</sub> a été prise en 1991, suite à l'introduction en Norvège d'une taxe sur les émissions de CO<sub>2</sub> de 50 €/tonne CO<sub>2</sub> émise
- L'injection a débuté en septembre 1996 (1 Mt / an)



# Stockage de CO<sub>2</sub> dans l'aquifère d'Utsira

3000 tonnes de CO<sub>2</sub>/jour; 20 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> injecté



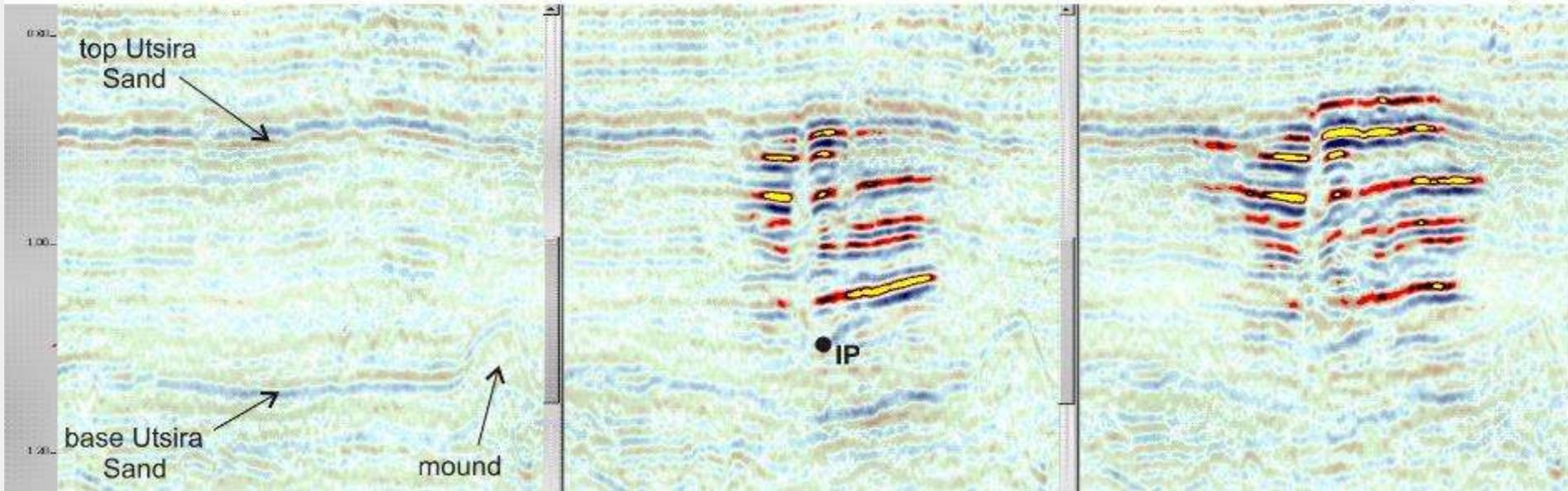
1GtC/an  $\approx$  4Gt CO<sub>2</sub>/an sur 50 ans = 200 Gtons de CO<sub>2</sub>  
 $\approx$  10000 Sleipner

# Suivi par méthode sismique de l'injection de CO<sub>2</sub>

pre-injection (1994)

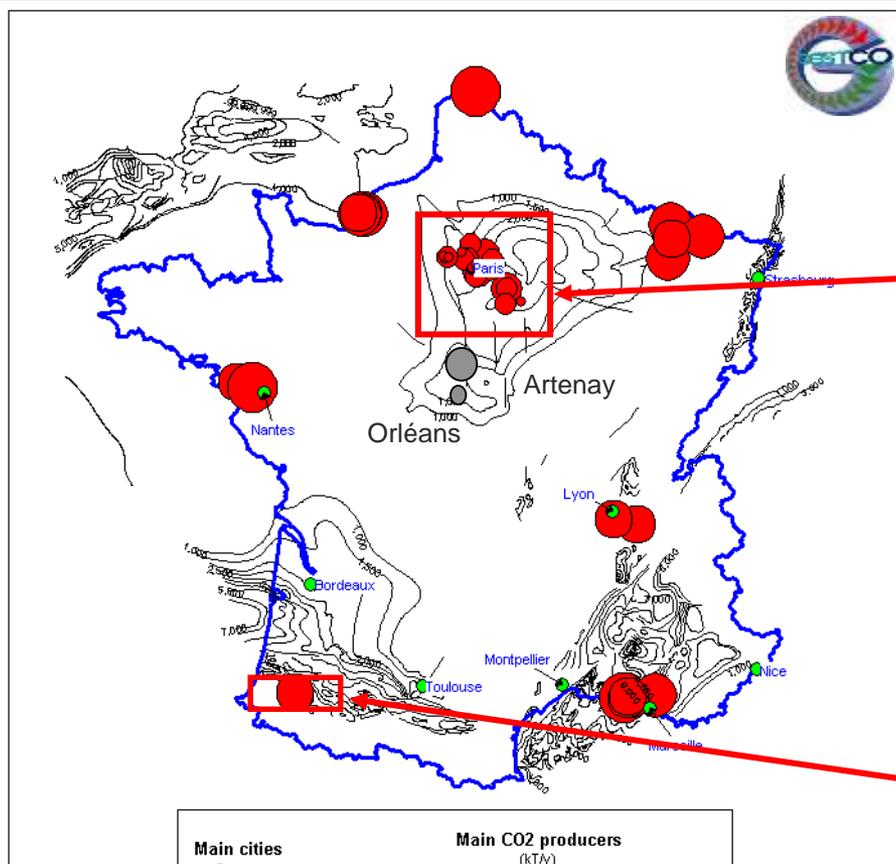
2.35 Mt CO<sub>2</sub> (1999)

4.36 Mt CO<sub>2</sub> (2001)



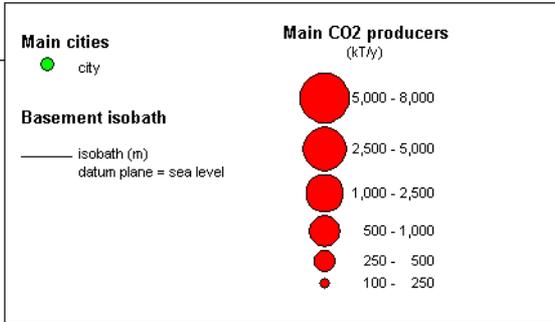
# En France ?

## Identification de sites pour pilotes de démonstration en France



**Bassin de Paris**  
-en Ile de France  
(émission fossiles)  
  
- en région Centre  
(biomasse)

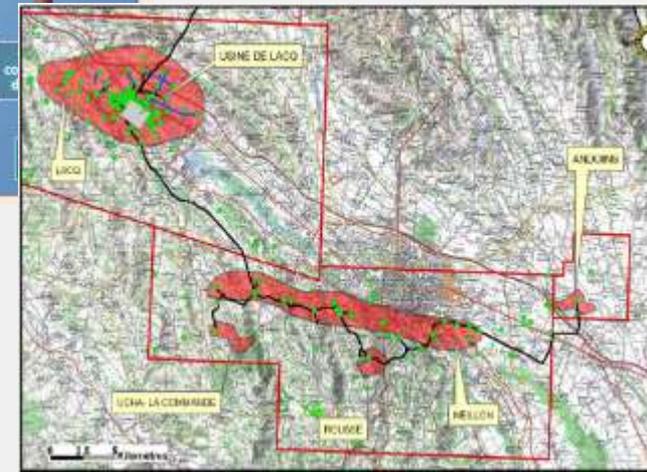
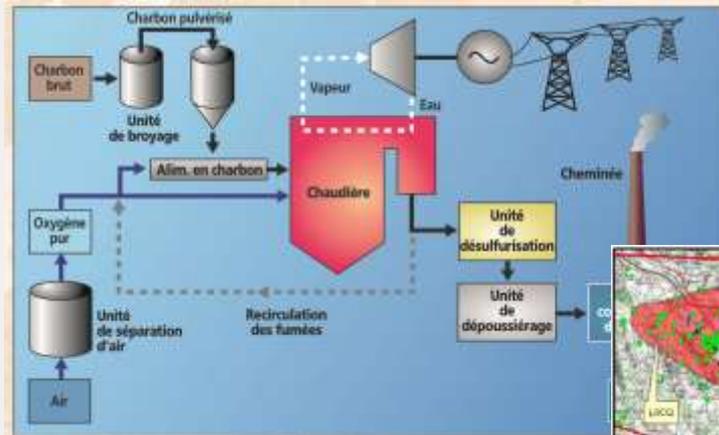
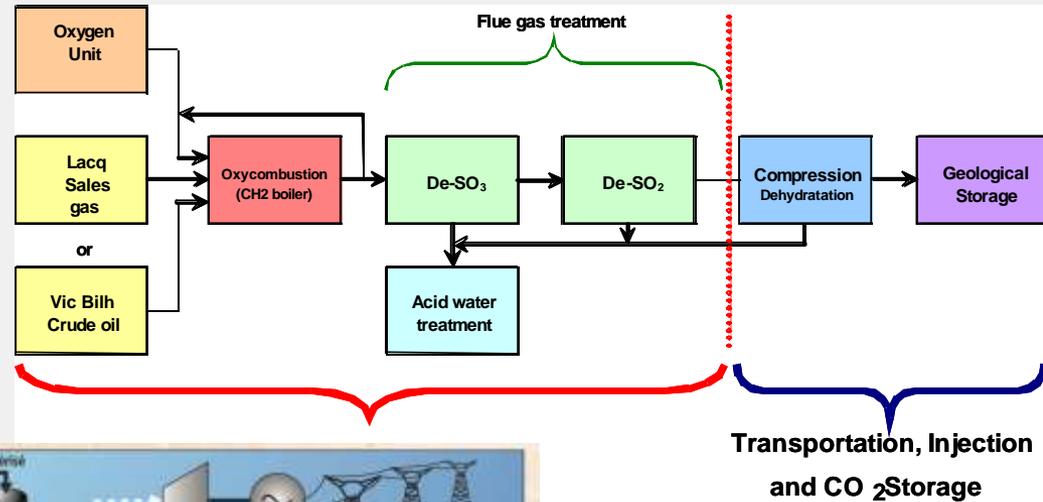
**Bassin Aquitain**  
Lacq  
*Un site pilote de démonstration intégré sur site industriel TOTAL*



# Pilote d'oxycombustion et de stockage de Lacq

## Caractéristiques:

- ✓ Centrale Oxy-combustion 30MW
- ✓ Par revamping d'une centrale 35MW conventionnelle
- ✓ Combustible liquide riche en sulfure
- ✓ Traitement innovant des gaz d'émission
- ✓ Transport et injection dans un satellite
- ✓ Stockage de 150 kt de CO<sub>2</sub> dans un réservoir épuisé
- ✓ Démarrage 2010



# Pistes de recherche et procédés innovants



# **Pistes de recherche et procédés innovants**

- 1. Comment accélérer la minéralisation du CO<sub>2</sub> en carbonates solides ?**
- 2. Comprendre la transformation abiotique du CO<sub>2</sub> en « matière organique »**
- 3. Peut on utiliser la biosphère profonde par exemple comme utilisatrice de ce CO<sub>2</sub> (ex. bactéries acétogènes)**
- 4. Développement de méthodes de suivi géophysiques et géochimiques de la bulle de CO<sub>2</sub> (ou monitoring)**

# Conclusions

- 1. La technologie associée à la filière CCS existe;**
- 2. Les enjeux pour un développement à plus grande échelle ne sont pas seulement de réduire son coût mais aussi et surtout,**
- 3. Une question d'acceptabilité sociale, de sécurité des sites de stockage (à long terme) et de choix politique (taxe sur les émissions de CO<sub>2</sub>)**

# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

**Denise Orange Ravachol, PU**  
**Université Charles de Gaulle – Lille 3**  
[denise.orange@univ-lille3.fr](mailto:denise.orange@univ-lille3.fr)

**Christian Orange, PU**  
**Université Libre de Bruxelles**  
[christian.orange@ulb.ac.be](mailto:christian.orange@ulb.ac.be)

**Colloque AFPSVT, mardi 13 novembre 2012**

# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

1. Les prescriptions officielles
2. Les manuels
3. Un point de vue compartimental?
4. Chez les élèves
5. Conclusion

# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

1. Les prescriptions officielles
2. Les manuels
3. Un point de vue compartimental?
4. Chez les élèves
5. Conclusion

# La place de l'EDD dans les programmes scolaires

G. Bonhoure, IGEN, Colloque AFPSVT, 16-11-10

disponible sur: <http://www.paris.iufm.fr/video/svt/pages/p7.html>

« Il y a pour moi **l'aspect ressources**, tout ce qui tourne autour de l'alimentation et de l'énergie, la santé si on veut mais les ressources de la planète, énergie, matière. Mais l'intérêt, c'est que **le mot ressource est déjà un mot de l'homme**. En soi, c'est un terme du développement durable.

On peut pas s'interroger dans un cours de 5<sup>ème</sup> par exemple sur les ressources, l'utilisation des ressources géologiques sans se dire avant mais **qu'est-ce que c'est qu'une ressource et pourquoi je l'utilise**. Et rien que le fait de poser la question de ce qu'est une ressource, on rentre dans la démarche de développement durable. Alors que souvent, il faut être clair, **en classe on rentre directement par l'objet géologique ce qui en soi n'a pas de sens, si on se pose la question des ressources**.

Donc l'idée (...) c'est d'essayer (...) de prévoir sa stratégie d'enseignement de façon à établir tout à fait naturellement le lien entre la science que l'on construit pour répondre à une question et justement mettre en place les connaissances qui peuvent être utiles à comprendre ce qu'est une ressource, une ressource épuisable ou non. Les ressources. »

# Les ressources géologiques dans les programmes (école, collège, lycée) (1)

	<b>Dans les programmes</b>	<b>Dans les ressources pour faire la classe</b>
Lycée	naturelles, en sol; énergie, sol; énergétiques, rapidement renouvelables; à l'échelle du globe; sols cultivables, eau; inégalement réparties, fragiles, disponibles en quantités limitées; exploitables; énergétiques et géopolitiques; locale; géologique; essentielle, disponibles; eau, sol, énergie; énergétique possible; géothermales, inépuisable; plantes	énergétiques fossiles; en charbon géologique locale; minérale; énergétique, quasi inépuisable, utilisable; abondantes, faciles d'accès; géothermiques, géothermales; naturelles, génétiques
Collège	naturelles; nature, localisation, caractère renouvelable ou non; énergétiques; gestion; en énergies fossiles et énergies renouvelables	Alimentaires, tirées du sous-sol, géologiques; en eau, pollution, distribution, protection; en énergies fossiles et énergies renouvelables; dominante
Ecole		eau

# Les ressources géologiques dans les programmes (école, collège, lycée)(2)

	Types de ressources	Couples problématiques
Lycée	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Matière Eau, calcaire, pétrole</li>   <li>▶ Energie charbon, pétrole, eau, géothermie</li>   <li>▶ Autre sol</li> </ul>	naturelles/ <b>produites par l'homme</b> énergétiques/ <b>matérielles</b> sol/sous-sol rapidement renouvelables/ <b>lentement renouvelables</b> échelle globale/échelle locale inégalement réparties / <b>également réparties</b> fragiles / <b>robustes</b> inépuisables/disponibles en quantités limitées exploitables / <b>non exploitables</b> énergétiques et géopolitiques; énergétique possible/ <b>énergétique impossibles</b>
Collège		naturelles/ <b>produites par l'homme</b> <b>non renouvelable</b> / énergie renouvelable énergies fossiles / <b>énergies renouvelables</b>

# Programmes du lycée (2<sup>e</sup>, 1<sup>ère</sup>, Terminale)

## **Enjeux planétaires contemporains**

Il s'agit de montrer **comment la discipline** participe à l'appréhension rigoureuse de grands problèmes auxquels l'humanité d'aujourd'hui se trouve confrontée.

Au-delà de la préoccupation citoyenne qui prépare chacun à l'exercice de ses responsabilités individuelles et collectives, la perspective utilisée ici conduit aux métiers de la gestion publique, aux professions en lien avec la dynamique de développement durable et aux métiers de l'environnement (agronomie, architecture, gestion des ressources naturelles).

# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

1. Les prescriptions officielles
2. Les manuels
3. Un point de vue compartimental?
4. Chez les élèves
5. Conclusion

# Tectonique des plaques et recherche d'hydrocarbures

## Tectonique des plaques et sédimentation organique

Normalement, la matière organique produite dans un écosystème est finalement reminéralisée par les décomposeurs. Il faut des conditions particulières pour qu'une partie de la biomasse échappe à ce destin.

Par exemple, **lorsque la production primaire est intense et que les capacités de minéralisation par les décomposeurs sont dépassées, des sédiments riches en matières organiques s'accumulent alors.**

SVT 1<sup>ère</sup> S, 2011, Bordas, p. 180

## Une tectonique favorable à l'enfouissement de la matière organique

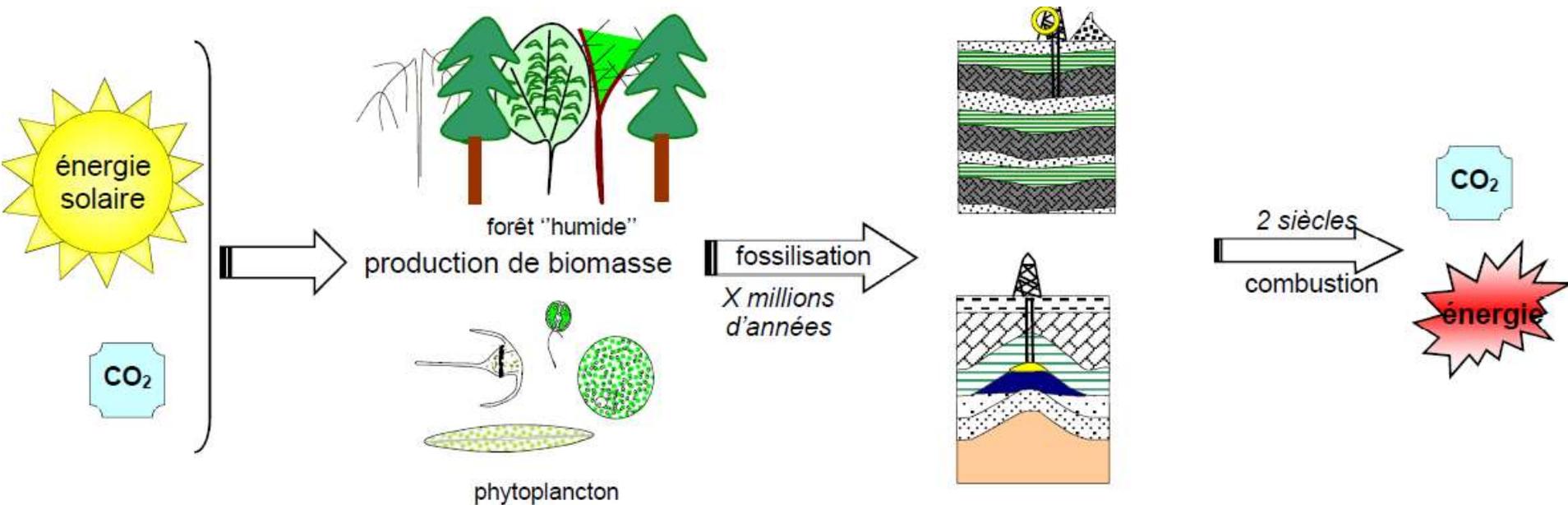
La formation des roches mères pétrolifères peut être mise en relation avec la tectonique des plaques. En effet, les zones soumises à une distension tectonique comme les marges continentales passives sont propices à une telle formation: (1)\* à ce niveau se forment des bassins sédimentaires subsidents où (2) sont enfouis profondément des sédiments riches en matière organique.

Cet enfouissement permet (3) la dégradation thermique de la matière organique et sa transformation en hydrocarbures.

\* Introduit par nous

Ibidem, p.182

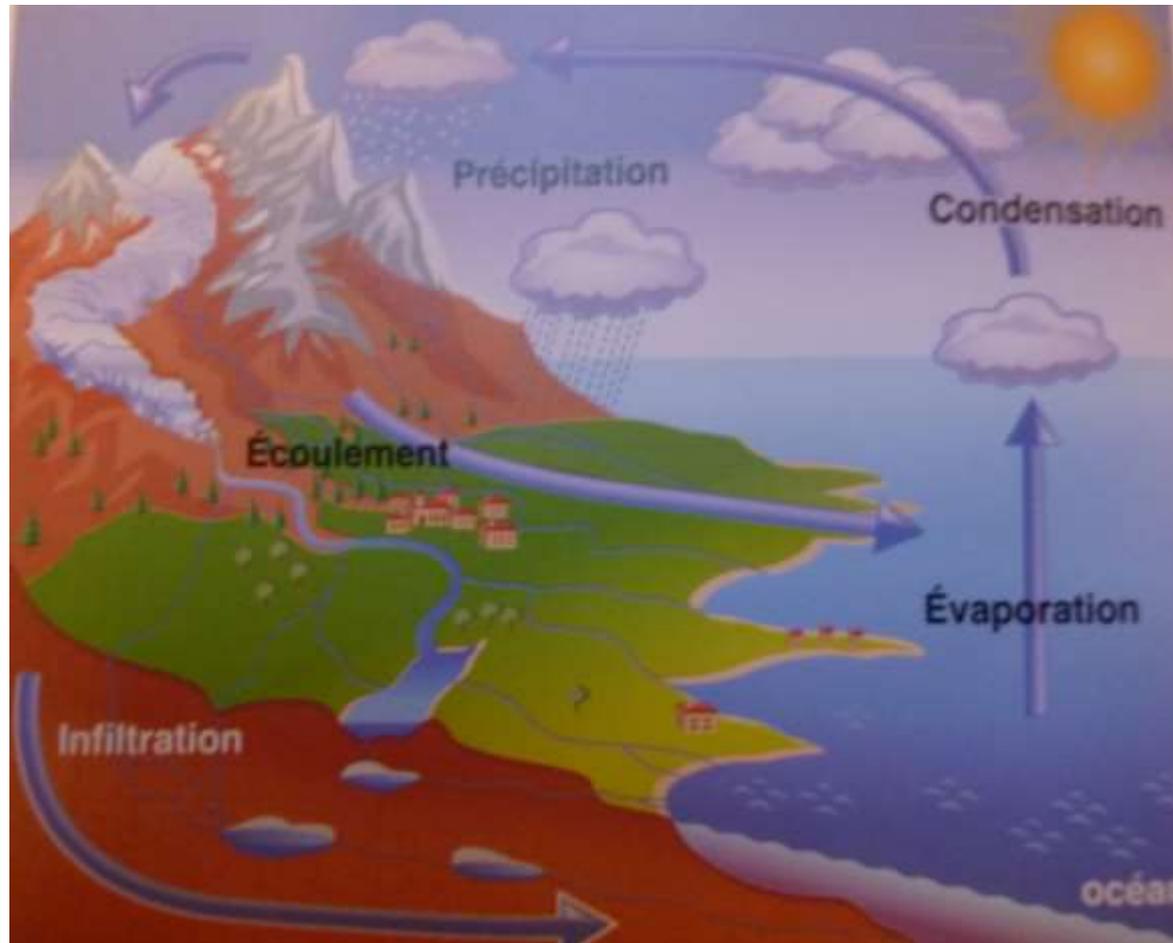
# Energie fossile et CO2 atmosphérique



[http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id\\_article=2426](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=2426)

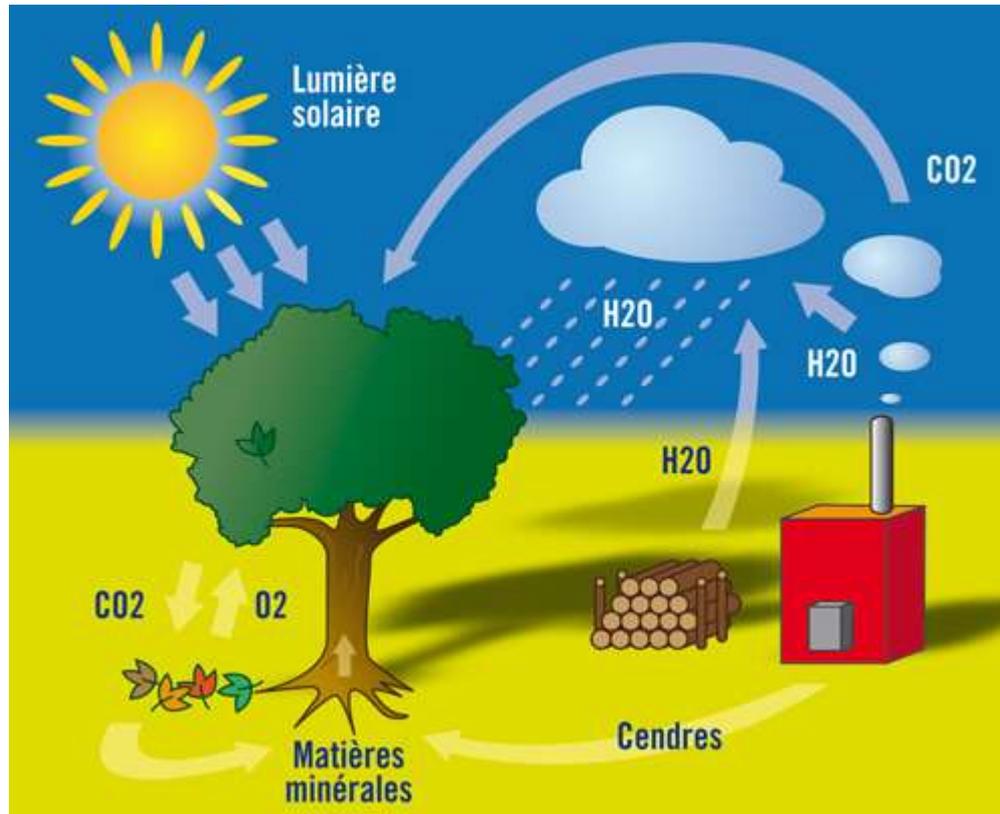
# L'énergie hydroélectrique, de l'énergie solaire

SVT, 2<sup>e</sup> (2010), Bordas, p. 134)



**Le cycle de l'eau est activé par le soleil**

[http://www.compte-r.com/energies\\_normes.html](http://www.compte-r.com/energies_normes.html)

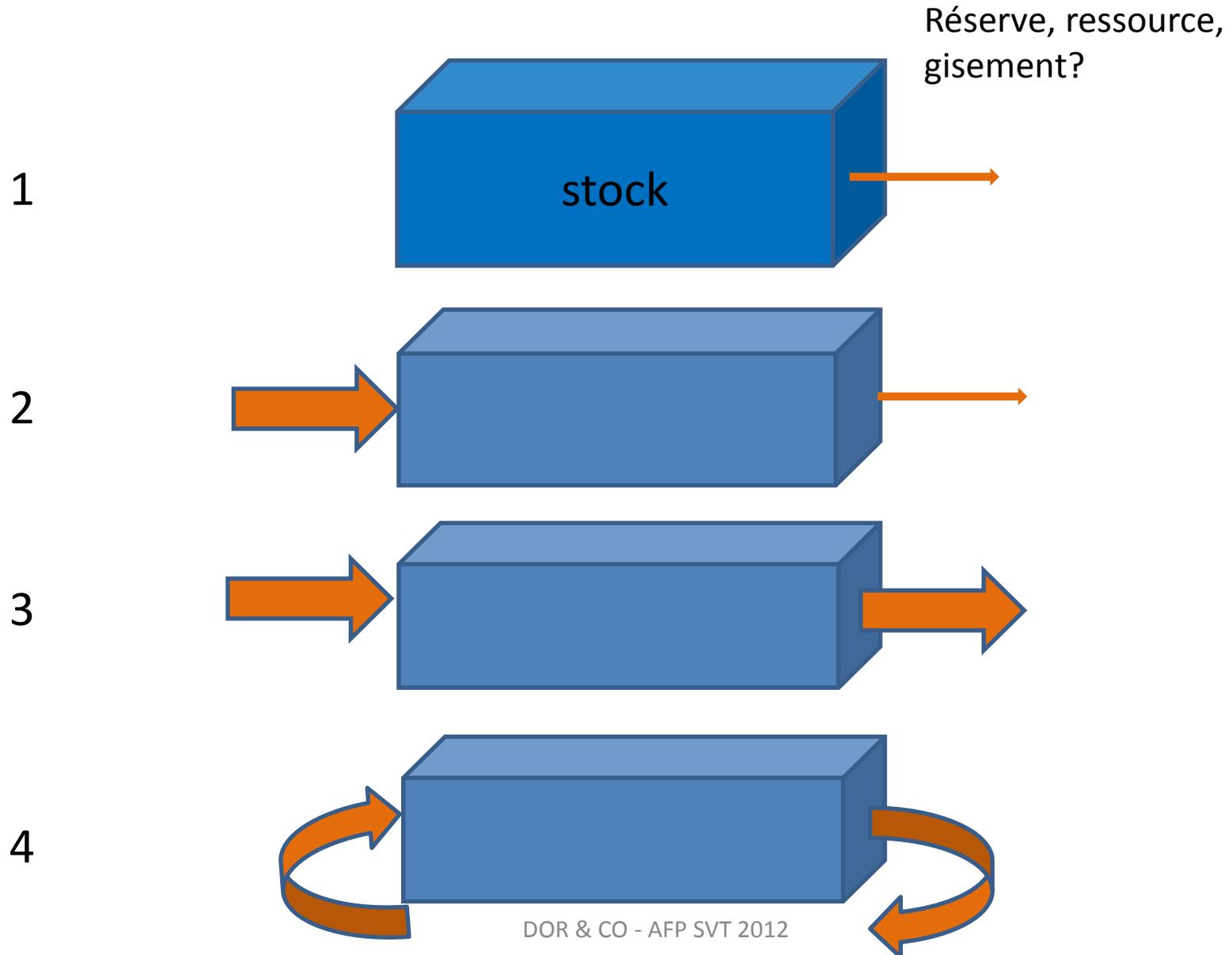


# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

1. Les prescriptions officielles
2. Les manuels
3. Un point de vue compartimental?
4. Chez les élèves
5. Conclusion

Les **énergies renouvelables** (**EnR** en abrégé) sont des formes d'[énergies](#) dont la consommation ne diminue pas la ressource à l'échelle humaine. L'expression **énergie renouvelable** est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue [physique](#).  
(Wikipédia)

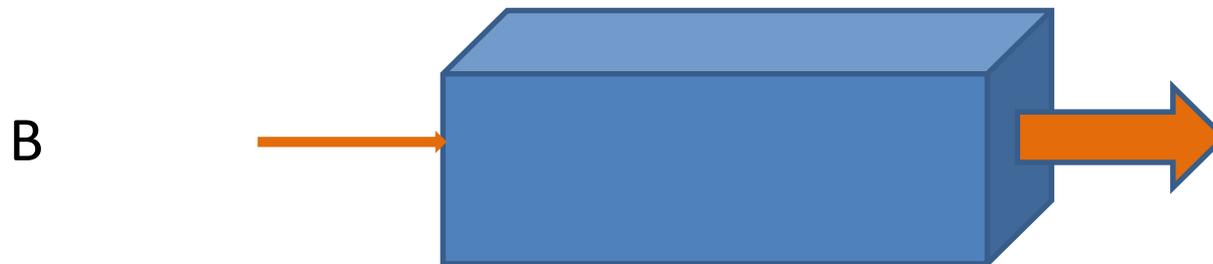
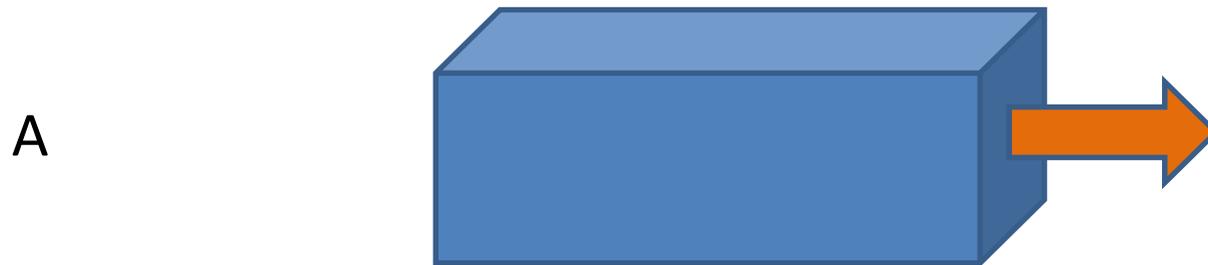
# Plusieurs façons de concevoir les ressources d'énergie ou de matériaux « renouvelables »



# Plusieurs façons de concevoir les ressources « renouvelables »

<b>Catégorie</b>	<b>Stock</b>	<b>Flux entrant</b>	<b>Flux sortant</b>
1	Important Non renouvelé	Nul	Faible
2	Important Renouvelé	Important	Faible
3	Renouvelé	Sorties remises en entrées	
4	Renouvelé	Sorties = entrées	

# Plusieurs façons de concevoir les ressources d'énergie et de matériaux « non renouvelables »



# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

1. Les prescriptions officielles
2. Les manuels
3. Un point de vue compartimental?
4. Chez les élèves
5. Conclusion

Pourquoi parle-t-on de ressources renouvelables et non renouvelables?  
Essayez d'expliquer ces deux catégories.

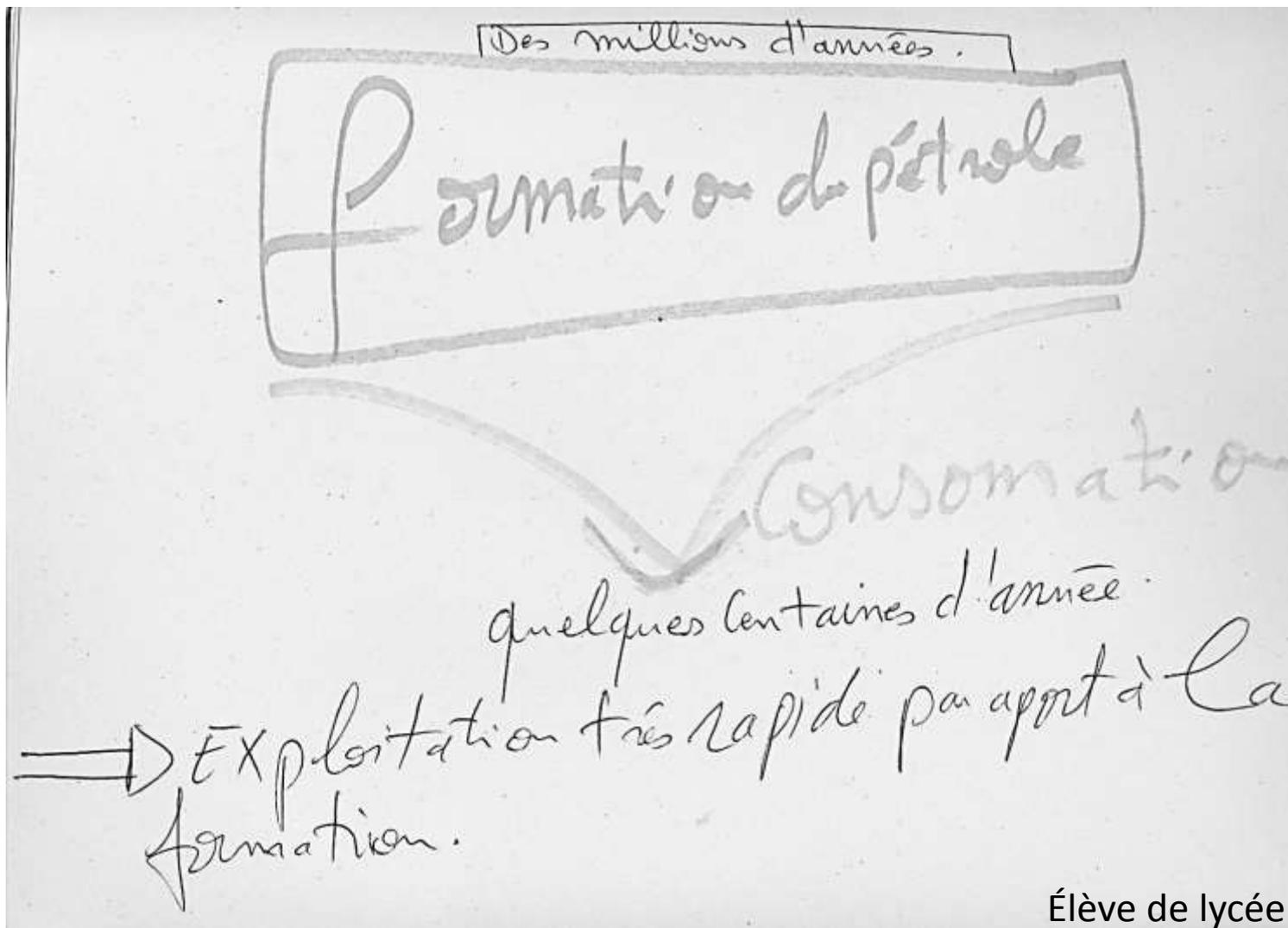
Question 2:

Les gisements de pétrole sont non renouvelables  
Car leur formation nécessite des périodes très longues  
sur l'échelle humaine (des millions d'années).

La sur-exploitation intensive de ces ressources a un impact négatif  
sur les réserves terrestres de pétrole.

Élève de lycée

Pourquoi parle-t-on de ressources renouvelables et non renouvelables? Essayez d'expliquer ces deux catégories.



Pourquoi parle-t-on de ressources renouvelables et non renouvelables? Essayez d'expliquer ces deux catégories.

E25\* : **On n'a pas les mêmes conditions** que celles qui existaient avant et qui sont nécessaires pour la formation du pétrole. Dans ce cas, **il n'y a pas de formation du pétrole actuellement**, car ça va arriver un jour où il y aura plus de pétrole. Ce n'est pas comme le vent qui existe toujours.

\* Élève de lycée

Imaginez l'aspect des gisements de pétrole dans quelques millions d'années. Expliquez par un texte et un schéma.

Le pétrole ne trouve pas l'air ou on le trouve mais dans la roche mère, il se migre par la suite à travers des roches perméables et poreuses et il s'accumule dans une roche réservoir. Mais il ne peut pas se migrer si la roche magasin est recouverte par une roche imperméable c'est la roche couverture : c'est une piège à pétrole.

Élève de lycée

Imaginez l'aspect des gisements de pétrole dans quelques millions d'années. Expliquez par un texte et un schéma.

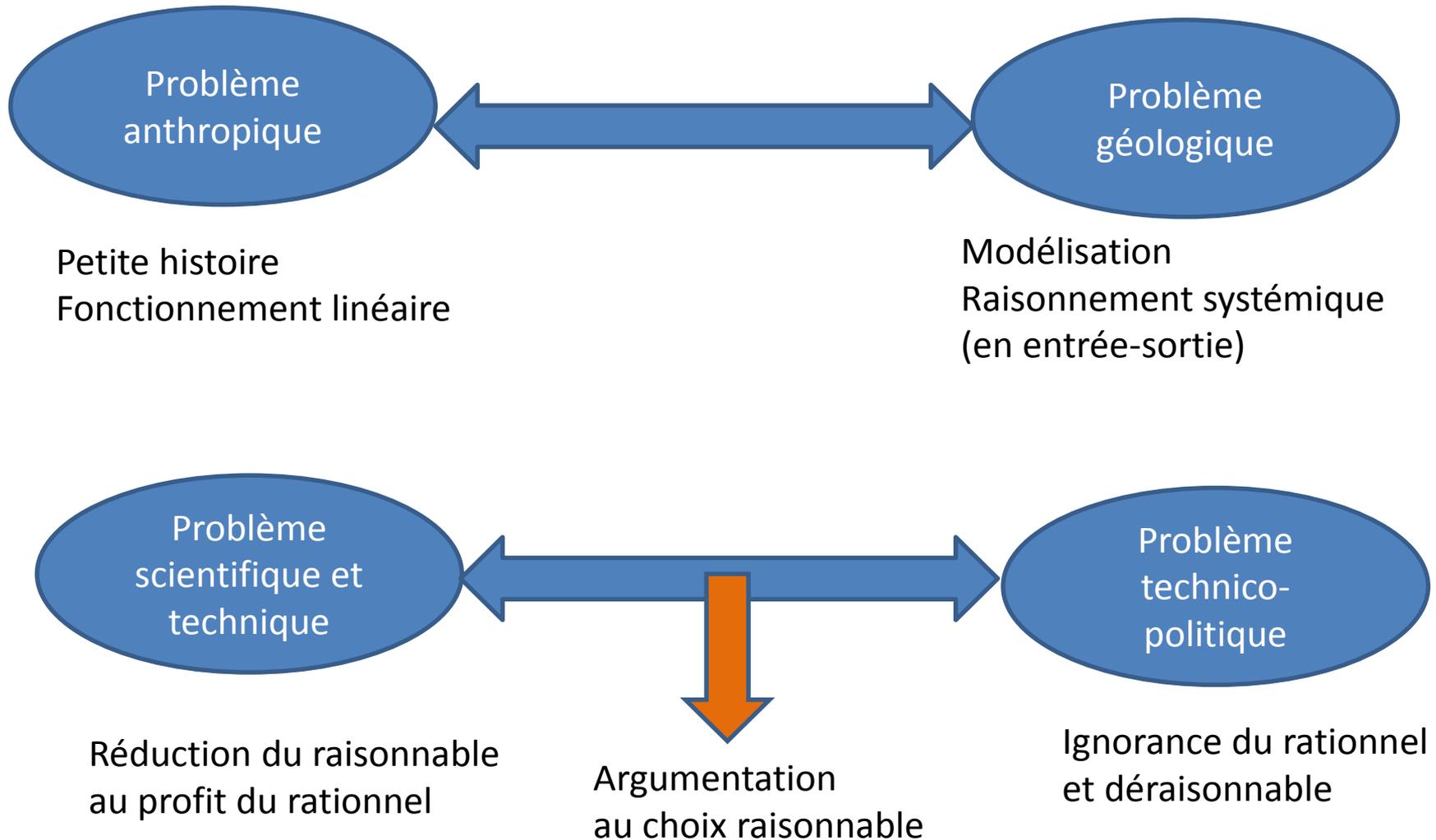
très abondante  
Parce que après l'exploitation du pétrole  
qui a épuisé les gisements de pétrole  
qui ~~pe~~ ne se recrée des millions d'années  
pour se former. -

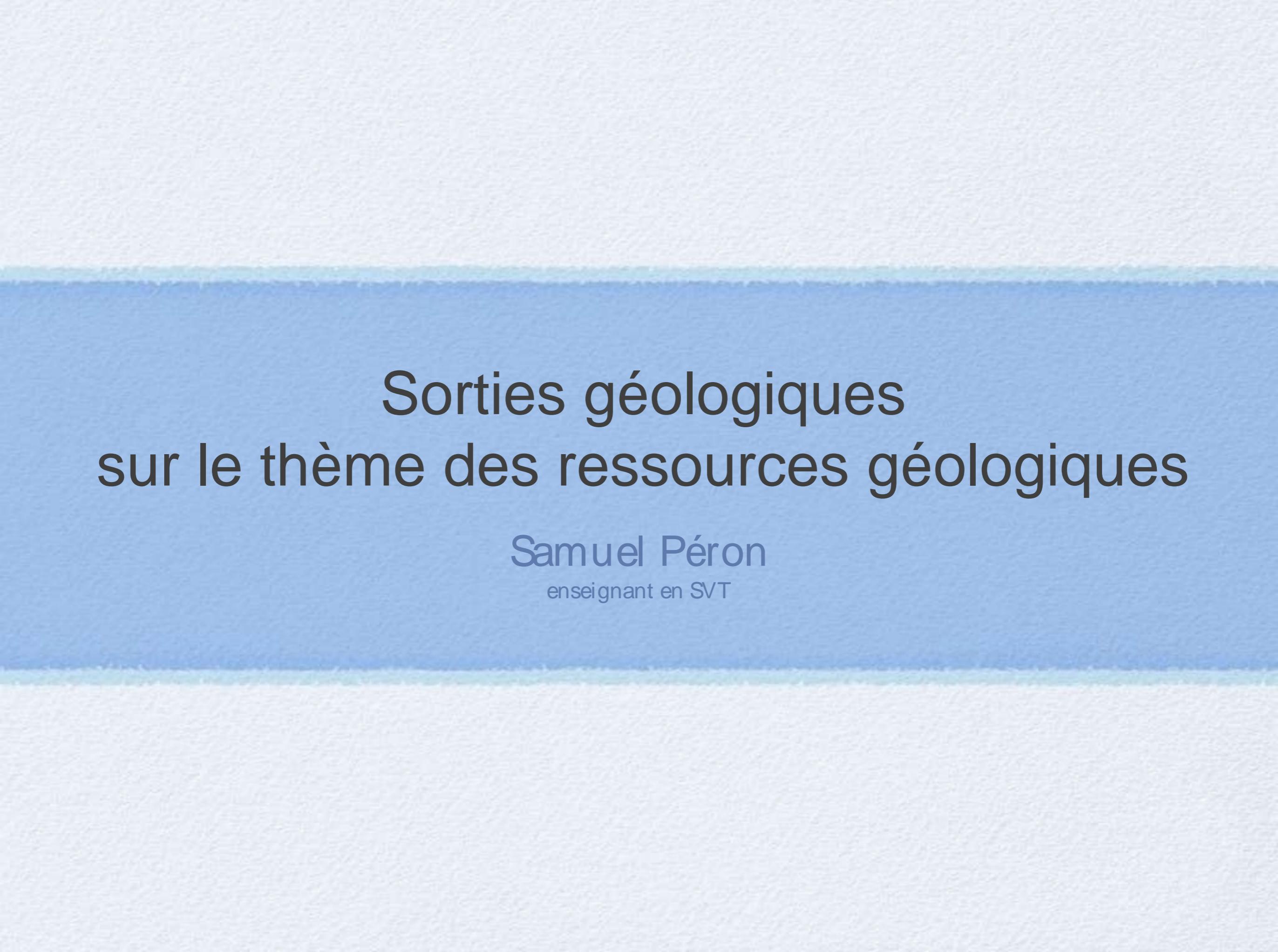
En plus ~~on~~ la genèse du pétrole  
n'est pas cyclique comme l'eau

# Les ressources géologiques, une difficile affaire de temps, d'espace et d'Homme

1. Les prescriptions officielles
2. Les manuels
3. Un point de vue compartimental?
4. Chez les élèves
5. Conclusion

# Tensions en jeu dans le traitement des problèmes de ressources géologiques





# Sorties géologiques sur le thème des ressources géologiques

Samuel Péron  
enseignant en SVT

# Généralités sur les sorties géologiques dans le secondaire

## La mise en contact avec le terrain



Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008

L'observation d'organismes vivants et de leurs activités est rendue possible :

- par la collecte de matériel sur le terrain avant leur étude en classe ;
- par la mise en place d'élevages ou de cultures en classe ou au sein d'un « espace nature » qui pourra éventuellement être créé dans l'établissement ;
- par l'organisation, sur l'horaire des sciences de la vie et de la Terre, de sorties régulières dans l'enceinte ou l'immédiate proximité de l'établissement, si son environnement le permet ;
- par l'organisation de sorties plus lointaines et nécessitant un aménagement de l'emploi du temps des élèves, si les conditions, notamment financières, le permettent.

La construction des notions est progressive. Les observations gagneront donc à être suivies tout au long de l'année : ainsi un premier travail de terrain en tout début d'année peut être suivi d'autres sorties de proximité à différentes saisons.

Le travail de terrain, les prélèvements de matériels destinés à être utilisés en classe et les mises en élevage s'effectuent dans les limites prévues par la réglementation et dans le respect de l'environnement.

Ce travail de terrain peut être l'occasion de développer certaines *compétences sociales et civiques* : respecter les règles, notamment de sécurité, communiquer et travailler en équipe.

# Généralités sur les sorties géologiques dans le secondaire

## L'approche de la complexité et le travail de terrain

**B.O.**

Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010

Le travail de terrain est un moyen privilégié pour **l'approche de situations complexes réelles**. Le programme de seconde comporte plusieurs items qui se prêtent bien à la réalisation d'un travail hors de l'établissement (sortie géologique, exploration d'un écosystème, visite de musée scientifique, d'entreprise, de laboratoire). Un tel déplacement permettra souvent de collecter des informations utiles pour plusieurs points du programme et susceptibles d'être exploitées à plusieurs moments de l'année. Un tel travail de terrain doit s'exercer en cohérence avec un projet pédagogique pensé dans le contexte de l'établissement.

Les activités en laboratoire doivent aussi être l'occasion d'aborder des tâches complexes. À partir d'une question globale elles sont l'occasion de développer les compétences des élèves et leur autonomie de raisonnement.

## L'autonomie des élèves et le travail par atelier

Le lycéen, dès la seconde, doit se préparer à **une autonomie de pensée et d'organisation qui lui sera indispensable pour réussir ses études supérieures**. Les travaux pratiques se prêtent particulièrement au développement de cette compétence. Pour y parvenir, il est bon de concevoir les séances afin que l'élève dispose d'une certaine marge de manœuvre dans la construction de sa démarche.

La liberté de choix sera parfois exploitée en différenciant les exemples étudiés au sein d'une même classe. Chaque groupe d'élèves a alors en charge l'organisation autonome de son travail, sous la conduite du professeur. Échanges et débats conduisent ensuite à tirer des conclusions plus générales que l'étude collective d'un exemple unique ne le permettrait. Ils sont en outre l'occasion de développer les qualités d'expression et d'écoute.

# Exemple du gypse de Paris

en collaboration avec Patricia Besnard, Stage PA F, académie de Paris.

- 3<sup>e</sup> partie du programme de cinquième (40%)

## Géologie externe : évolution des paysages

### Objectifs scientifiques

Les élèves découvrent la structure superficielle de la planète Terre et les phénomènes dynamiques externes.

Il s'agit de montrer que :

- des changements s'effectuent à la surface de la Terre ;
- le modelé du paysage s'explique principalement par l'action de l'eau sur les roches ;
- la reconstitution de paysages anciens est rendue possible par l'application du principe d'actualisme.

L'étude des fossiles prépare l'approche du concept d'évolution. La classification amorcée en classe de sixième s'enrichit avec les espèces fossiles rencontrées.



Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008

### Objectifs éducatifs

Le paysage étudié, qui est un cadre de vie pour l'Homme, est aussi soumis à son action. Il en exploite les ressources. Les phénomènes qui s'y déroulent peuvent engendrer des risques pour l'Homme lui-même.

Cette partie est l'occasion de réfléchir aux conséquences à plus ou moins long terme de l'action de l'Homme sur les paysages en recherchant une gestion durable de l'environnement géologique.

Connaissances	Capacités déclinées dans une situation d'apprentissage	Commentaires
Les roches, constituant le sous-sol, subissent à la surface de la Terre une érosion dont l'eau est le principal agent.	Observer, recenser et organiser des informations pour identifier les éléments significatifs du modelé dans un paysage local.	La géologie étant une science de terrain, on s'appuie sur un exemple local, à partir d'observations de terrain.
Les roches résistent plus ou moins à l'action de l'eau.	Présenter ces informations sous une forme appropriée.	L'étude de fossiles réalisée dans cette partie prépare l'approche de la notion d'évolution.

# La place de la sortie

## Connaissances

Les roches, constituant le sous-sol, subissent à la surface de la Terre une érosion dont l'eau est le principal agent.

Les roches résistent plus ou moins à l'action de l'eau.

Le modelé actuel du paysage résulte de l'action de l'eau sur les roches, du transport des particules et de leur accumulation sur place.

La sédimentation correspond essentiellement au dépôt de particules issues de l'érosion.

Les sédiments sont à l'origine des roches sédimentaires.

Les roches sédimentaires peuvent contenir des fossiles : traces ou restes d'organismes ayant vécu dans le passé.

Les observations faites dans les milieux actuels, transposées aux phénomènes du passé, permettent de reconstituer certains éléments des paysages anciens.

Les roches sédimentaires sont donc des archives des paysages anciens.

L'action de l'Homme, dans son environnement géologique, influe sur l'évolution des paysages.

L'Homme prélève dans son environnement géologique les matériaux qui lui sont nécessaires et prend en compte les conséquences de son action sur le paysage.

L'Homme peut prévenir certaines catastrophes naturelles en limitant l'érosion.



Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008

● Evolution des paysages actuels  
← programmation de la sortie

● Archives et reconstitution des paysages du passé

● L'Homme et les paysages

**L'Homme prélève dans son environnement géologique les matériaux qui lui sont nécessaires et prend en compte les conséquences de son action sur le paysage.**

## Connaissances

### Capacités déclinées dans une situation d'apprentissage

Observer, recenser et organiser des informations pour identifier les éléments significatifs du modelé dans un paysage local.

Présenter ces informations sous une forme appropriée.

Exprimer à l'écrit les résultats d'une recherche sur le terrain.

Formuler des hypothèses sur les effets de l'eau sur des roches.

Participer à la conception d'un protocole et le mettre en œuvre afin de mettre en relation les propriétés des roches et les modelés observés.

Valider ou invalider les hypothèses formulées.

Mettre en œuvre un raisonnement pour expliquer le modelé du paysage à partir des observations et des expériences.

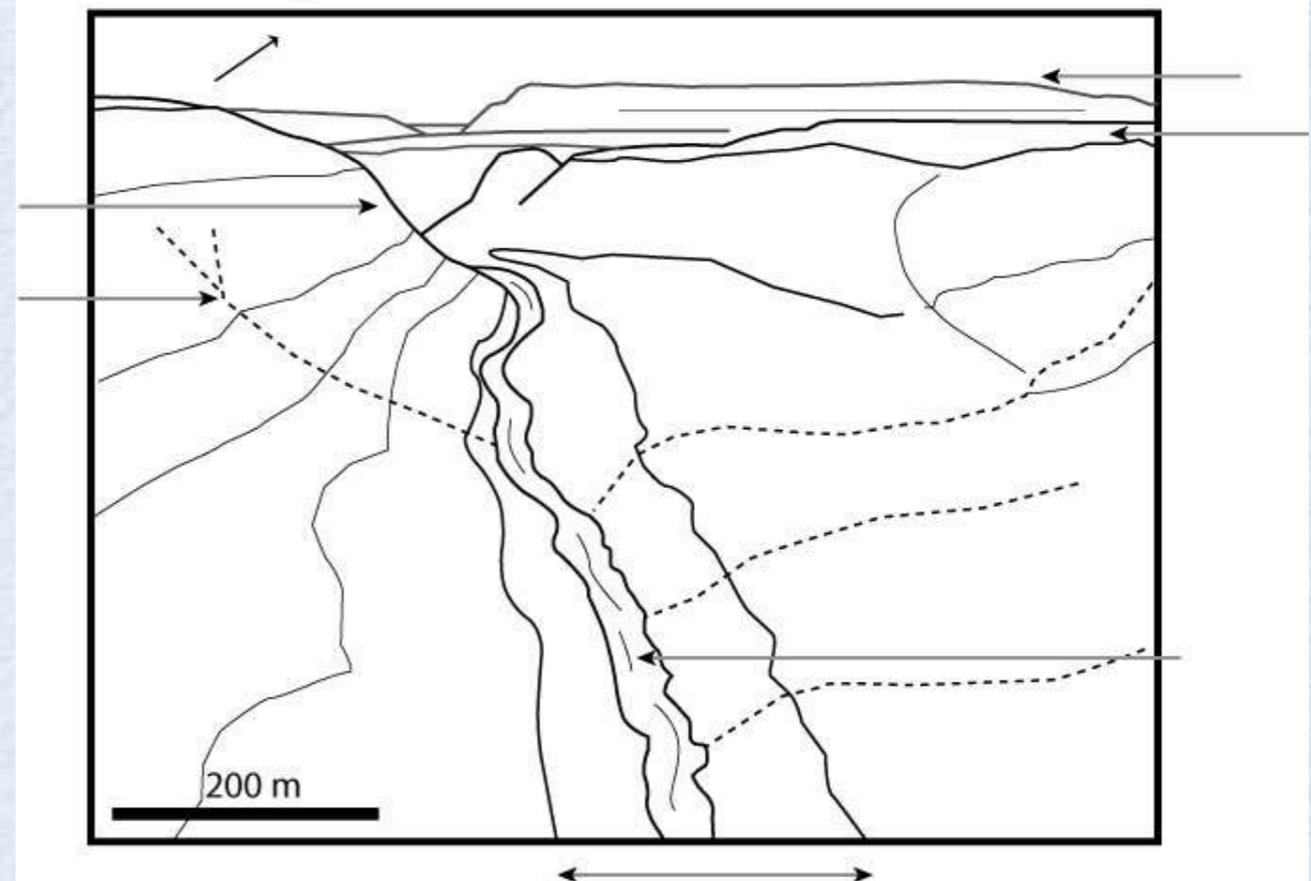
Participer à la conception et la mise en œuvre d'une maquette modélisant le transport et le dépôt des particules.

Percevoir la différence entre réalité et simulation (modélisation) afin de réfléchir à la validité d'une maquette.

## Acquis

- Activité 1 : Décrire un paysage actuel
- réaliser le croquis d'un paysage
- décrire à l'écrit son modelé.

Grand Canyon, Colorado, États-Unis.



## Connaissances

### Capacités déclinées dans une situation d'apprentissage

Observer, recenser et organiser des informations pour identifier les éléments significatifs du modelé dans un paysage local.

Présenter ces informations sous une forme appropriée.

Exprimer à l'écrit les résultats d'une recherche sur le terrain.

Formuler des hypothèses sur les effets de l'eau sur des roches.

Participer à la conception d'un protocole et le mettre en œuvre afin de mettre en relation les propriétés des roches et les modelés observés.

Valider ou invalider les hypothèses formulées.

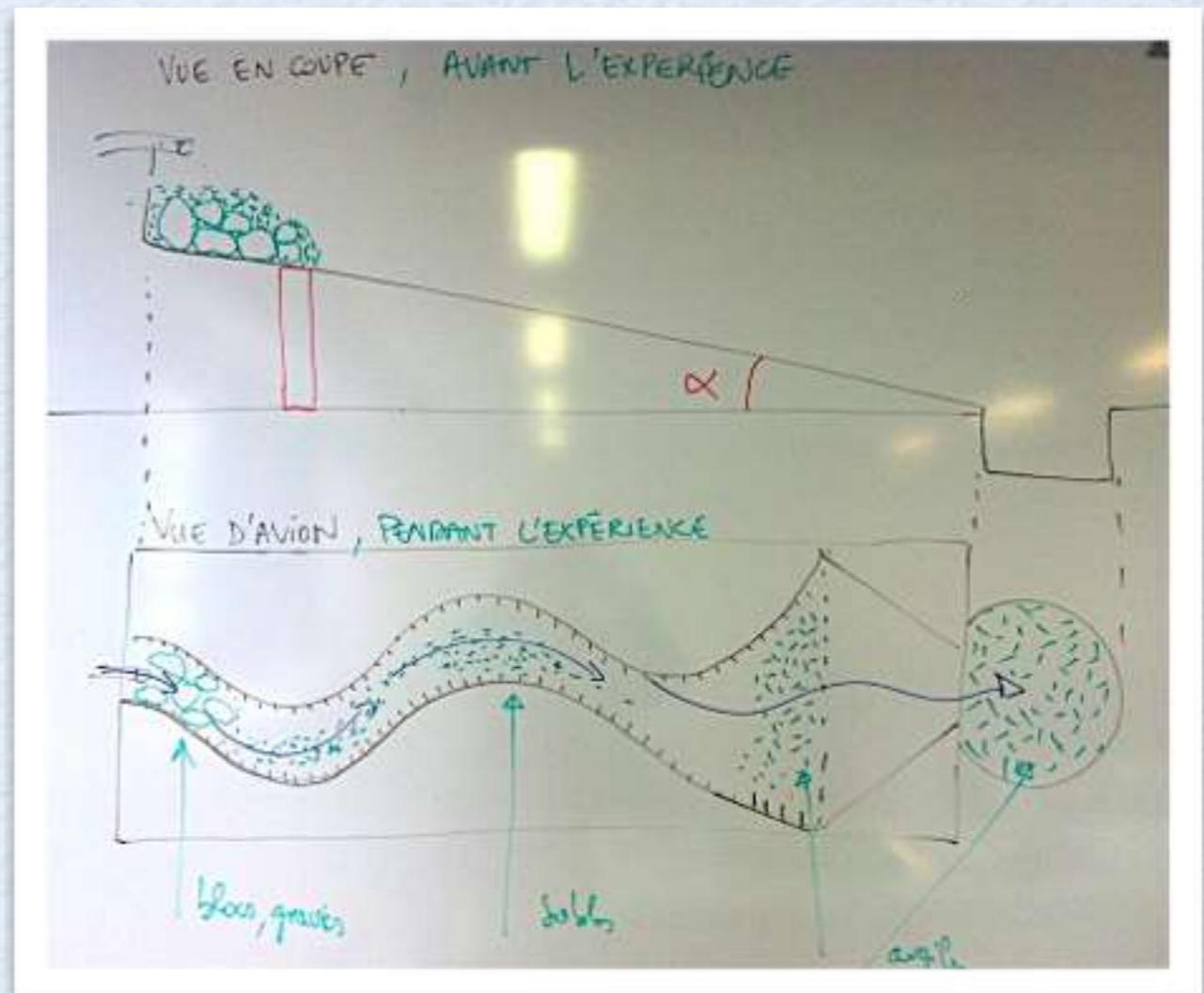
Mettre en œuvre un raisonnement pour expliquer le modelé du paysage à partir des observations et des expériences.

Participer à la conception et la mise en œuvre d'une maquette modélisant le transport et le dépôt des particules.

Percevoir la différence entre réalité et simulation (modélisation) afin de réfléchir à la validité d'une maquette.

## Acquis

- Activité 2 : La formation d'une vallée
- démarche expérimentale et modèle analogique de rivière



# Avant la sortie

- Préparation de la sortie à l'aide d'un globe virtuel



- Recherche de points hauts, des affleurements et d'itinéraires.



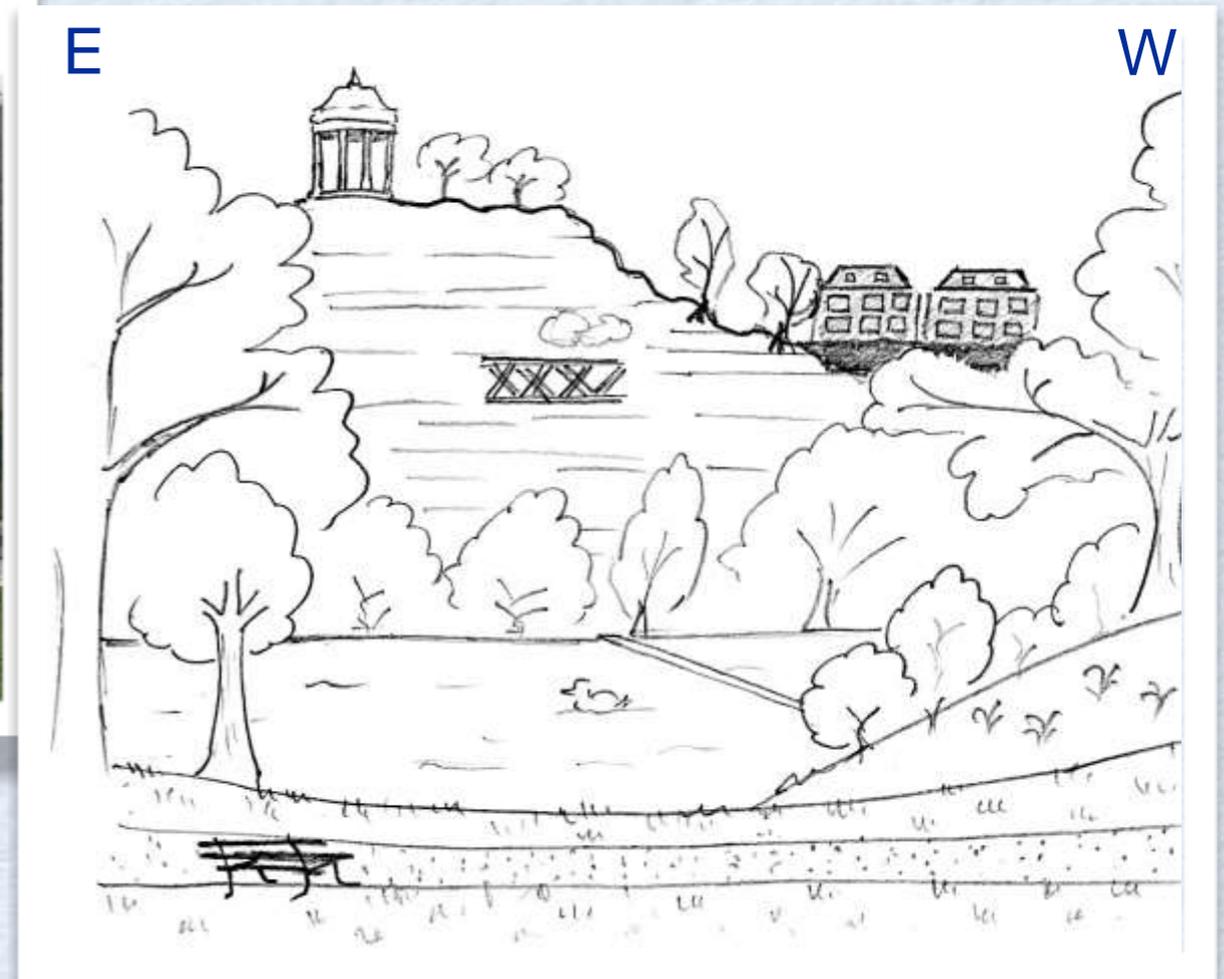
Google  
earth

# Pendant la sortie

- Arrêt 2 : Décrire le modelé du paysage



- Présence de falaises et
- d'une dépression



- Arrêt 3 : Quelles roches constituent ces falaises?
- 3 couleurs : gris, orange et jaune



# Pendant la sortie

- Arrêt 5 : Quelle roche a été exploitée aux buttes Chaumont?



```
graph TD
    A[La roche raye le verre] -- oui --> B[fait effervescence à l'acide]
    A -- non --> C[fait effervescence à l'acide]
    B -- non --> D[a des trous]
    B -- oui --> E[Calcaire gréseux]
    D -- oui --> F[Meulière caverneuse]
    D -- non --> G[Grès quartzeux]
    C -- non --> H[forme une boue avec de l'eau]
    C -- oui --> I[forme une boue avec de l'eau]
    H -- non --> J[Roche poreuse]
    H -- oui --> K[Rayable à l'ongle]
    I -- non --> L[Calcaire]
    I -- oui --> M[Couleur blanche]
    J --> N[Dolomie]
    K --> O[Gypse]
    L --> P[Argile]
    M --> Q[Craie]
    I --> R[Colle à la langue]
    R --> S[Marne]
```

The diagram is a flowchart for rock identification. It starts with the observation 'La roche raye le verre' (The rock scratches glass). If 'oui' (yes), it leads to 'fait effervescence à l'acide' (effervesces with acid). If 'non' (no), it leads to another 'fait effervescence à l'acide' box. From the first 'fait effervescence à l'acide' box, 'non' leads to 'a des trous' (has holes), which then leads to 'Meulière caverneuse' (yes) or 'Grès quartzeux' (no). 'oui' from the first box leads to 'Calcaire gréseux'. From the second 'fait effervescence à l'acide' box, 'non' leads to 'forme une boue avec de l'eau' (forms mud with water), which then leads to 'Roche poreuse' (yes) or 'Rayable à l'ongle' (no). 'oui' from the second box leads to another 'forme une boue avec de l'eau' box. 'Roche poreuse' leads to 'Dolomie'. 'Rayable à l'ongle' leads to 'Gypse'. The second 'forme une boue avec de l'eau' box leads to 'Calcaire' (no), 'Couleur blanche' (yes) leading to 'Craie', and 'Colle à la langue' (yes) leading to 'Marne'.

- Croquis d'un affleurement :  
Roches stratifiées

- Clé de détermination et tests : Alternance gypse saccharoïde et marnes gypseuses

# Pendant la sortie

Arrêt 6 : Une autre roche exploitée par l'Homme : le calcaire lutétien



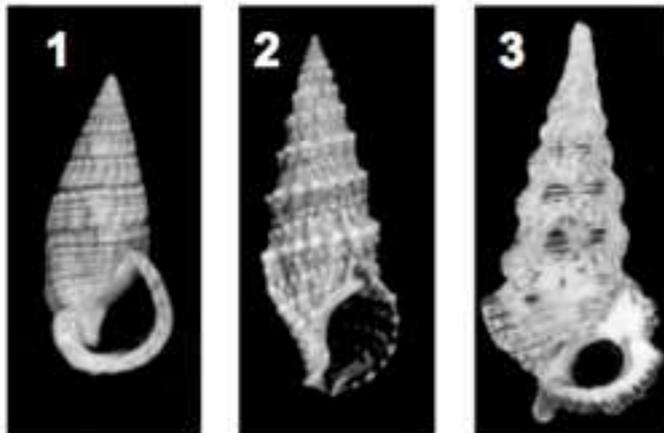
- **Activité : Prise d'empreintes de moules internes de cérithes.**

# Après la sortie

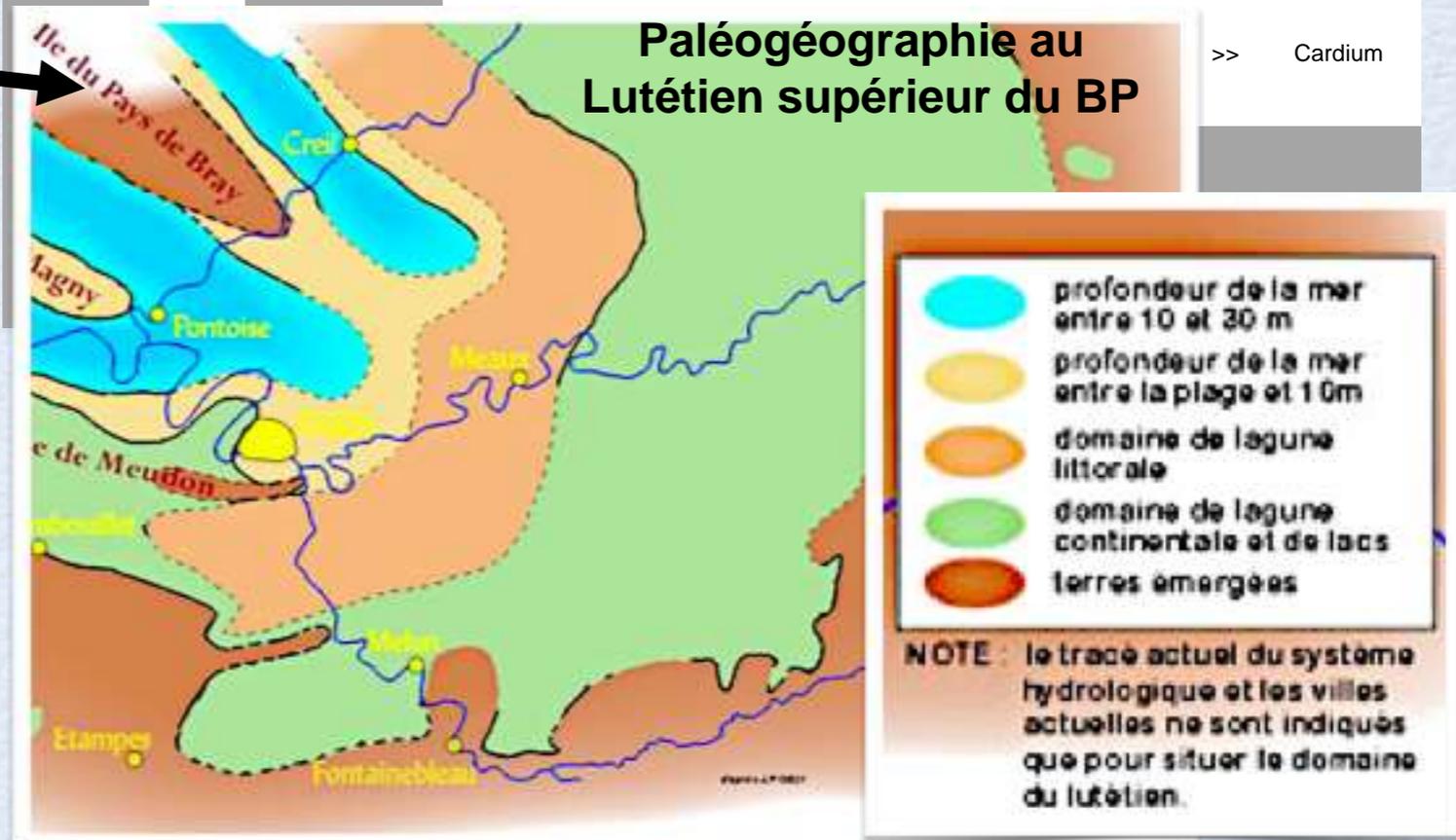


>> enroulée dans un plan	>> lisse	>> Planorbis
	>> enroulement interne	>> Nummulite
>> en 1 partie	>> enroulée sur un axe court	>> lisse
		>> Natica
	>> enroulée sur un axe long	>> lisse
		>> Limnée
	>> ornementée	>> Cérithes
	>> deux valves symétriques	>> lisse
		>> Glycimeris
		>> Cardium

Espèce	Milieu de vie
1. Cérithes sillonné	Eaux chaudes, Pacifique
2. Cérithes gommier	Marais maritime, Pacifique
3. Cérithes noduleux	Méditerranée

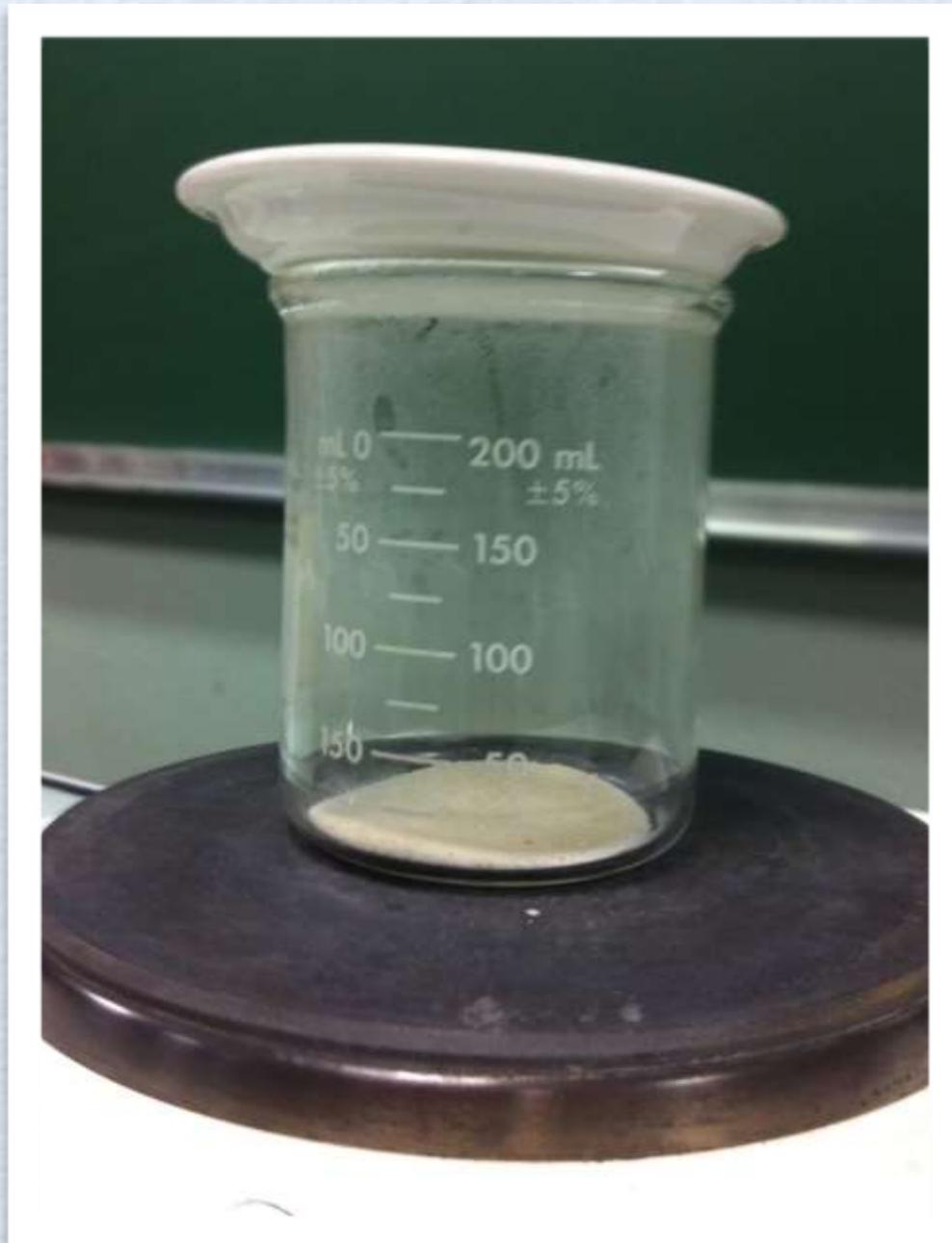


Document n°14 :  
Espèces actuelles de cérithes et leur milieu de vie (échelle X1).



# Après la sortie

- Activité : Transformation et utilisation du gypse par l'Homme



# Après la sortie

en collaboration avec Sylvie Doucet, IUFM de Paris.

- Activité : Compte-rendu virtuel de la sortie (Google earth)

**Affleurement** 5

4

3

Image © 2012

27 m

Date des images satellite : 1/1/2008 1949

48°52'50.53"N 2°23'00.16"E élév. 59 m

Altitude 156 m

 **SORTIE BUTTES CHAUMONT — stop 3b**

Observation de la falaise. On observe 3 types d'aspects. A droite, la falaise en gris bétonnée avec des taches orangées correspondant à de la meulière, à gauche, la falaise brute d'aspect jaunâtre correspondant à du gypse.



Observation de la falaise au dessous du Temple de la Sibylle.

{Stage PLC2 — Académie de Paris — 2009-2010}

Itinéraire : [Vers ce lieu](#) - [À partir de ce lieu](#)

# Exemple des hydrocarbures de la Limagne

équipe SVT, Lycée Gabriel Fauré, Paris

- Thème 2-A du programme de Première scientifique

Connaissances	Capacités et attitudes
<b>Thème 2 - Enjeux planétaires contemporains</b>	<b>B.O.</b> Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010
<b>Thème 2 - A</b>	
<b>Tectonique des plaques et géologie appliquée</b> L'objectif est de montrer que le modèle de la tectonique des plaques présente un intérêt appliqué. Sans chercher à donner une vision naïve selon laquelle toute application géologique pratique nécessite les concepts de la tectonique des plaques, on choisira un exemple permettant de montrer que, parfois, ce modèle permet de comprendre les conditions d'existence d'une ressource exploitable. L'exemple sera choisi de façon à introduire quelques idées concernant une histoire sédimentaire compréhensible dans le cadre du modèle de la tectonique des plaques. Deux possibilités sont proposées, l'une d'approche locale, l'autre plus globale. Le professeur choisira de traiter au moins l'une de ces deux approches.	
<b>Première possibilité : tectonique des plaques et recherche d'hydrocarbures</b> Le choix est fait de s'intéresser à un champ pétrolifère ou gazier situé dans un bassin de marge passive pour comprendre les principaux facteurs qui conditionnent la formation des gisements. En s'appuyant éventuellement sur ce qui aura été étudié en seconde, il s'agit d'explicitier le constat fait alors : les gisements d'hydrocarbures sont rares et précisément localisés.	
<b>Deuxième possibilité : tectonique des plaques et ressource locale</b> Un exemple de ressource géologique est choisi dans un contexte proche de l'établissement scolaire. Son étude (nature, gisement) permet de comprendre que ses conditions d'existence peuvent être décrites en utilisant le cadre général de la tectonique des plaques.	Recenser, extraire et organiser des informations notamment lors d'une sortie sur le terrain.

# Exemple des hydrocarbures de la Limagne

## ● Thème 2-A du programme de Première scientifique

Le modèle de la tectonique des plaques constitue un cadre intellectuel utile pour rechercher des gisements pétroliers.

À partir de l'étude d'un exemple on montre que la tectonique globale peut rendre compte :

- d'un positionnement géographique du bassin favorable au dépôt d'une matière organique abondante et à sa

- d'une tectonique en cours de dépôt (subsidence) et après le dépôt qui permettent l'enfouissement et la transformation de la matière organique puis la mise en place du gisement.

La rare coïncidence de toutes ces conditions nécessaires explique la rareté des gisements dans l'espace et le temps.

*Objectifs et mots clés. L'exemple étudié permet de présenter ce qu'est un bassin sédimentaire et quelques exemples de roches sédimentaires. Il permet aussi de montrer l'intérêt de la tectonique des plaques dans la compréhension du phénomène sédimentaire.*

*[Limites. Une présentation exhaustive des types de bassins et de leur contexte géodynamique est hors programme. La typologie des pièges pétroliers l'est également.]*

Recenser, extraire et organiser des informations permettant de reconstituer le contexte géographique et géologique à l'époque du dépôt à l'origine de l'hydrocarbure de l'exemple étudié.

Découvrir la morphologie et la structure des marges passives à partir des profils de sismique réflexion et/ou des cartes et/ou des coupes.

Recenser, extraire et organiser des informations notamment lors d'une sortie sur le terrain.

Analyser les positions relatives des continents et des océans (Téthys ou Atlantique) lors des périodes d'absence ou de grande accumulation de roches-mères pétrolières pour comprendre les conditions favorables à leur dépôt.

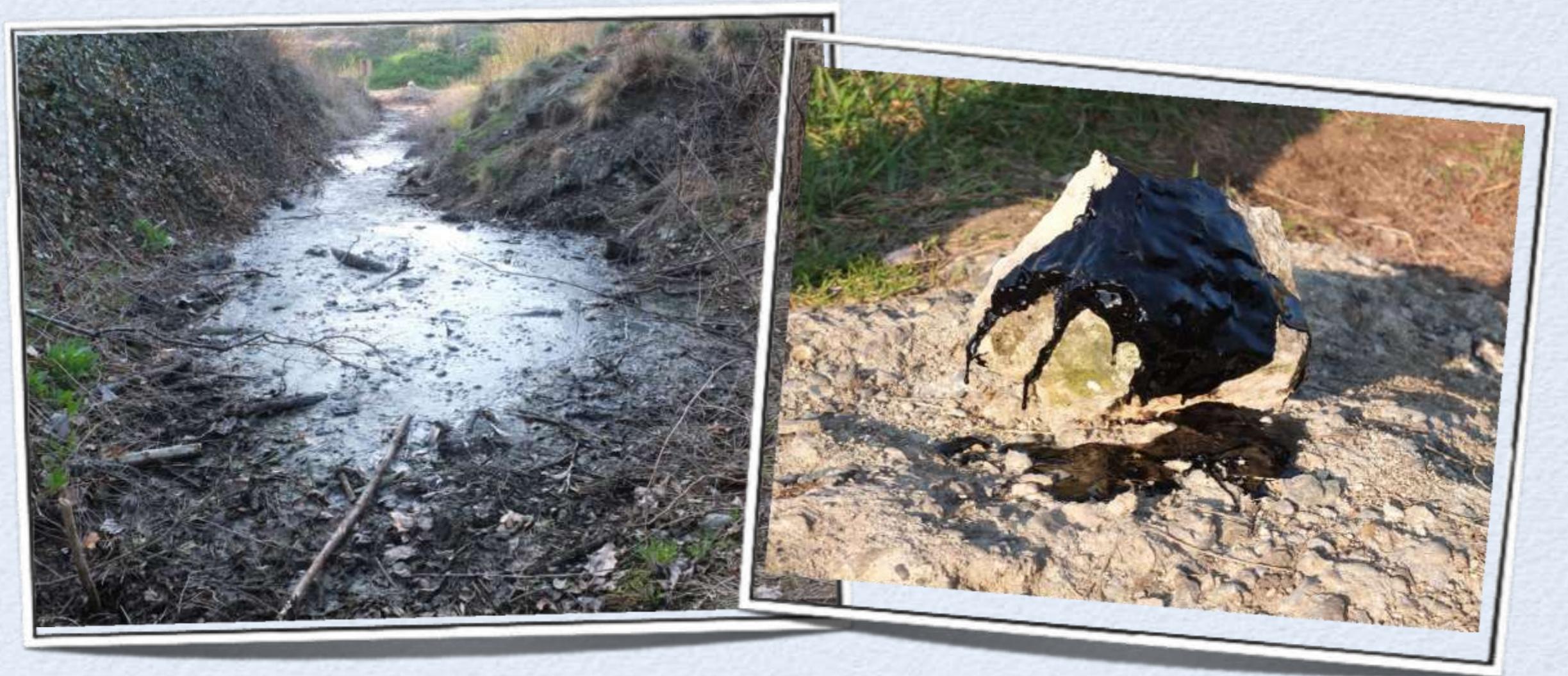
Modéliser la circulation de fluides de densités différentes non miscibles dans des roches perméables.

Concevoir une modélisation et suivre un protocole pour comprendre comment une structure géologique associée à un recouvrement imperméable constitue un piège à liquide.

Repérer les grandes caractéristiques d'un bassin sédimentaire et de quelques roches sédimentaires.

# Journée 1, arrêt 1 : Le puy de la Poix

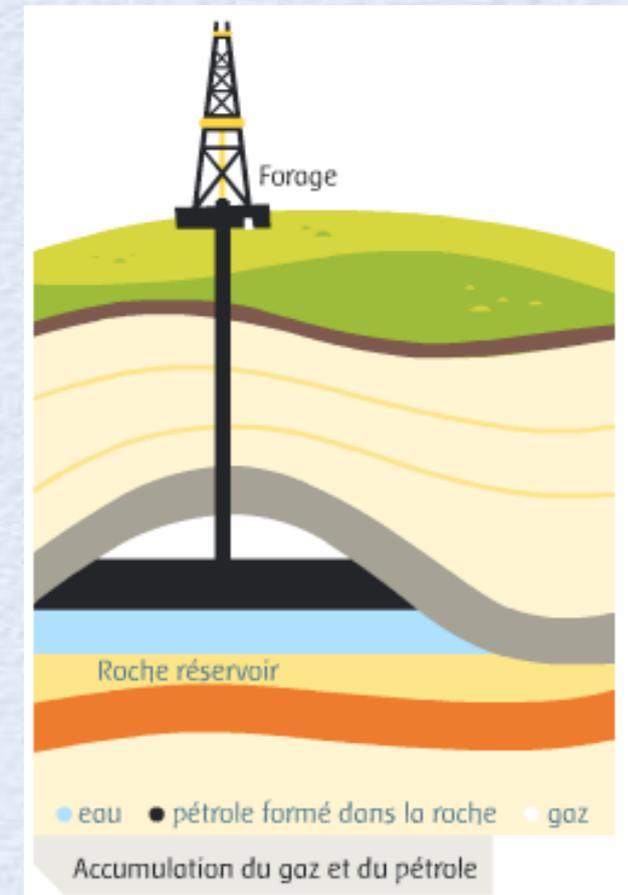
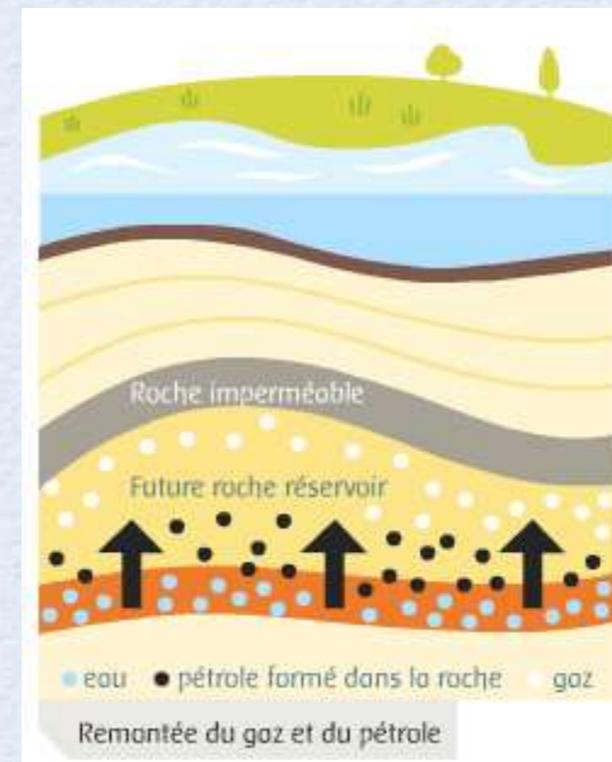
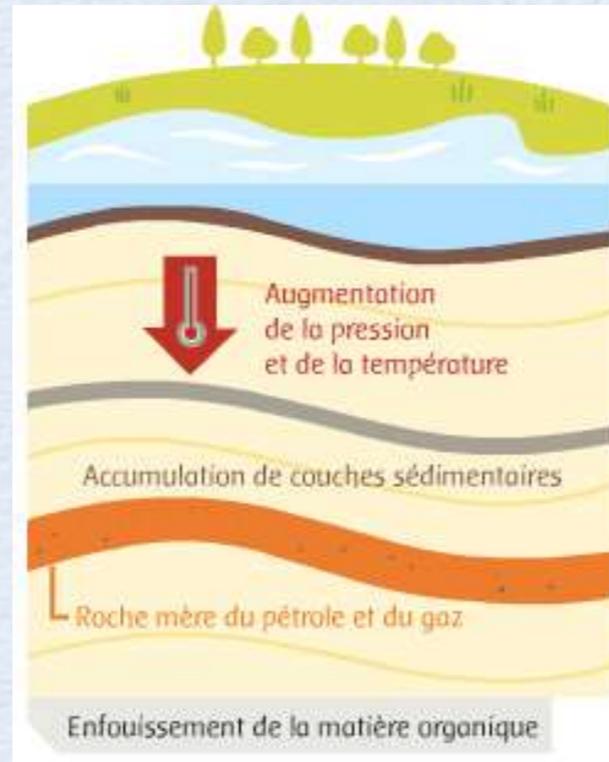
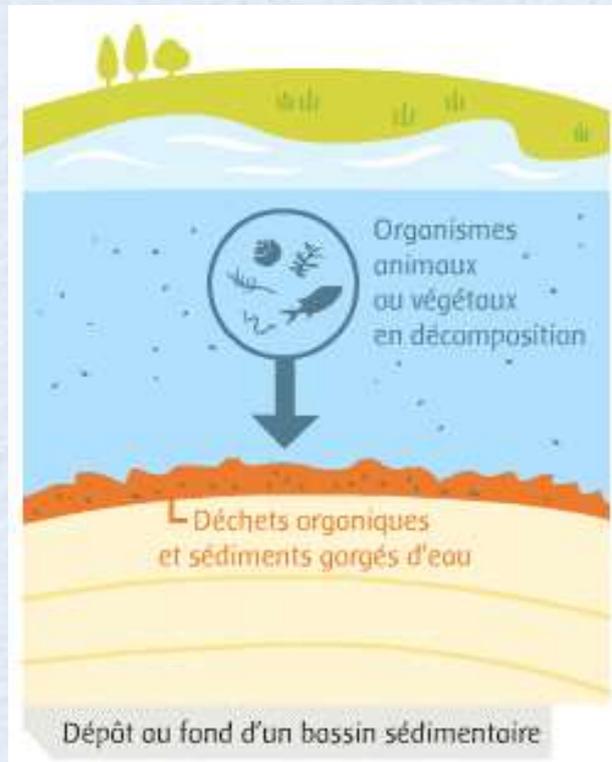
- Appel : Source de bitume du Puy de la Poix



- Problème : Comment expliquer la présence d'hydrocarbures dans le sous-sol du fossé de la Limagne? Sont-ils exploitables?

# Journée 1, arrêt 1 : Le puy de la Poix

## Rappels de seconde :



- On recherche :
- des roches sédimentaires : une roche mère, une roche réservoir
- des indices de la subsidence permettant la maturation
- un piège à pétrole : déformation, roche imperméable

# Journée 1, arrêt 2 : La carrière de Gandaillat



- Question : Où sommes nous?
- Activités : Orientation et localisation sur une carte et croquis du panorama

## **JOUR 1 - ARRET N°2 : carrière de Gandaillat**

### **Atelier 1 : panorama de la chaîne des Puys**

Question : Où sommes-nous ?

Conditions de travail :

- Production : croquis du panorama dessiné, légendé, et orienté.
- Capacités et attitudes mises en jeu : pratiquer une démarche scientifique (observer), communiquer dans un langage scientifiquement approprié : croquis
- Supports à disposition : annexe N°1 p.31 : réaliser un croquis ou un panorama

# Journée 1, arrêt 2 : La carrière de Gandaillat

## ● Fiche méthode (Annexe 1)

## ● Fiche activité : production d'élève

### Le croquis d'un affleurement

#### Sur le terrain :

- 1- Se placer si possible face à l'affleurement, la falaise, le panorama à dessiner.
- 2- En fonction de l'affleurement, diviser virtuellement la feuille en différentes zones :
  - de gauche à droite, en respectant des proportions horizontales et verticales de l'affleurement ou du panorama.
  - de bas en haut, en dessinant avec des traits de plus en plus légers le 1er, second, 3ème plan, ...

- 3- Croquer avec des traits plus précis les détails géologiques : limites géologiques (strates, failles, filons, discordance,...), les structures (plis, structures sédimentaires,...)  
Eviter les détails d'autres natures, le coloriage ou les grisés.
- 4- Légèrer la coupe (formation, nature des roches)
- 5- Ajouter des mesures de plans géologiques (direction, pendage,...)

- 6- Orienter la coupe par rapport au nord.
- 7- Ajouter une échelle verticale et/ou horizontale
- 8- Localiser la coupe (lieudit, GPS long/lat, sur la carte)

**Au laboratoire**, lors du bilan : (si possible sur une photocopie du croquis ou sur un nouveau schéma)

- 9- Interpréter la coupe avec des couleurs, des flèches,... Nommer les phénomènes observés.

S. Péron - 2011

### JOUR 1 - ARRET N°2 : carrière de Gandaillat

#### Atelier 1 : panorama de la chaîne des Puys

Question : Où sommes-nous ?

#### Conditions de travail :

- Production : croquis du panorama dessiné, légendé, et orienté.
- Capacités et attitudes mises en jeu : pratiquer une démarche scientifique (observer), communiquer dans un langage scientifiquement approprié : croquis
- Supports à disposition : annexe N°1 p.31 : réaliser un croquis ou un panorama

#### PRODUCTION : croquis du panorama dessiné, légendé, et orienté



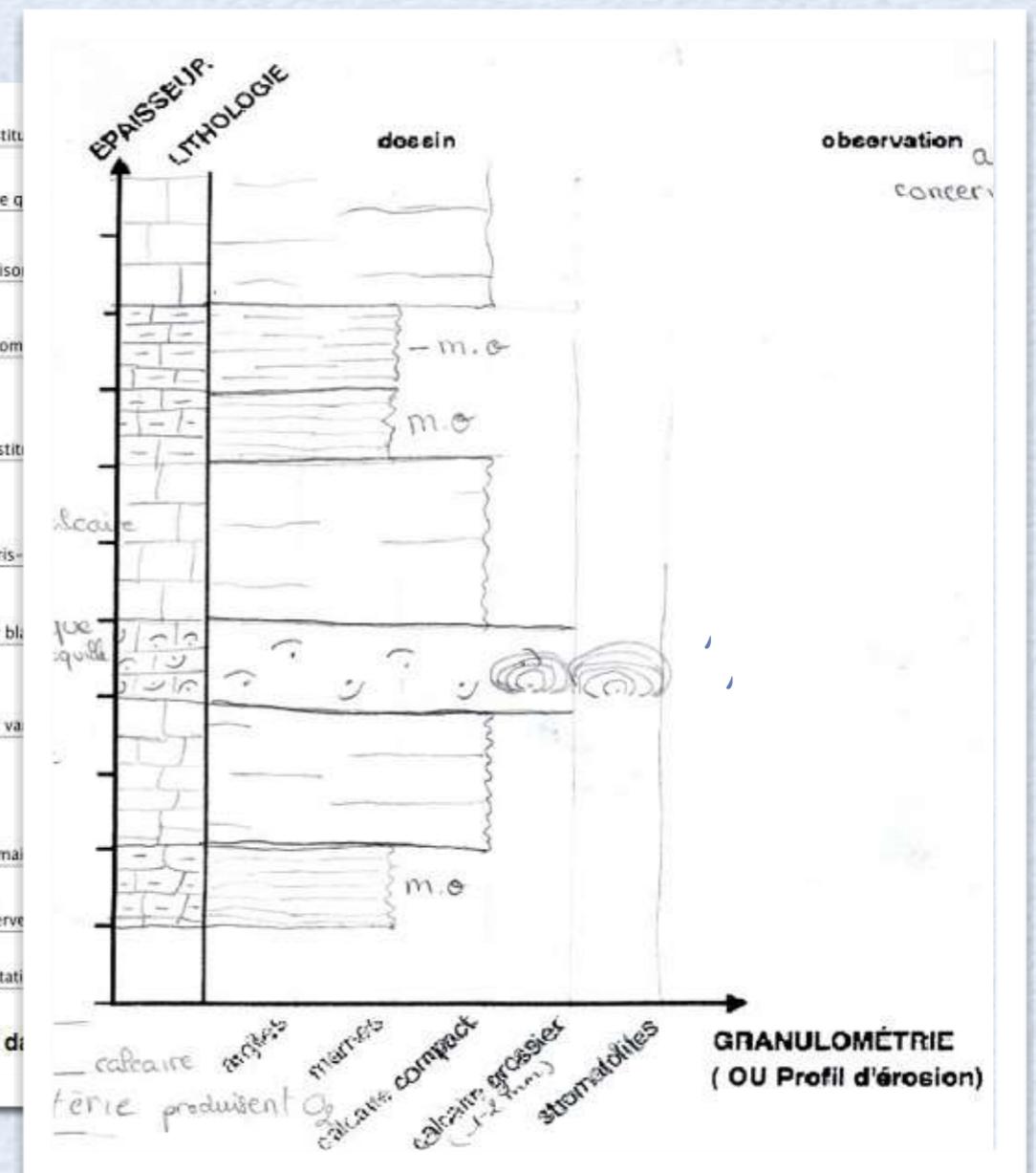
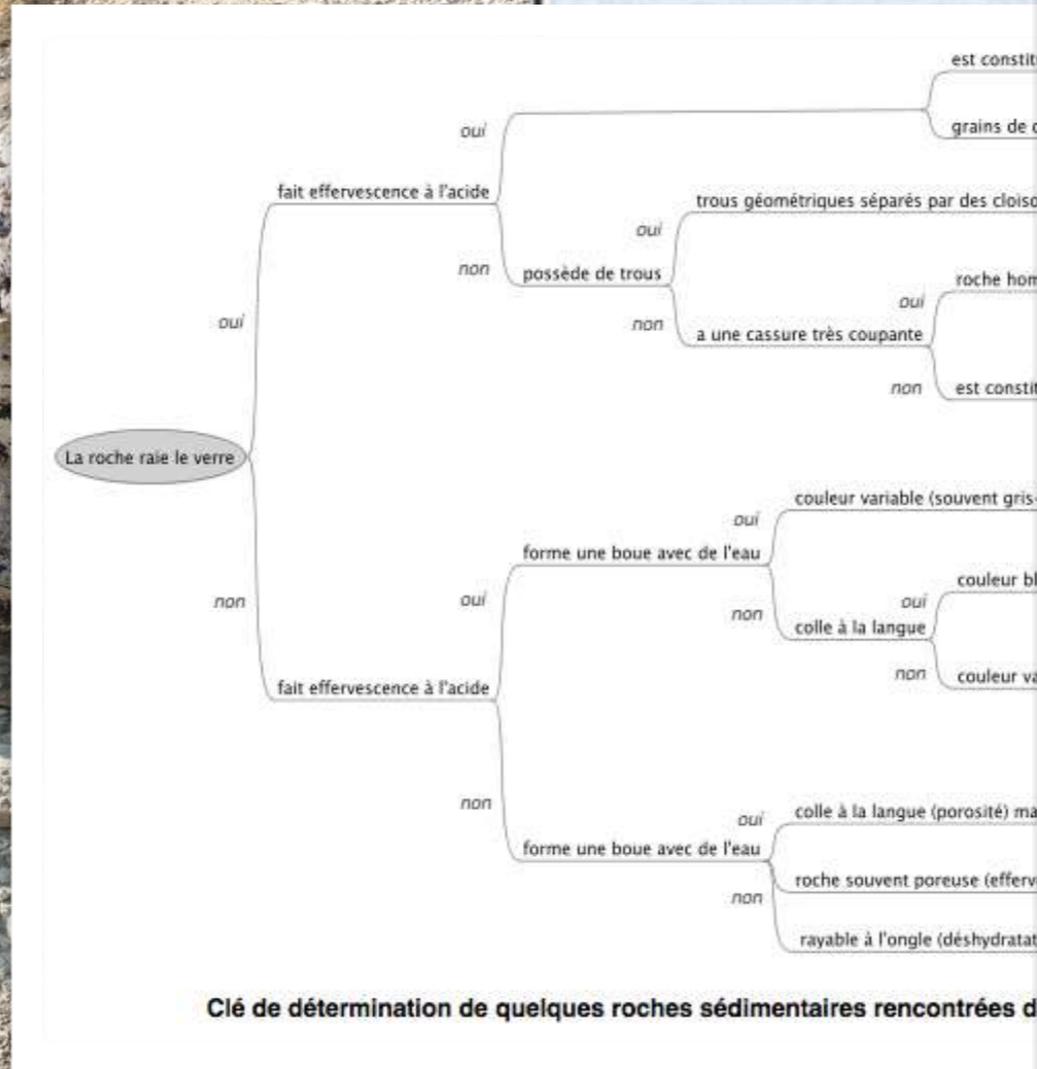
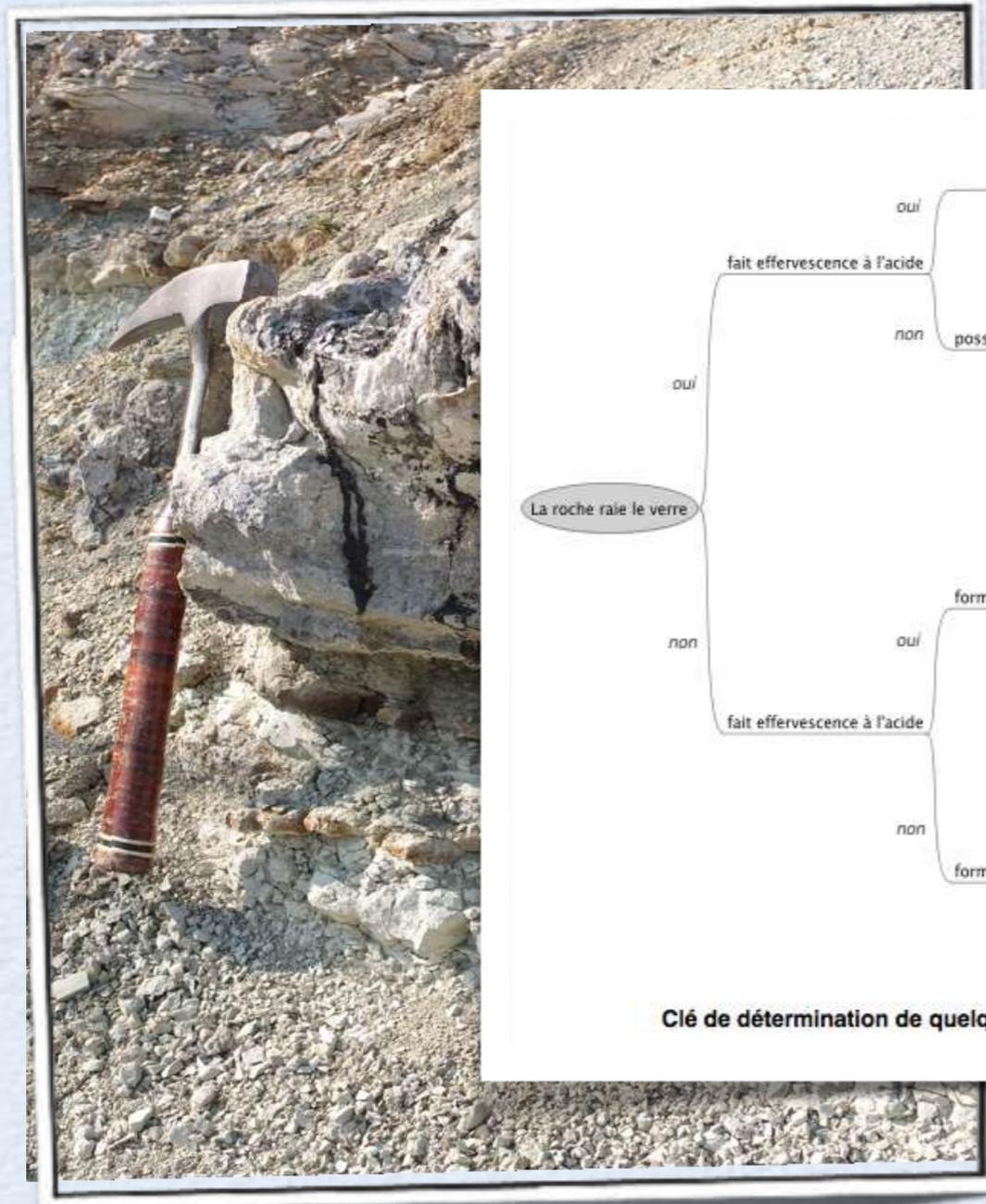
# Journée 1, arrêt 2 : La carrière de Gandaillat

- Question : Sur quoi sommes nous?
- Activités : Identifier les roches, levée d'un log et croquis d'un affleurement



# Journée 1, arrêt 2 : La carrière de Gandaillat

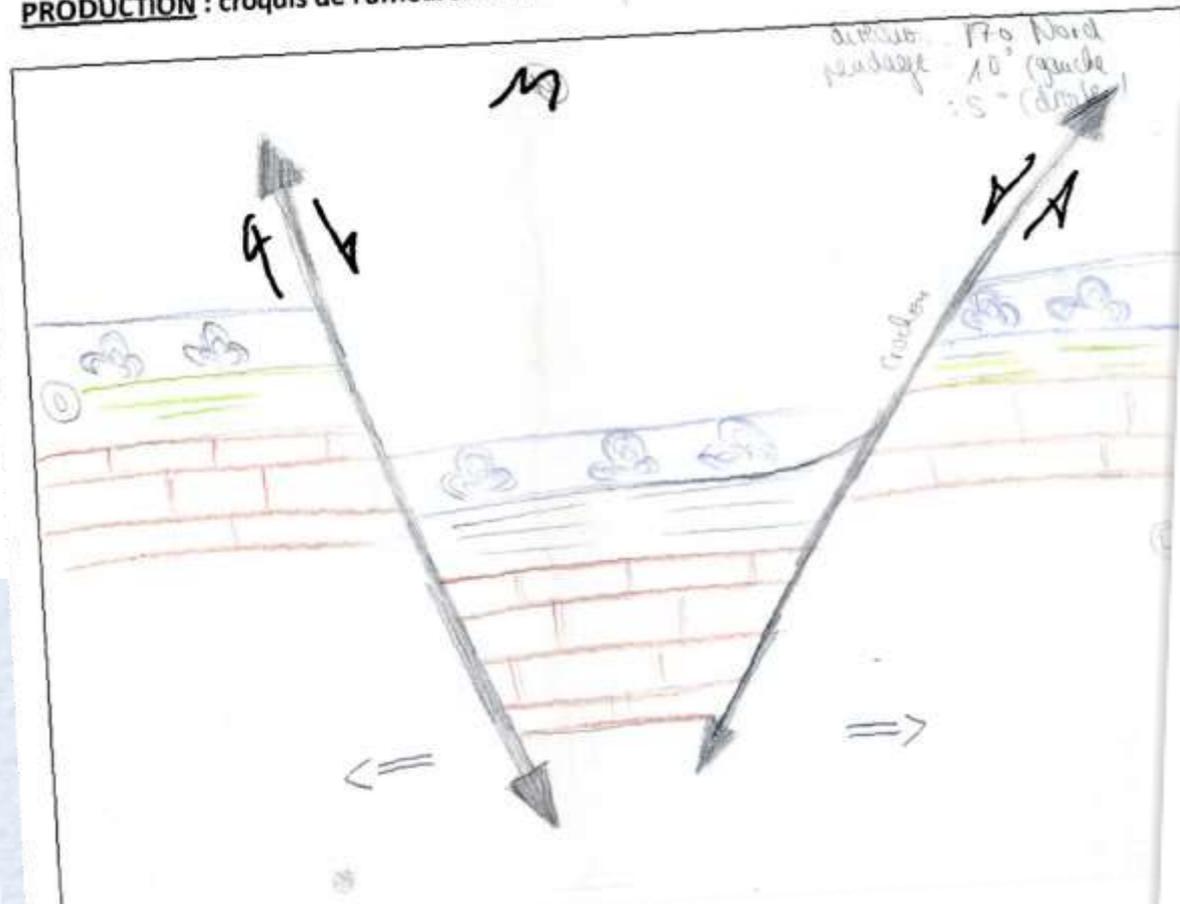
- Question : Sur quoi sommes nous?
- Atelier 2 : Levée d'un log et croquis d'un affleurement



# Journée 1, arrêt 2 : La carrière de Gandaillat

## Atelier 3 : tectonique et déformations

PRODUCTION : croquis de l'affleurement



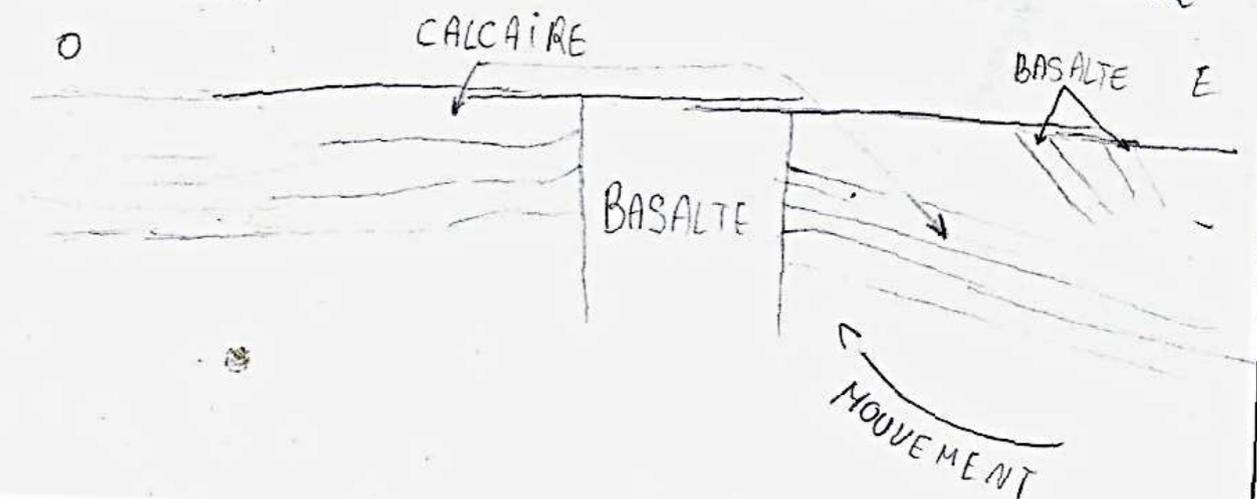
## Atelier 4 : intrusions magmatiques

Question : Quels renseignements...

Couleur sombre (mâchons), peu minéralisés visibles, roche en surface usée.

L> Roche magmatique = Basalte

Croquis du filon de basalte dans une terrasse de la carrière de Gandaillat



- Question : Question : Sur quoi sommes nous?
- Activités : Croquis et cartographie...

# Journée 1, arrêt 2 : La carrière de Gandaillat

## PRODUCTION : mesures d'un filon

- Orientation :  $N 120^\circ$   
- Pendage :  $80^\circ S$

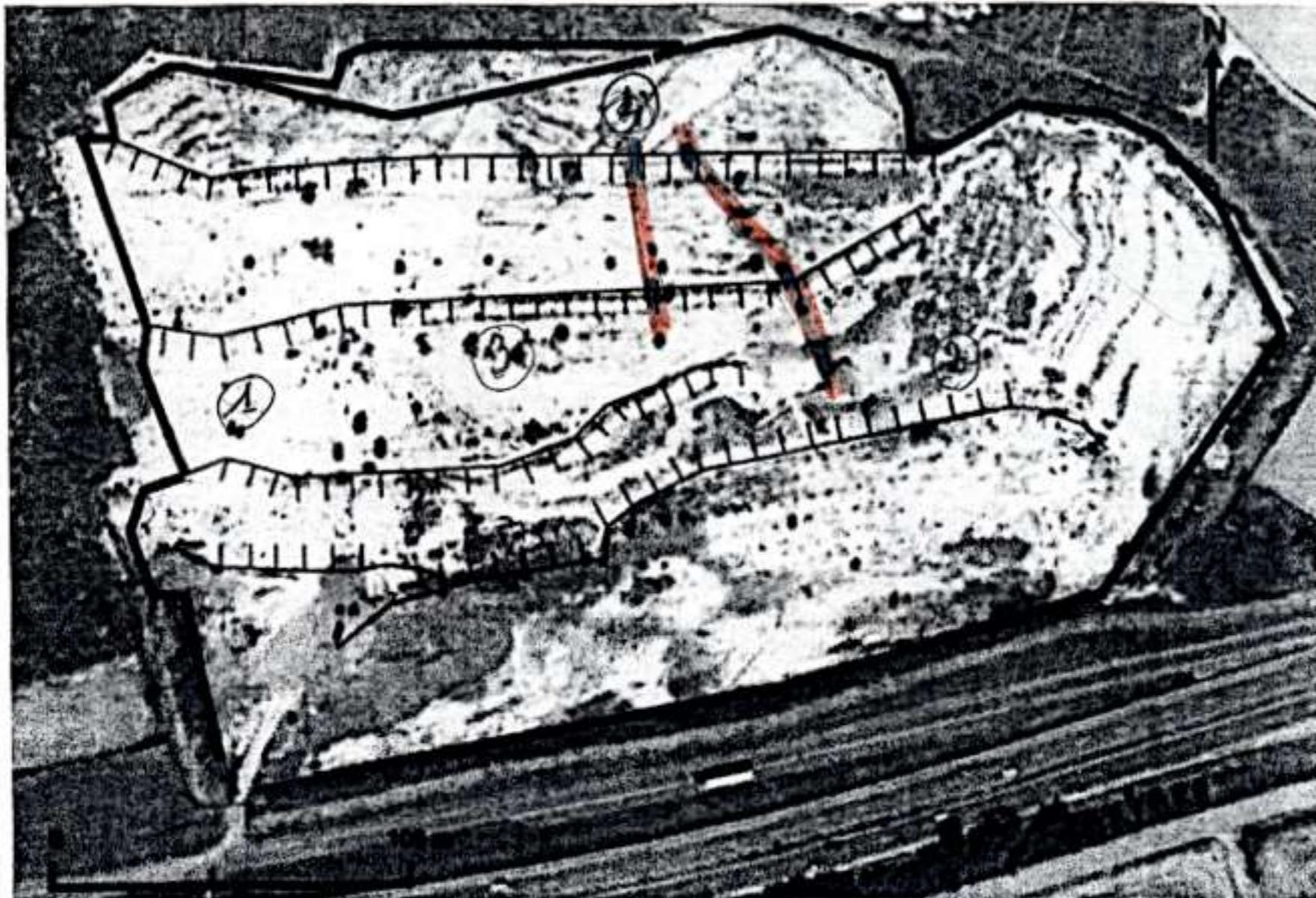
*direction cahier horizontale*

*boussole sur cahier*



*boussole perpendiculaire au cahier*

**CARTE AERIENNE DE LA CARRIERE DE GANDAILLAT. LES TERRASSES PRINCIPALES ONT ETE FIGUREES.**





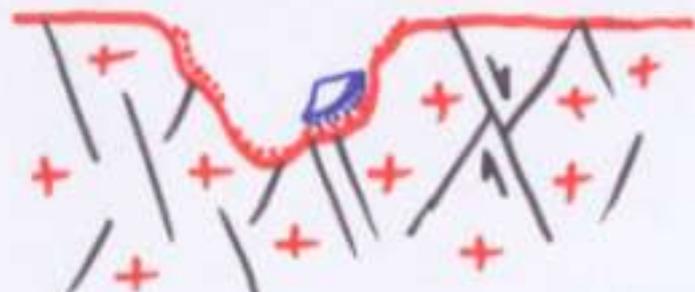
# Journée 2, arrêt 3, 4 et 5 : La couze Chambon

- Question : Quelle est la structure du bassin sédimentaire ?



W

Grandeyrolles



Granite hercynien  
fracturé et faillé.  
Erosion et volcanisme  
Plio-Quaternaire



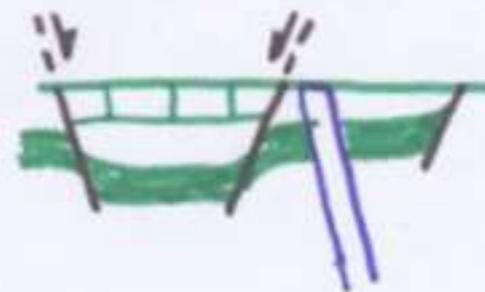
Neschers



Conglomérats et  
Arkoses  
Oligocène



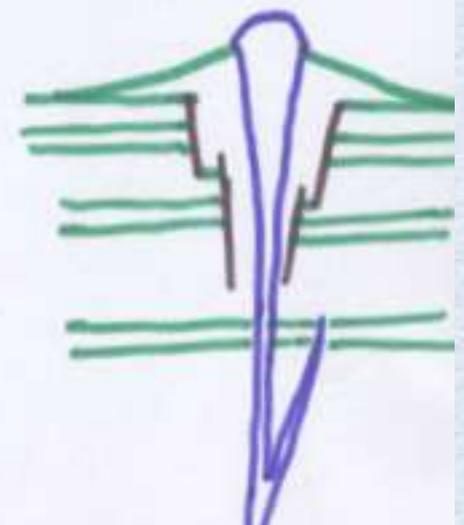
Gandailat



Sédiments lacustres  
Oligocène

Usson

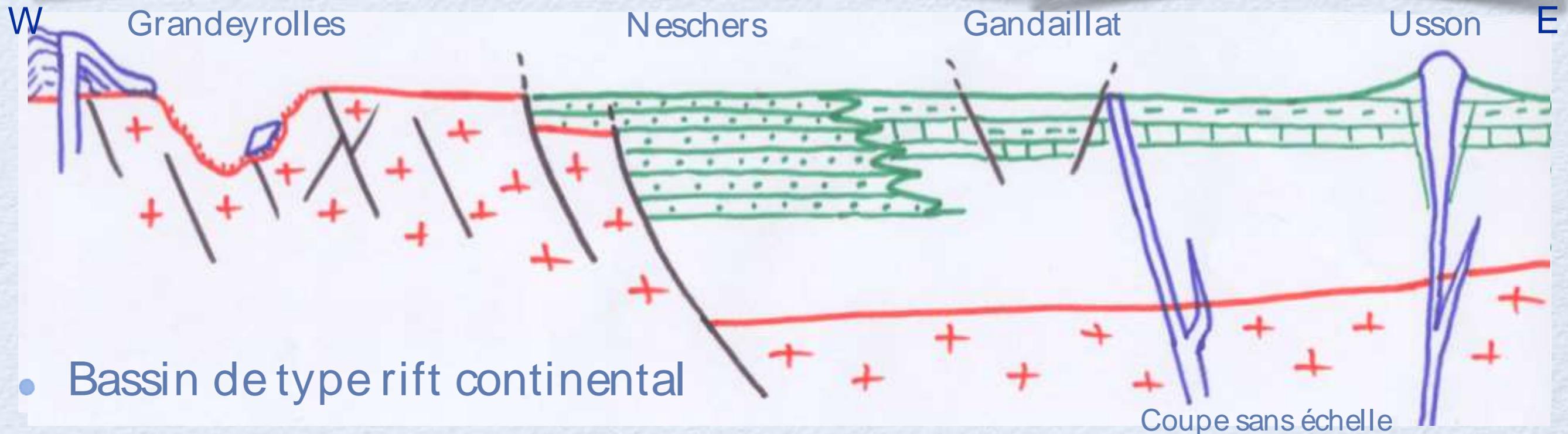
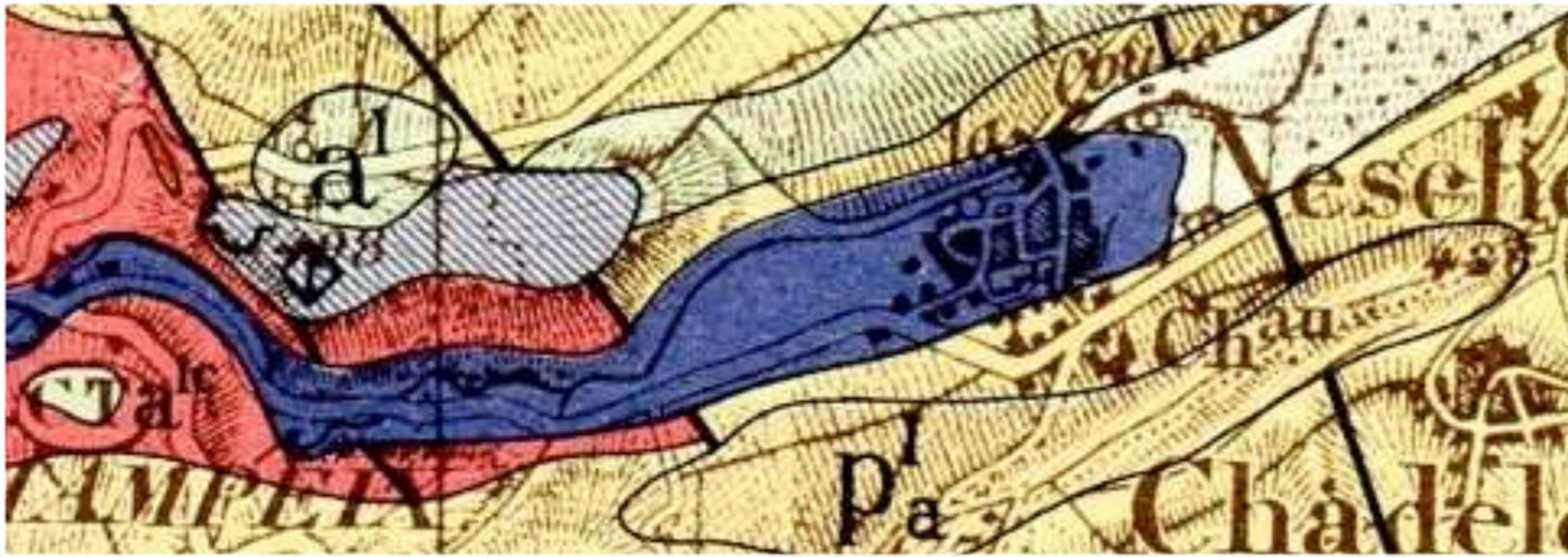
E



Volcanisme Miocène

# Journée 2 : Bilan

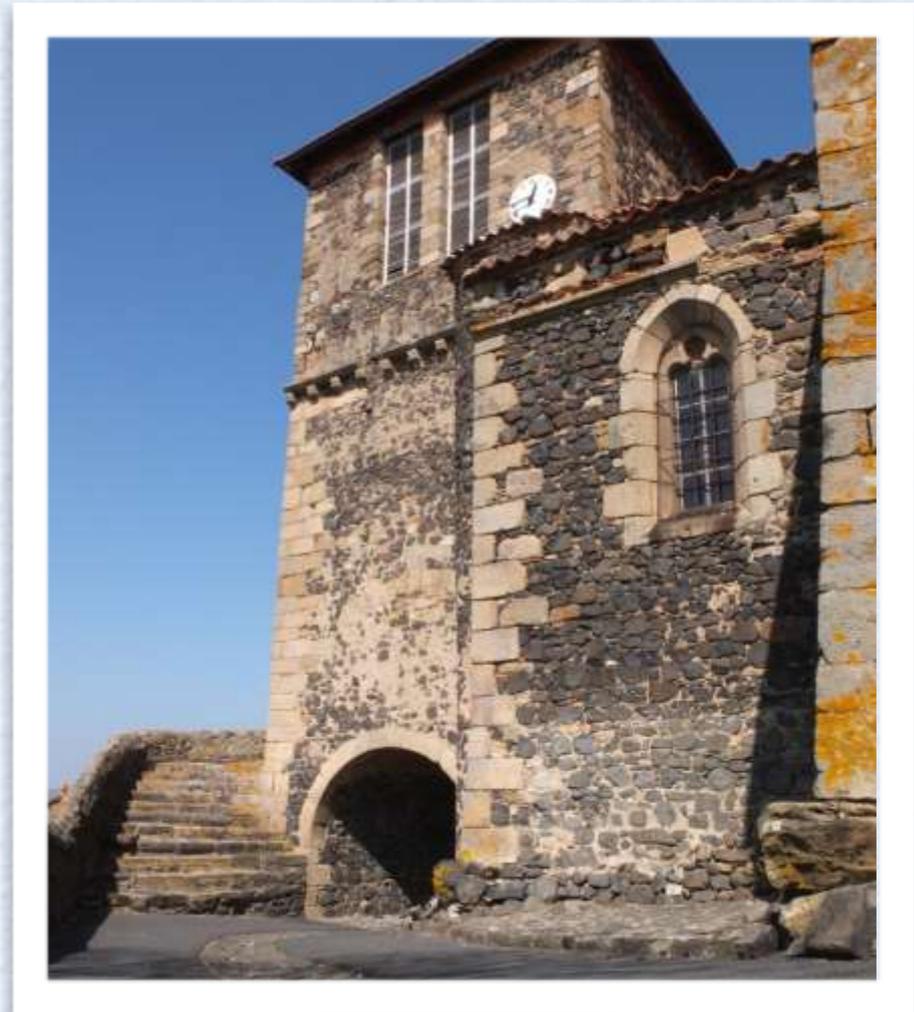
- Question : Quelle est la structure du bassin sédimentaire ?



- Bassin de type rift continental

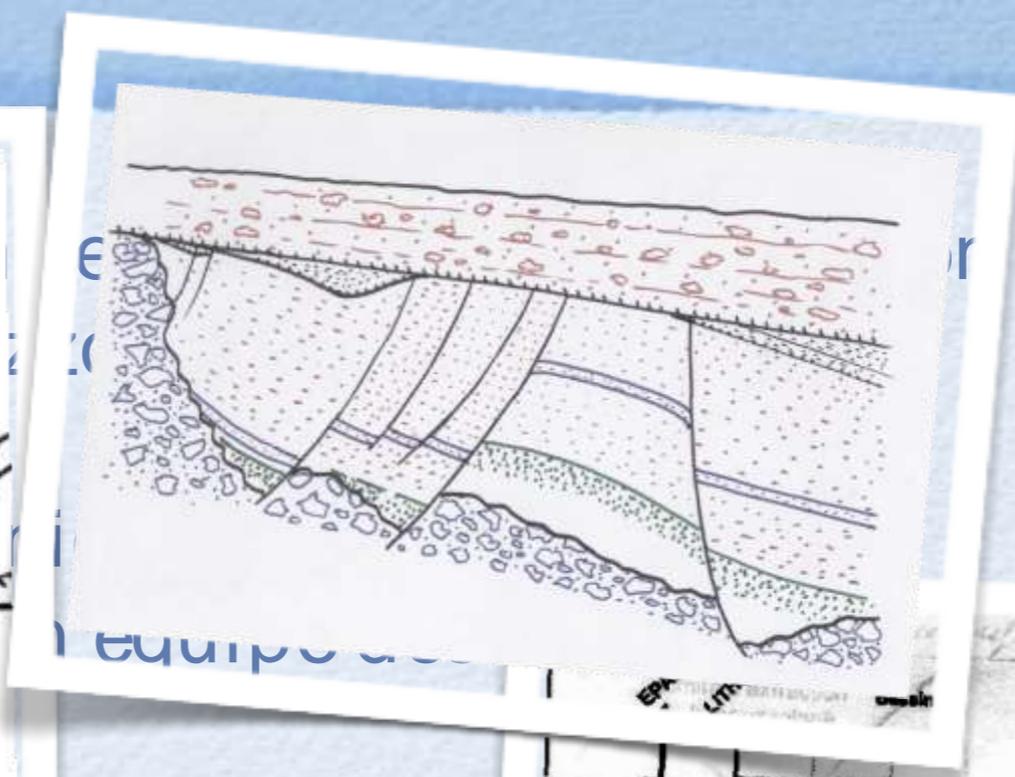
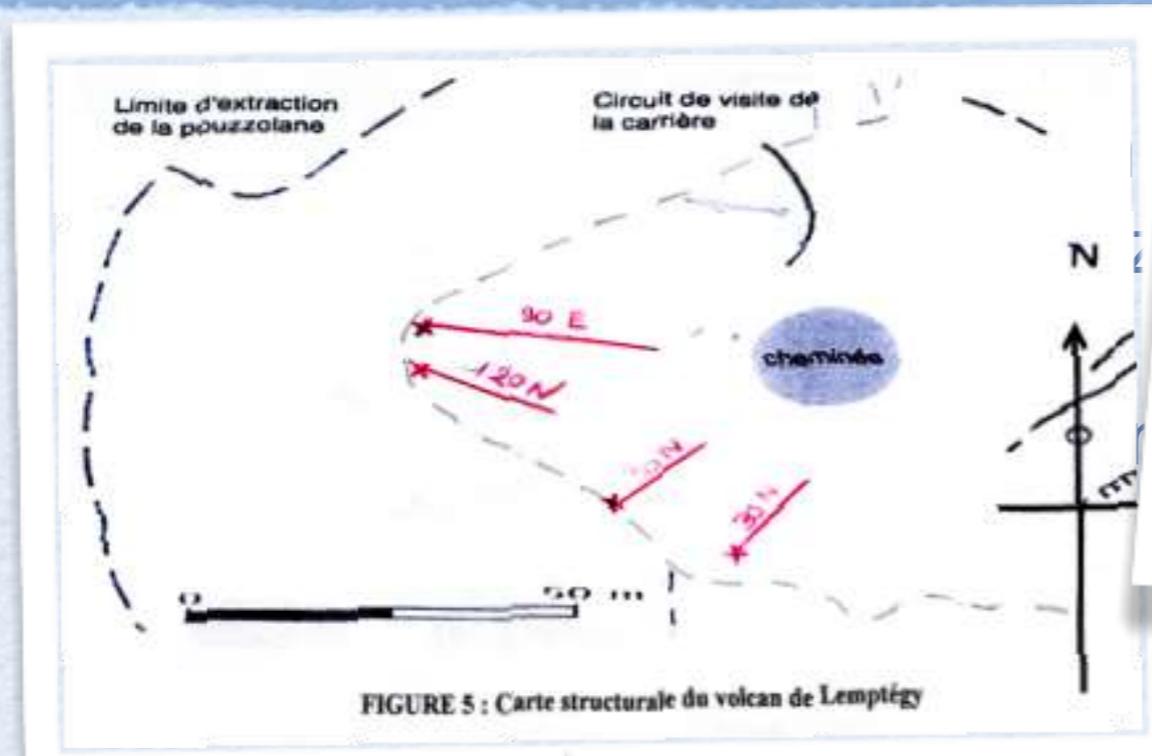
## Journée 2, arrêt 5 : Usson

- Appel : Trois roches utilisées dans les bâtisses d'Usson
  - le granite, les arkoses, le basalte



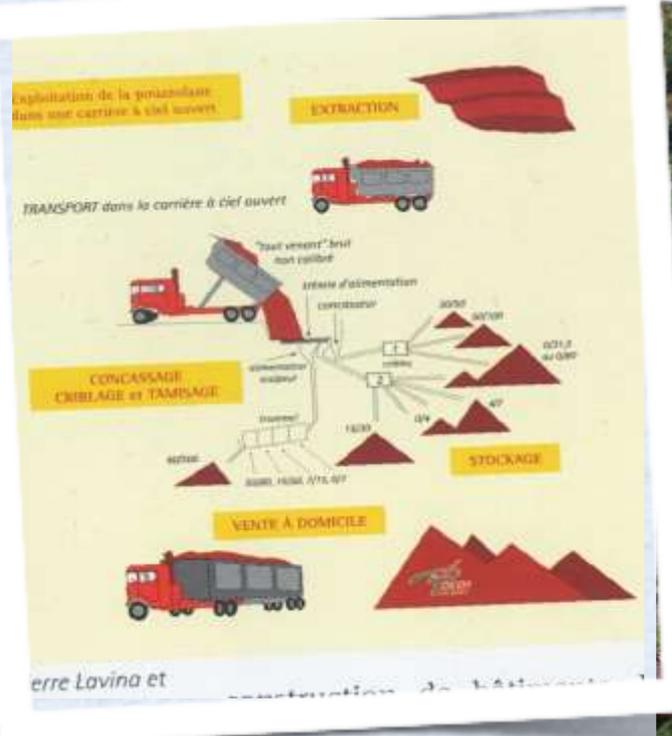
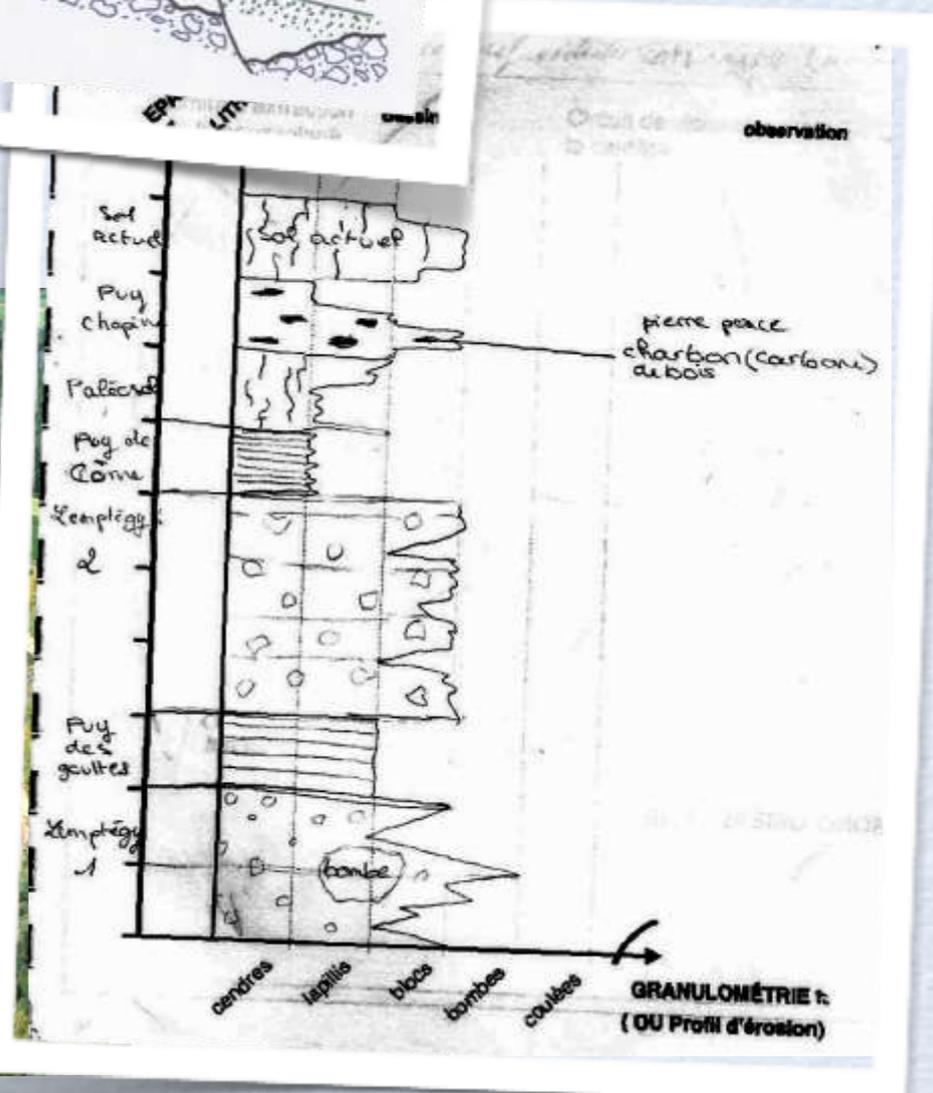
- Problème : Comment expliquer le volcanisme dans la région ?

# Journée 3, arrêt 7 : La carrière de Lemptégy



... d'une

équipe



# Après la sortie : Compte-rendu

redaction...  
plan IMRAD (introduction, méthodes, Résultats et (Auto) Discussion)

## Titre de l'article

Prénom 1 Nom 1, Prénom 2 Nom 2 et Prénom 3 Nom 3  
1SVT(1 ou 2), Lycée Gabriel Fauré, 81 avenue de Choisy, 75013 Paris, France

### Résumé (10 lignes max.)

Présentation succincte du sujet, définition des mots-clés. Moyens utilisés pour résoudre la question. Présentation des résultats obtenus.

### (Objet et Introduction).

Présentation générale du sujet. Cadrage et limites du sujet. Question à résoudre (Problématique)  
Moyens utilisés pour y répondre. Résultats obtenus. Réponse à la question.

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation du matériel étudié  
Dispositif expérimental, Protocole

### RÉSULTATS

Présentation des résultats mis en forme  
(tableau, graphique, photographie,... avec titre et légendes précises)  
!Rq! : Ne pas confondre résultats et illustrations

### DISCUSSION

Description et comparaison des différents résultats  
Interprétation des résultats en réponse au problème initial  
Critiques des résultats et de la méthode.

### (Conclusion)

"La conclusion n'est pas le résumé de l'écrit, mais la fin.", Perspectives

Remerciements. Les gens sans qui l'article n'aurait pu être réalisé.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(par ordre alphabétique ou d'apparition dans le texte)

NOMS DES AUTEURS ( Année de publication) : Titre de l'article, - Nom de la revue ou du livre,  
N° de la revue ou du tome, (n° chapitre) : n° pages (début et fin)

## ETUDE SCIENTIFIQUE DU DOMAINE DU LEMPTÉGY

Mardi 22 mai 2012

Audrey Gouvard, Éloïse Jalabert, Virginie Chauffeté  
1S1, Lycée Gabriel Fauré, 81 avenue de Choisy 75013 Paris, France



### Résumé

Dans cet article nous aborderons l'histoire du domaine de Lemptégy afin de déterminer la succession chronologique des événements géologiques s'y étant déroulés. Le domaine du Lemptégy est un site volcanique situé en Auvergne à l'Ouest de Clermont-Ferrand dans le Massif Central.

Pour reconstituer cette histoire, nous nous aiderons de notre livret de terrain contenant les observations et croquis réalisés sur le domaine ainsi que les autres sites visités au cours de notre stage, les synthèses réalisées en fin de journée et les photographies prises sur le terrain illustrant nos notes.

Nous montrerons que plusieurs activités volcaniques se sont produites dans le domaine du Lemptégy, lui donnant ainsi son aspect actuel.

### INTRODUCTION

Nous avons participé à un stage géologique de 3 jours en Auvergne dans le Massif Central avec notre classe et la classe de 1S2, nos professeurs de SVT respectifs et trois accompagnateurs, dans le but d'étudier les diverses formations géologiques des différents affleurements observés. Nous nous intéresserons plus particulièrement au domaine du Lemptégy.

**Comment le domaine du Lemptégy s'est-il créé au cours des temps géologiques passés ?**  
Pour répondre à notre question, nous nous aiderons de notre livret de terrain contenant les observations et croquis réalisés sur le domaine ainsi que les autres sites visités au cours de notre stage, les synthèses réalisées en fin de journée et les photographies prises sur le terrain illustrant nos notes.

Nous allons montrer que plusieurs activités volcaniques se sont produites dans le domaine du Lemptégy, lui donnant ainsi son aspect actuel.

### MATERIEL ET METHODES

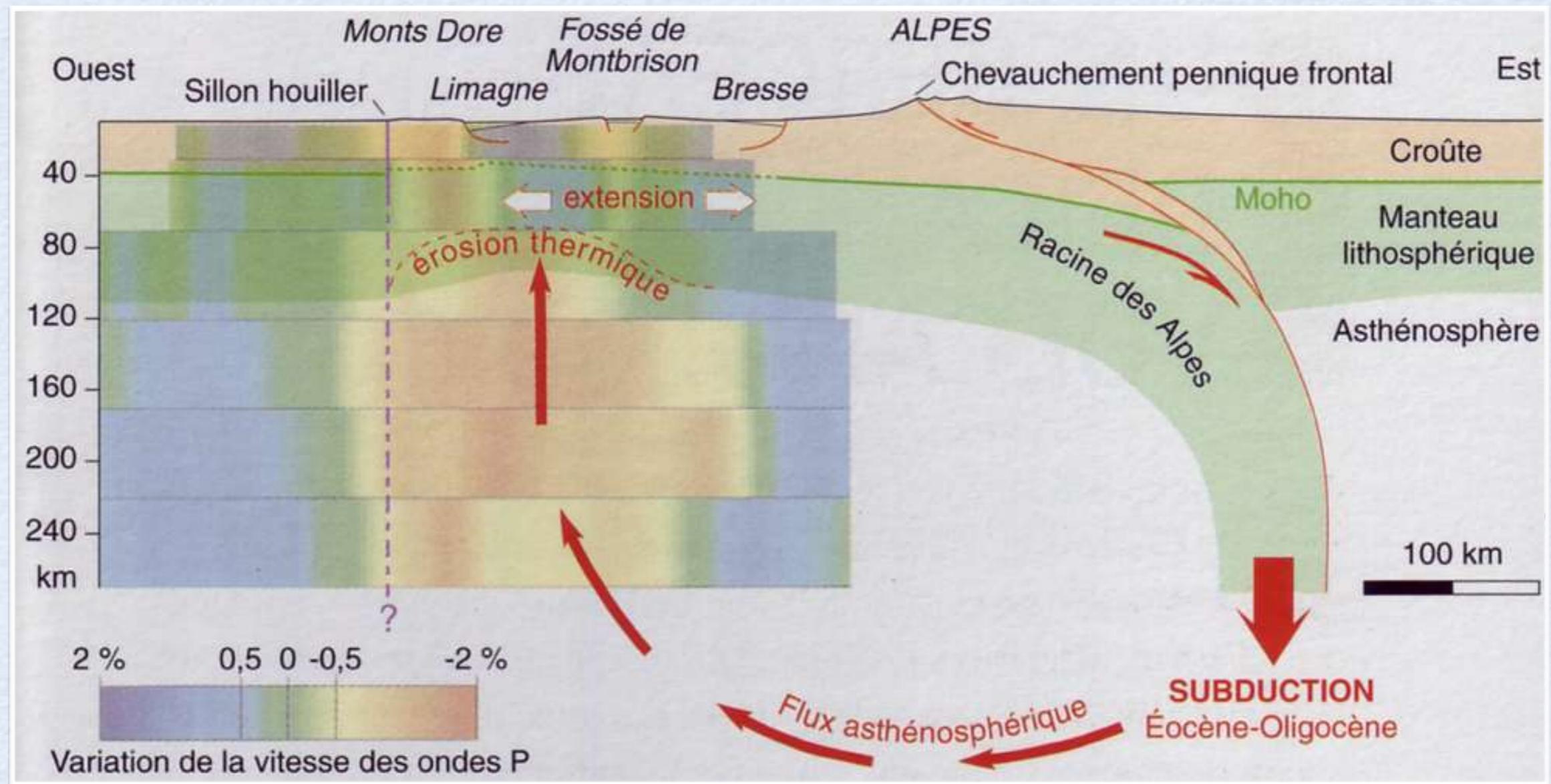
Le domaine du Lemptégy se situe en France, plus précisément dans le Massif Central dans la région de l'Auvergne. Il se trouve à l'Ouest de Clermont-Ferrand, au Nord de la ville de Chamalières. Nous avons ramassé des échantillons...

# Après la sortie : Bilan du stage

- Problème : Comment expliquer la présence d'hydrocarbure dans le sous-sol de la plaine de la Limagne?
  - Bassin sédimentaire en subsidence de type rift qui préserve des sédiments lacustres riches en MO.
  - Présence de roches marno-argileuses imperméables et de roches poreuses (récifs à stromatolites et lumachelles)
- Discussion sur l'absence d'exploitation de la ressource :
  - «Hydrocarbures matures sont peu abondants car la maturation est insuffisante (2000 m préservés) mais le flux thermique est important (volcanisme)...»
  - «Hydrocarbures présents mais pas de concentration dans des pièges structuraux (absence de plis)?»

# Après la sortie : Bilan du stage

- Problème : Comment expliquer le volcanisme dans la région ?



(Merle & Michon, 2001)

# Synthèse

- Sortie Cinquième :
  - De l'étude d'un paysage à l'utilisation d'une ressource géologique
- Sortie Première S :
  - Des ressources géologiques à la tectonique des plaques.

# Conclusions pour l'enseignant

- L'importance d'un «avant» et d'un «après» sortie.
- Réduire le nombre d'affleurement pour augmenter le temps de travail sur place.
- Ateliers directement inspirés des pratiques du géologue.
- Développer l'autonomie des élèves sur le terrain : réitérer les pratiques, construire des outils adaptés,...

# Conclusions pour le formateur

- Développer l'apprentissage des pratiques scientifiques de terrain : cartographie, pétrologie de terrain, croquis, boussole, loupe,...
- Former aux globes virtuels et SIG.
- Connaître les bases de données existantes : Géoportail (IGN), Eduterre (BRGM), PlanèteTerre...
- Mettre en oeuvre l'enseignement par compétences sur le terrain (Capacités et Attitudes)

# Remerciements

*à mes enseignants de collège et de lycée :*  
**Didier Saint-Marc, Stéphane Janou et Pierre Savaton,**

*à mes collègues et formateurs :*  
**Philippe Hubert,  
Patricia Besnard,  
Sylvie Doucet,  
Pierre-Olivier Thébault,  
Alexandra Becker,  
Romina Seïd,  
François Vanhoutte,  
Patrick Thommen,  
Nicole Santarelli,  
Pierre Baly,  
et Dorothee Simon *pour les photographies.***