

Leçon n°15

Le modèle de la tectonique des plaques explique la genèse des hydrocarbures et oriente les recherches des gisements pétroliers

🌐 Rappels de la classe de 2nde : formation des biomasses fossiles (hydrocarbures)

. A) La matière organique et son devenir

+ Dans un **écosystème équilibré** toute la biomasse produite par l'écosystème est **dégradée, minéralisée** et tous les éléments puisés par les producteurs sont ainsi restitués à l'air, à l'eau et au sol. Ce n'est pas le cas dans la transformation des biomasses actuelles en biomasses fossiles.

+ La biomasse à l'origine des combustibles fossiles est très abondante (la **productivité primaire brute (PPB)** est donc très forte) du fait de la **richesse du phytoplancton** à l'origine des pétroles. Cette **biomasse n'est pas dégradée** du fait du **manque d'oxygène** (qui empêche donc sa dégradation totale par le mécanisme de respiration). C'est l'**enfouissement rapide** et l'**incorporation de cette matière dans des sédiments** qui empêche la présence d'oxygène et donc qui empêche sa dégradation complète. **Comment la tectonique des plaques peut-elle favoriser ces conditions ?**

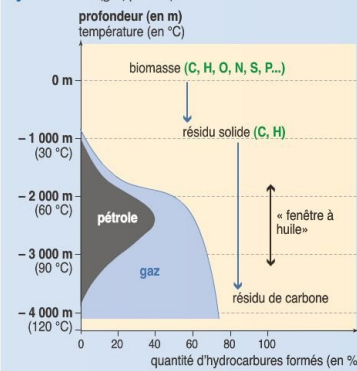
. B) Les conditions géologiques qui permettent un enfouissement profond et ses conséquences

+ L'enfouissement se produit toujours dans des régions géologiques subissant un **étirement tectonique**, éirement qui se traduit par des **failles normales**. **Ce sont ces conditions tectoniques qu'il faudra ici étudier dans le cadre de la tectonique des plaques**. Du fait de l'enfouissement, la température augmente (3°C tous les 100 m).

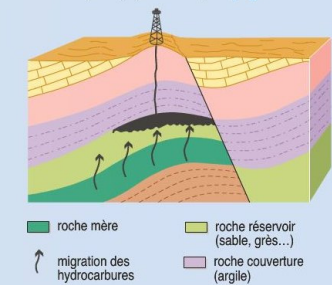
+ Une **dégradation incomplète** de la biomasse commence d'abord sous l'effet de **bactéries anaérobies** (= bactéries vivant en l'absence d'O₂) : c'est la **dégradation biochimique** de la matière organique qui aboutit au **kérogène**.

La formation de combustibles fossiles

• Dans des **conditions particulières***, la matière organique produite par photosynthèse échappe à la décomposition et se transforme progressivement en combustibles fossiles : charbon, hydrocarbures (gaz, pétrole).



• Du fait de leur faible densité, les hydrocarbures formés par enfouissement de la matière organique ont tendance à remonter vers la surface. Pour qu'un gisement d'hydrocarbures se forme, il faut donc qu'un **piège** les arrête.



* **conditions particulières** : Biomasse importante (productivité primaire brute très forte), non dégradée du fait de l'absence de dioxygène, enfouissement profond du fait de la subsidence.

+ Du fait de l'**augmentation de température** du fait de l'enfouissement, la dégradation biochimique se poursuit par une **dégradation thermique** (les 90°C à 3000 m de profondeur ne sont plus compatibles avec la vie bactérienne). Dans ces conditions, les molécules organiques **perdent peu à peu certains de leurs atomes** : N, Mg puis O : ce n'est donc qu'une **dégradation incomplète** qui conserve le plus souvent C et H (pour les hydrocarbures, produits pétroliers et gaz). **Nous aurons à rechercher les conditions dans le cadre de la tectonique des plaques qui concourent à cette subsidence.**

. C) Devenir des biomasses fossiles (dans le cas des produits pétroliers et gaz)

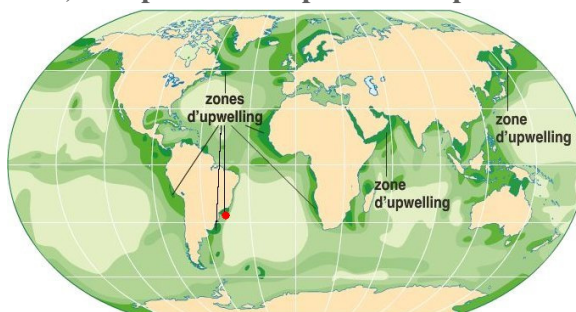
+ Les produits pétroliers (gaz et produits huileux) du fait de leur **faible densité** migrent vers les couches supérieures ; on nomme **roche-mère**, les roches où s'est produit leur formation. On nomme **roche couverture**, des roches **imperméables** qui empêchent leur fuite vers la surface et on nomme **roche réservoir**, les roches poreuses (souvent sables et grès) qui les retiennent sous les **roches couverture**. **Comment la tectonique des plaques peut-elle aboutir à la mise en place de telles roches ?**

L'étude sera conduite dans le bassin de Santos au Brésil (au large São Paulo).

Dans tous les documents le bassin de Santos est signalé par un **point rouge**.

🌐 I. Les conditions permettant le dépôt d'une biomasse importante sans dioxygène

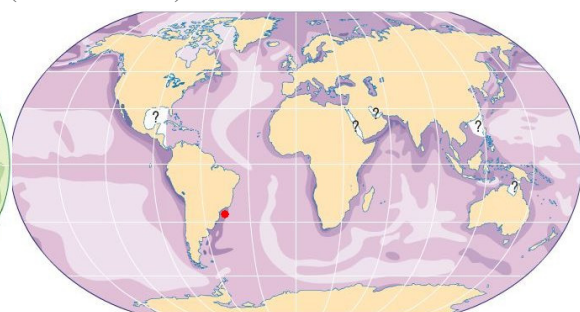
1) Une productivité primaire importante (activité n° 31)



La productivité primaire des océans.

< 80	80 - 120	120 - 200	200 - 400	> 400
------	----------	-----------	-----------	-------

Productivité primaire (en grammes de carbone par mètre carré et par an)



La teneur en carbone organique des sédiments marins superficiels.

< 0,25	0,25 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	> 2
--------	------------	---------	-------	-----

Teneur en carbone organique (en %)

+ C'est l'**accumulation** de **matière organique** (surtout végétale) qui est la prémisses à l'histoire d'un futur gisement. C'est la **production primaire brute** qui doit être favorisée par la présence de des facteurs tels que : **température, dioxyde de carbone, sels minéraux** et **milieu peu profond** (pour qu'il soit bien éclairé).

+ Ainsi (voir les cartes ci-dessus) s'il y a productivité primaire importante, il peut y avoir alors une **teneur importante** de **carbone organique** dans les **sédiments**.

+ Cependant dans le bassin de Santos, les dépôts de matière organique se sont fait dans un tout autre contexte de celui connu actuellement quand la lithosphère continentale Amérique-Afrique s'est dissociée par amincissement de la croûte à partir de 150 Ma et surtout entre 140 Ma et 110 Ma. Dès lors, la mise en place d'une dorsale, par le **volcanisme** associé rejette **beaucoup de CO₂** et la température augmente, ces deux conditions facilitant la **production primaire brute**. Par ailleurs, la **dilatation thermique de la dorsale** déplace les masses océaniques et contribue à une **élévation du niveau marin** (image d'une bouteille remplie d'eau qui comprimée [modification du contenant] élève le niveau de l'eau [contenu] => **transgression marine sur les marges passives** qui favorise le développement du plancton donc de la productivité primaire brute.

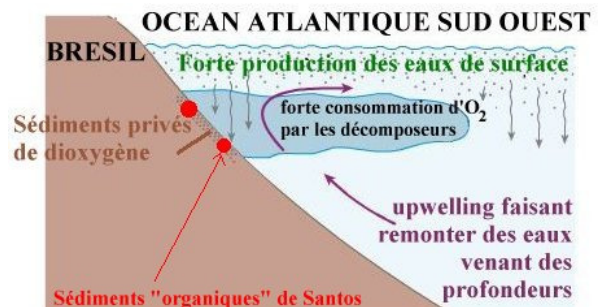
2) L'upwelling, un mécanisme qui amplifie la production primaire brute et crée des conditions anoxiques (activité n° 31)

+ L'**upwelling** est un mécanisme lié à des **courants marins** se traduisant par des **remontées d'eau froide** venant des profondeurs apportant des **sels minéraux** (et CO₂, voir point précédent) dans un lieu où les eaux sont chaudes et bien éclairées => en surface la production primaire brute est alors forte. Il s'en suit que les **décomposeurs** (bactéries) qui bénéficient en surface d'une **grande quantité de matière organique** interviennent pour minéraliser par « **mécanisme respiratoire** » ce matière

organique. Ce processus consommant beaucoup de **dioxygène**, ce dernier se retrouve rapidement **épuisé**. Les matières qui se décomposent alors ne sont **pas dégradées** et se déposent dans un **milieu anoxique** (= sans dioxygène).

+ C'est en modifiant la **forme des continents** que la tectonique des plaques **influence les courants marins** donc l'**upwelling**. Il s'en suit la présence de certaines zones comme celle du bassin de Santos où l'upwelling est important alors qu'il est absent plus au Nord de ce continent.

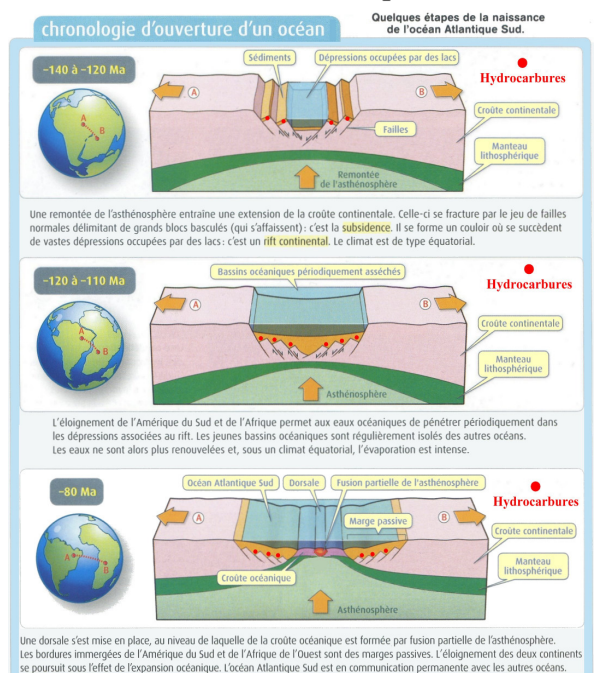
Remarque : Actuellement dans l'Atlantique Sud l'**upwelling** n'est pas réalisé partout mais est **localisé ponctuellement** dans **certaines zones côtières** : en effet les courants froids profonds venant du pôle Nord, riche en dioxygène, dispersent les matières organiques venues du fleuve Amazone. La géographie continentale de l'Afrique et de l'Amérique latine fait que les zones d'upwelling sont localisées. De plus les dépôts de matières organiques anoxiques se sont **faits entre 140 et 120 Ma** c'est-à-dire à une époque où la **Pangée en était au tout début de son morcellement**. L'ouverture d'une voie de communication océanique entre le pôle Nord et l'Atlantique s'est faite tardivement vers 50 Ma des **phénomènes d'Upwelling plus massifs** en pu se dérouler entre 140 Ma et 120 Ma.



II. Les conditions de la subsidence de matières organiques anoxiques favorisées par la tectonique des plaques

1) Le fonctionnement des failles listriques crée la subsidence lors des tectoniques d'extension (activité n° 31)

+ La subduction du fait de la traction de la lithosphère plongeante, nous l'avons vu crée des **étirements** dans certaines parties lithosphériques continentales. La croûte continentale **s'amincit** et passe de 35 Km d'épaisseur à quelques km d'épaisseur. La **croûte continentale, cassante** en surface subit une **fracturation** en **failles normales incurvées** nommées **failles listriques**. (cf. ci-contre, schéma du haut). Le jeu des failles qui entrecoupent les blocs granitiques conduisent à des **basculements de ces blocs**. La sédimentation qui se produit à ce moment là (140 Ma à 120 Ma) subit l'effet de ce **basculement permanent** et produit une **sédimentation en éventail** => les épaisseurs de sédiments déposés sont alors énormes, surtout au contact des miroirs de faille. On nomme « **sédimentation syn-rift** » cette sédimentation très particulière. Ce basculement conduit à une **subsidence** entretenue par le **poids des sédiments déposés**. Du fait des conditions de production primaire et d'éventuel d'upwelling énoncées dans le

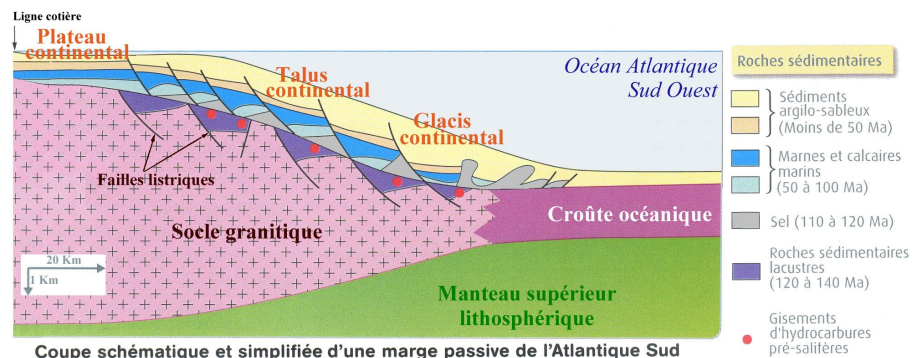


chapitre I, ces sédiments contiennent de la **matière organique** dépourvue de **dioxygène**. Cet étirement continental porte le nom de **rifting**.

+ De 120 à 110 Ma dans la région de Santos, l’océan peut former localement des **bassins océaniques fermés (lagunaires)** qui subissent l’**assèchement** et déposent des **évacués** (**sel gemme** notamment) comme il est actuellement possible de l’observer aux **Afars (Corne de l’Afrique de l’Est)**.

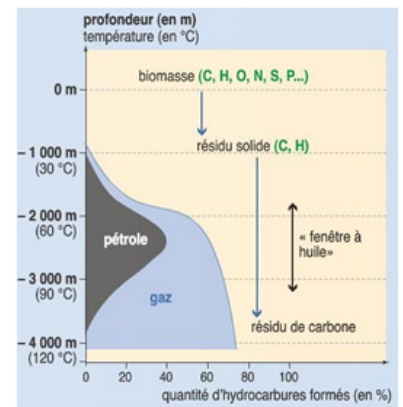
2) Les marges passives conservent les traces du rifting (activité n° 31)

+ L’ensemble de ces **blocs basculés** et leur sédimentation particulière syn-rift porte le nom de **marge passive**. La marge passive (entité géologique) correspond au **talus** et au **glacis continental** (entités géographiques). La sédimentation se poursuit après le **rifting** (période du fonctionnement des failles listriques, quand la croûte océanique se fragmente en surface du fait de l’étirement). C’est évidemment les **failles listriques** que les géologues **prospecteurs d’hydrocarbures** repèrent dans les **profils sismiques réflexion**.



3) Transformation des sédiments et des matières organiques en roches sédimentaires et hydrocarbures (activité n° 31)

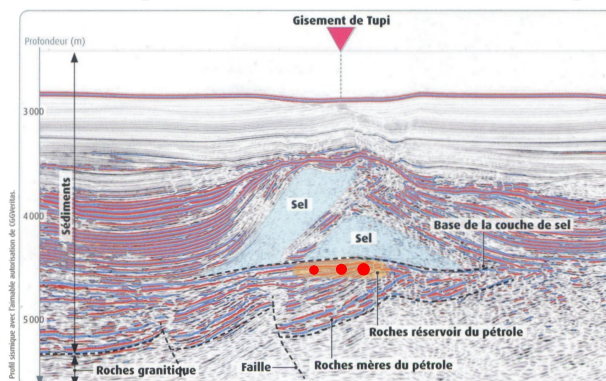
+ Au cours de l’**enfouissement des sédiments** ceux-ci se transforment en **roches sédimentaires** : c’est la **diagenèse**. Par exemple les particules argileuses forment une roche : l’argile.
 + Les matières organiques après avoir subi une **dégradation incomplète biochimique** du fait de l’action de **bactéries anaérobies** sont transformées en **kérogène**.
 + Puis, du fait de l’**enfouissement** qui fait **augmenter** les températures, le kérogène subit une **dégradation thermique**, véritable « cuisson » qui aboutit à une perte progressive de **certaines de leurs atomes** : N, Mg puis O ; ce n’est donc qu’une **dégradation incomplète** qui conserve le plus souvent C et H (pour les hydrocarbures, produits pétroliers et gaz). (voir graphique ci-joint). La composition des hydrocarbures en pétrole ou gaz dépend de la température maximale atteinte. Ainsi le pétrole se forme entre 2000 m (60°C) et 3000 m (90°C) ; on nomme **«fenêtre à huile»** cette fourchette de profondeur. Les **prospecteurs d’hydrocarbures** repèrent dans les **profils sismiques réflexion**.



III. Les conditions du piégeage des hydrocarbures favorisées par la tectonique des plaques

1) Des piégeages sédimentaires : exemple des hydrocarbures des bassins présalifères (activité n° 31)

+ En profondeur, les **hydrocarbures** sont donc formés au sein des **roches mères** des hydrocarbures. Ce sont des **schistes** ou des **marnes** (mélange d’argiles et de calcaires) dans lesquels les fluides pétroliers s’**imprègnent** et où ils subissent leur **dégradation thermique** (voir ci-dessus). Cette transformation est lente puisqu’elle nécessite plusieurs dizaines de millions d’années.
 + au fur et à mesure de leur évolution, du fait de leur **densité**, les



Profil de sismique-réflexion d’un gisement d’hydrocarbures du bassin pré-salifère de Santos sur la marge passive du Brésil (gisement de Tupi). Ce profil montre les limites des couches sur lesquelles les ondes sismiques se sont réfléchies.

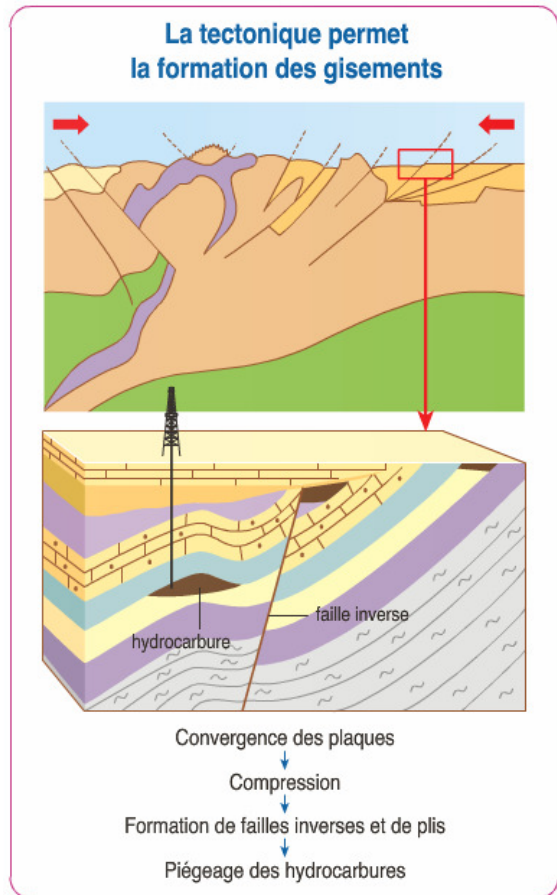
	Roche mère	Roche réservoir	Roche couverture
Nom	Schistes sombres et marnes noires	Grès et calcaires bioconstruits	Halite (sel au sens commun)
Origine	Accumulation de sédiments détritiques et de restes d’êtres vivants (algues, bactéries, etc.) au fond de lacs dans un milieu peu oxygéné	Accumulation de coquilles et sédiments détritiques en milieu lacustre	Précipitation de chlorure de sodium (NaCl) en solution suite à l’évaporation intense d’une eau riche en sels dissous
Quelques propriétés	Fortes teneurs en matière organique (jusqu’à 9% de carbone organique)	Porosité importante (de 12 à 35%)	Totalement imperméable aux hydrocarbures
Âge	125 à 130 Ma	120 à 125 Ma	110 à 120 Ma

Les roches sédimentaires du piège d’hydrocarbures.

hydrocarbures migrent vers la surface.
 + Or si rien ne les arrête, ces hydrocarbures sont condamnés à la **destruction totale** à la surface terrestre, du fait des bactériennes aérobies (en présence de dioxygène). Seuls sont préservés ceux qui sont **piégés** en profondeur du fait de certaines couches qui stoppent leur migration vers la surface ; c'est le cas des **couches de sels (= halite)** qui jouent le rôle de **couches imperméables** comme le feraient également des **couches d'argiles**. On nomme ces formations : les **roches couverture**.
 + En dessous les hydrocarbures sont retenus dans des roches **poreuses** telles que les **sables** ou les **grès** ou même certains types de calcaires : ce sont les **roches réservoir**. Dans le **bassin de Santos** ce sont les **évaporites** (sel gemme...) **déposés de 120 à 110 Ma** qui jouent ce rôle de **roche couverture**.

2) D'autres situations de piégeages créés par une tectonique compressive

+ Ultérieurement, certaines zones dans lesquelles se sont produits des étirements conduisant aux **marges passives** peuvent subir des **compressions** quand ces marges se retrouvent dans une zone de **subduction** ou de **collision**. Les failles qui jouaient en **distension** (failles normales listriques) peuvent alors rejouer en **failles inverses** du fait de la compression.
 + On trouve alors avec les **failles inverses**, des **plis** et des **chevauchements** qui peuvent créer des **structures infranchissables** et constituer ainsi des **roches couvertures** pour des **raisons tectoniques**.



Conclusion : les gisements d'hydrocarbures, un cumul de situations tectoniques rarement réunies

+ La **rareté des hydrocarbures** est due au cumul de conditions peu fréquentes : **dépôts abondants** de matière organique, **absence de dioxygène** lors de leur dépôt, **enfouissement profond et rapide**, profondeurs suffisantes pour atteindre les 90° et permettre la dégradation thermique et enfin, une **structure** (pli, faille...) et/ou une **formation imperméable** (argiles, halites...) pour **piéger les hydrocarbures** en profondeur. Donc une **tectonique d'abord extensive** (marges passives) qui devient ensuite une **tectonique compressives** (subduction, collision).

+ 75 % des réserves mondiales actuelles se sont formées dans l'ancien domaine de l'**océan Téthys**. Cet océan s'est ouvert (= phase extensive) suite au début du **morcellement de la Pangée de 250 Ma à 65 Ma** (= ère II ou **Mésozoïque**) . Sa **position géographique** par rapport à l'équateur (températures favorisant la **productivité**

primaire brute) et sa **situation géologique** (**marges passives** et leur activité conduisant à une **subsidence**) ont permis la formation d'hydrocarbures abondants. Puis cette Téthys **s'est fermée de 65 ma à aujourd'hui** (ère III et IV ou **Cénozoïque**) créant une tectonique compressive propice au piégeage des gisements pétroliers. **C'est donc un cumul d'événements rares lié à la tectonique des plaques qui rend compte de l'existence actuelle de gisements pétroliers.**

