

# **Académies des Antilles et Guyane et AEFE**

Durée de l'épreuve : 4h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

La calculatrice est autorisée.

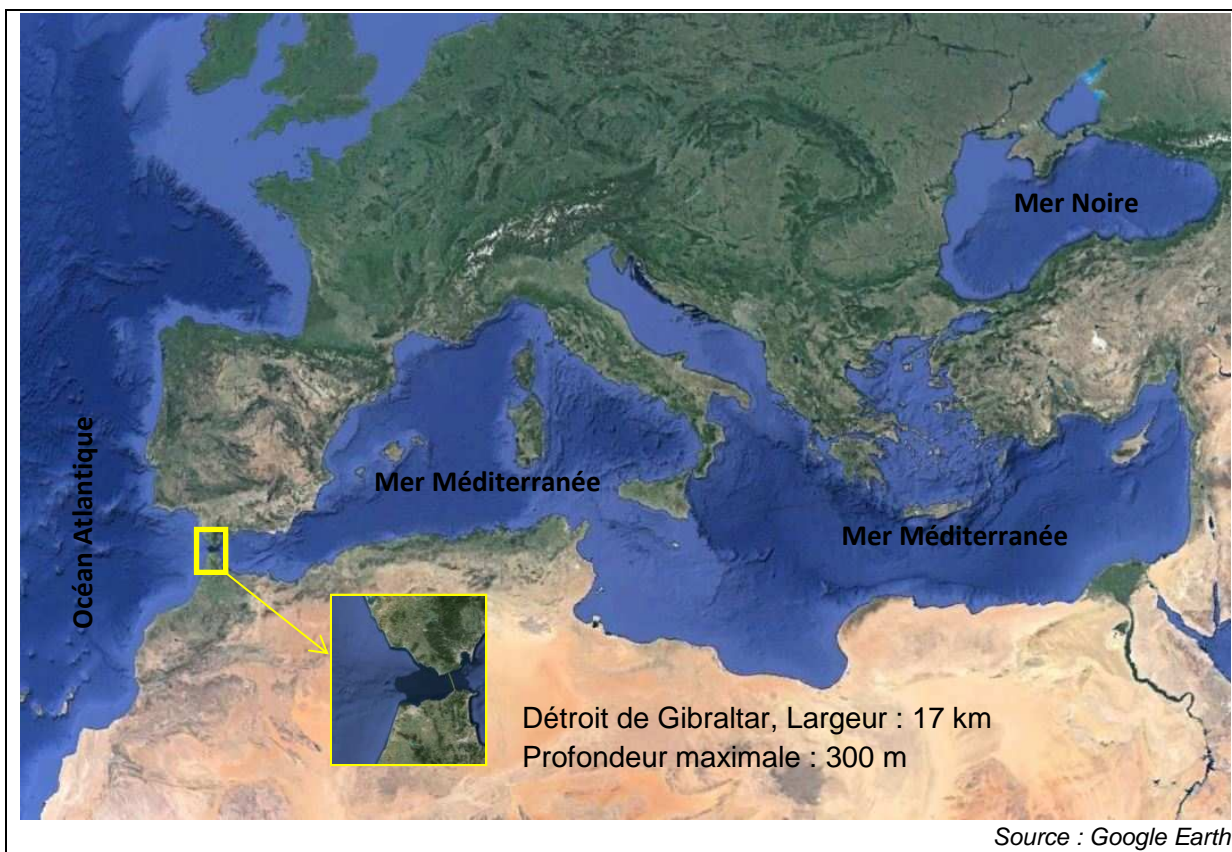
## Exercice 1 : La Méditerranée, un désert de sels il y a 5,5 millions années ?

La mer Méditerranée a une superficie de  $2,5 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  et un volume de  $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ . Il y a 5 millions d'années pendant la période géologique appelée Messinien, cette mer se serait en grande partie asséchée. Contre une vue d'artiste du bassin méditerranéen tel qu'il devait se présenter il y a 5 Millions d'années (Source : <http://www.univ-provence.fr>) (En bleu : lacs salés, en blanc dépôts de sel)



**A partir de l'ensemble des documents montrer qu'il existe des arguments permettant de dire qu'au Messinien une grande partie de la mer Méditerranée s'est asséchée et proposer au moins une hypothèse quant à l'origine de cet assèchement.**

### Document 1 : le bassin méditerranéen



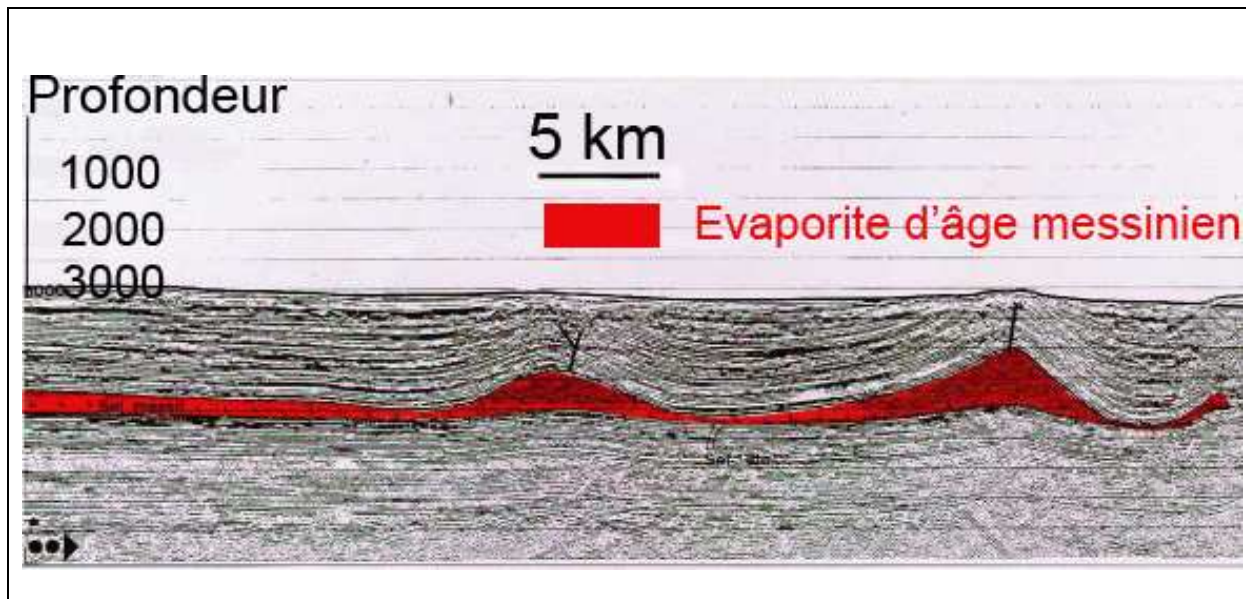
### Document 2 : estimation du bilan hydrologique actuel de la mer Méditerranée

Apports d'eau en Méditerranée		Pertes d'eau en méditerranée	
Pluie	$28\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		
Apports des fleuves	$16\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		
Apport de la mer Noire	$6\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		
Somme des apports	$50\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Evaporation	$95\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Différence attribuable à l'apport net de l'océan Atlantique :  $45\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

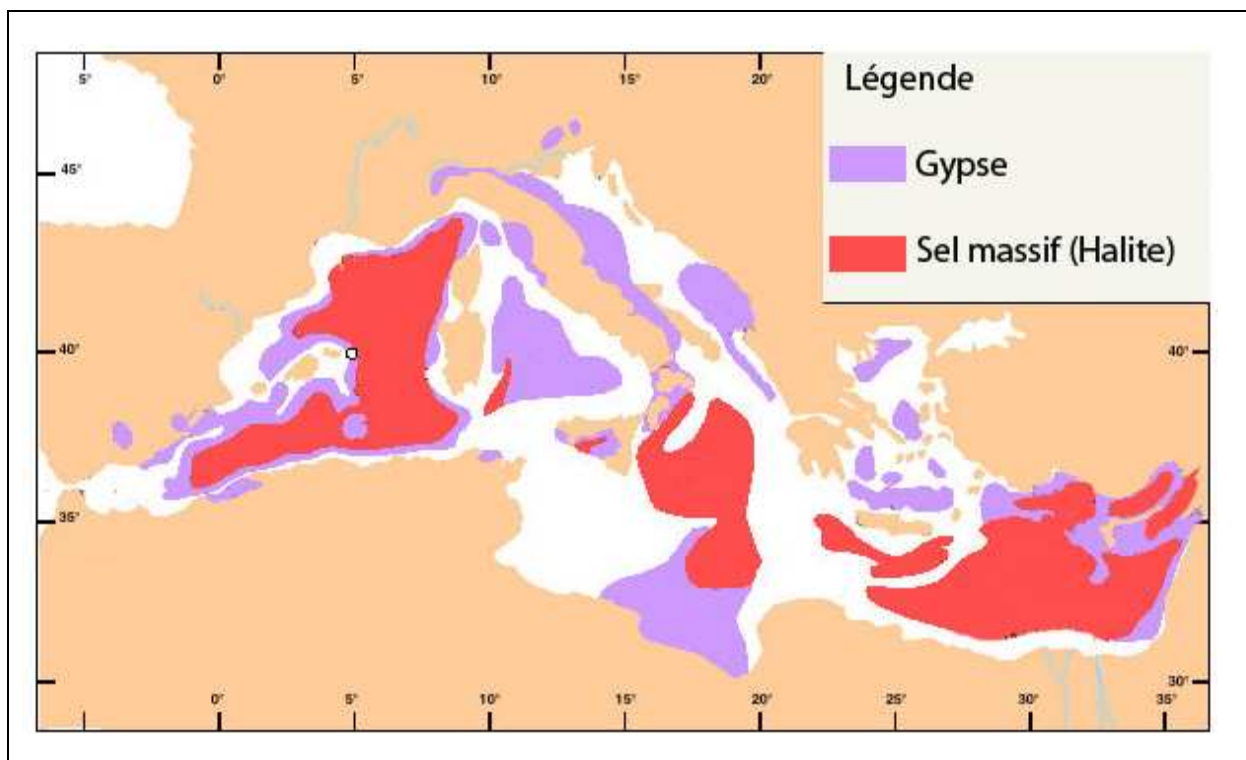
Sources : le bilan hydrologique de la mer Noire et de la mer Méditerranée J. TIXERONT

**Document 3 : profil sismique montrant la superposition des couches sédimentaires situées sous le fond de la Méditerranée occidentale**



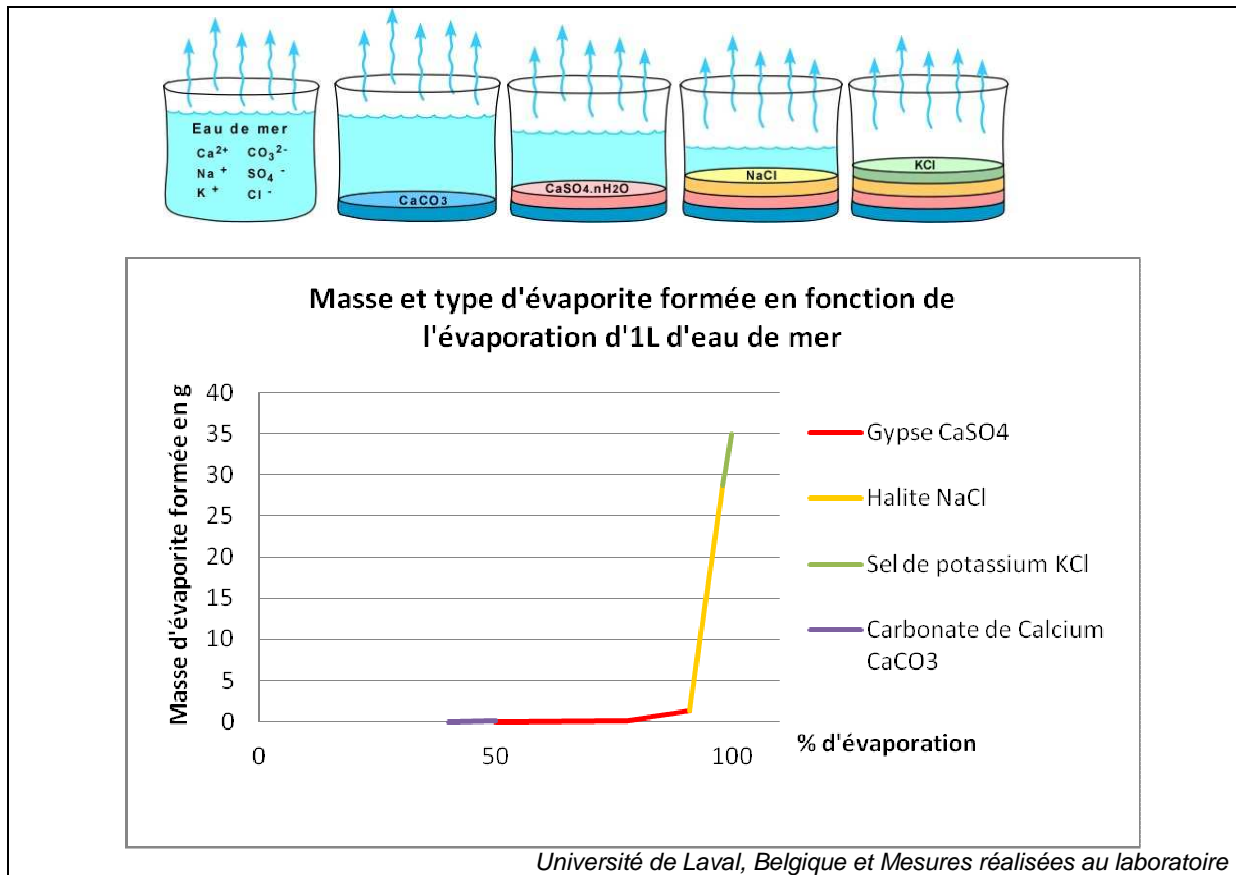
*D'après : laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.*

**Document 4 : localisation des roches évaporitiques d'âge Messinien en Méditerranée**

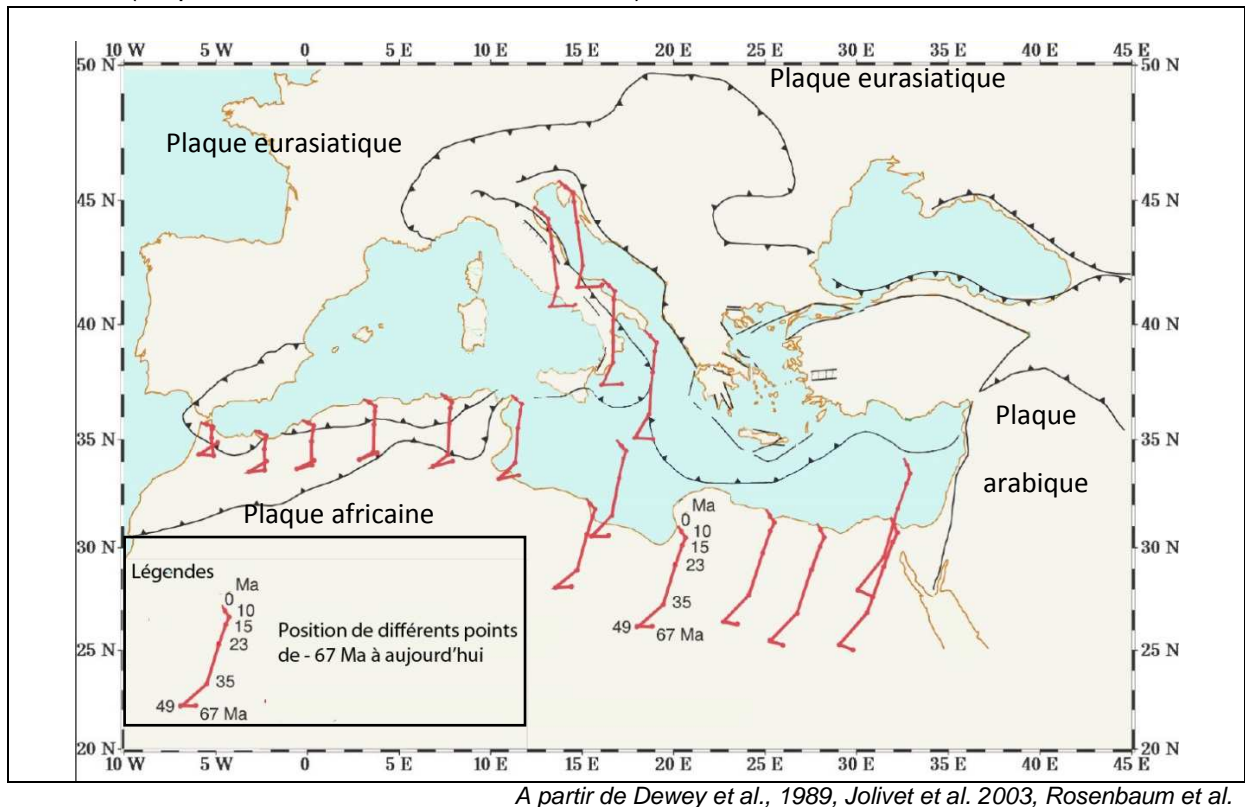


*Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. D'après JM ROUCHY*

**Document 5 : formation des évaporites lors de l'évaporation de l'eau de mer**



**Document 6 : limite des plaques lithosphériques en Méditerranée et mouvements relatifs (en prenant l'Eurasie comme référence)**





## Exercice 2 : Des réserves titanesques de gaz naturel extraterrestre ?

Le gaz naturel, en particulier le méthane ( $\text{CH}_4$ ), est la troisième source d'énergie la plus utilisée dans le monde après le pétrole et le charbon. On estime les réserves de gaz naturel sur Terre à environ  $4.10^{13}$  kg. Dans un contexte de crise énergétique croissante, les sources énergétiques fossiles extraterrestres pourraient assurer une alimentation en énergie pour les siècles à venir. Sur Titan, satellite de glace de Saturne découvert en 1655 par l'astronome hollandais Huygens, la sonde américaine Cassini-Huygens a découvert d'importantes réserves d'hydrocarbures.

**Question : en tant que géologue confirmé dans le domaine des énergies fossiles, vous êtes sollicité pour rédiger un article scientifique synthétique (maximum 2 pages) destiné à la presse non spécialisée. Cet article devra décrire les ressources potentielles en méthane de Titan (localisation, estimation des ressources exploitables en calculant la masse de méthane contenu dans l'ensemble des lacs) et expliquer leur origine.**

**Votre argumentation sera appuyée par un schéma illustrant le cycle du méthane à la surface du satellite.**

### Document 1 : comparaison de quelques paramètres entre la Terre et Titan

*Données compilées à partir du site internet de la NASA*

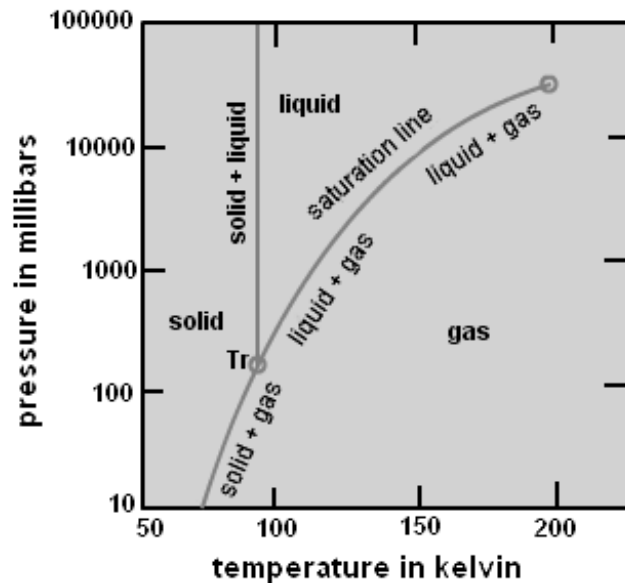
	La Terre	Titan
<b>Masse</b>	$6.10^{24}$ kg	$1,3.10^{23}$ kg
<b>Rayon</b>	6280 km	2580 km
<b>Distance au Soleil (en ua)</b>	1 ua	9,5 ua
<b>Température moyenne de surface en Kelvin</b>	290 K	95 K à 125 K
<b>Pression de surface</b>	1 bar	1,5 bar
<b>Composition atmosphérique (les 2 principaux gaz)</b>	$\text{N}_2$ : 78,1 % $\text{O}_2$ : 20,9 %	$\text{N}_2$ : 95 % $\text{CH}_4$ : 5 %

ua = unité astronomique ; c'est une unité utilisée pour mesurer les distances entre les objets du Système solaire. Elle est historiquement basée sur la distance entre la Terre et le Soleil.  
K = le Kelvin est une unité de température décalée de -273,15 par rapport aux degrés Celsius (0 K = -273,15°C).

## Document 2 : diagramme de phase du méthane

Le diagramme de phase représente graphiquement les différents états physique, ou phases, du méthane en fonction des conditions de température (en Kelvin) et de pression (en millibars).

Le point Tr, ou point triple, correspond aux conditions auxquelles les trois phases coexistent.

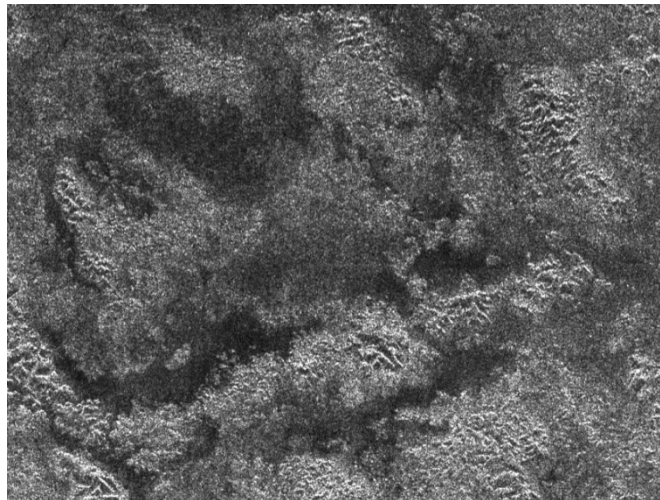


## Document 3 : images satellitales

### Document 3a : image satellitale de la surface de Titan

Image radar de la région de Xanadu (au nord de Titan) prise par la sonde Cassini - Huygens (NASA, avril 2006). Dimension de l'image : environ 200 km par 150 km

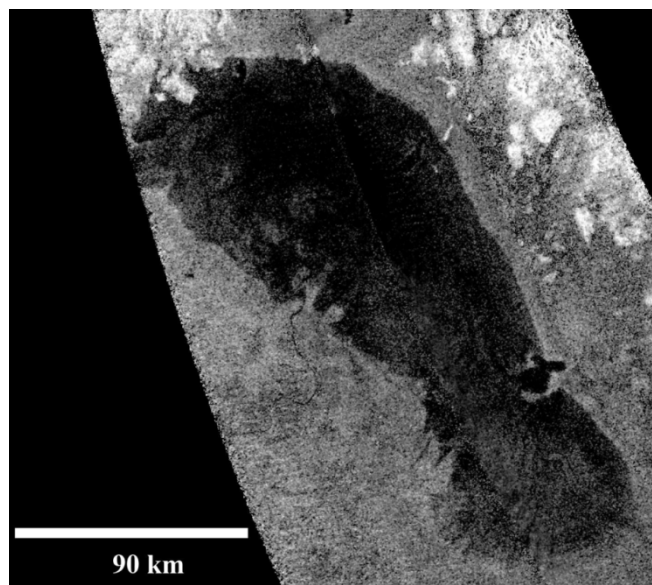
On peut y observer la présence de chaînes de montagnes qui apparaissent de couleur claire et de structures plus sombres, sans relief apparent, contenant des liquides, qui sont des lacs



### Document 3b : image satellitale du lac Ontario Lacus

Zoom sur le lac Ontario Lacus par la sonde Cassini-Huygens (NASA, janvier 2010).

Ce lac serait composé de méthane liquide (de densité 0,4) et possède une profondeur moyenne de 10 m et une superficie de 20 000 km<sup>2</sup>. Une centaine de lacs de cette capacité ont été mis en évidence à ce jour sur Titan et forment une réserve importante de méthane.



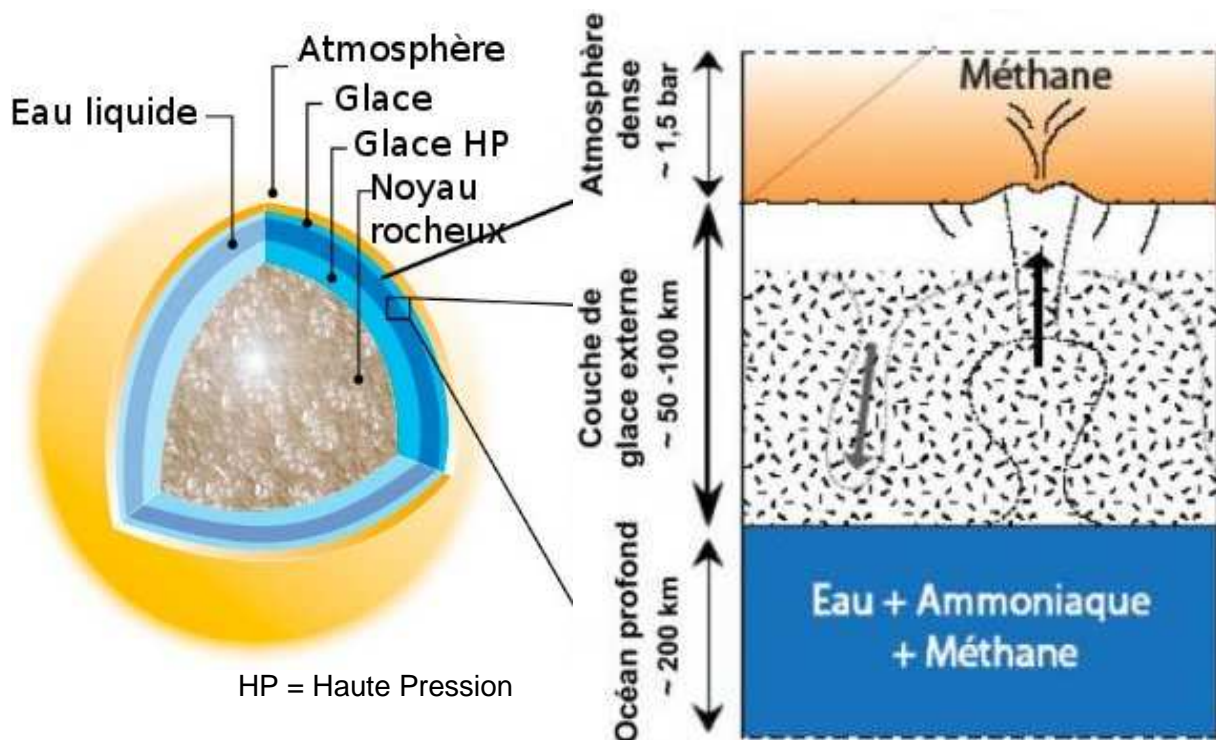
#### Document 4 : formation des hydrocarbures à la surface de Titan

Le méthane, dans la partie basse de l'atmosphère de Titan, peut s'évaporer, se condenser et précipiter à la surface (cycle du méthane).

Les molécules de méthane ont tendance à s'élever dans partie haute de l'atmosphère où elles sont soumises au rayonnement solaire. Ceci a pour effet de les transformer en molécules organiques plus complexes (hydrocarbures lourds), et donc plus lourdes, qui retombent à la surface du satellite. Étant donné les conditions de température et de pression à la surface de Titan, aucune réaction physique ou chimique ne permet de retransformer ces hydrocarbures en méthane. Le rayonnement solaire aurait dû avoir converti l'intégralité du méthane de l'atmosphère en hydrocarbures lourds en 50 millions d'années et par conséquent la quantité actuelle de méthane dans l'atmosphère de Titan devrait être presque nulle.

*Données compilées à partir de données du CNRS et de la NASA.*

#### Document 5 : structure et activité interne de Titan



La surface de Titan est modelée par une activité volcanique particulière : le cryovolcanisme, ou volcanisme « froid ». Le sous-sol du satellite est, au-delà d'une certaine profondeur, constitué de glaces d'eau emprisonnant du méthane sous forme d'une sorte de neige appelée clathrate, ou hydrates de méthane. Ce sont des structures constituées de molécules d'eau formant des cages au sein desquelles une molécule de méthane peut être piégée. Le satellite possédant une dynamique interne active, ce mélange remonterait de temps à autre vers la surface. La conséquence en serait une brusque libération du méthane dans l'atmosphère à partir d'une glace d'eau commençant à fondre. Projetée ou s'écoulant à proximité des « cratères », l'eau se solidifierait alors sous l'effet du froid extrême, donnant une glace poreuse qui recouvrirait de larges régions du satellite.

*Données du LPGN. NASA / VIMS Team. University of Tucson*



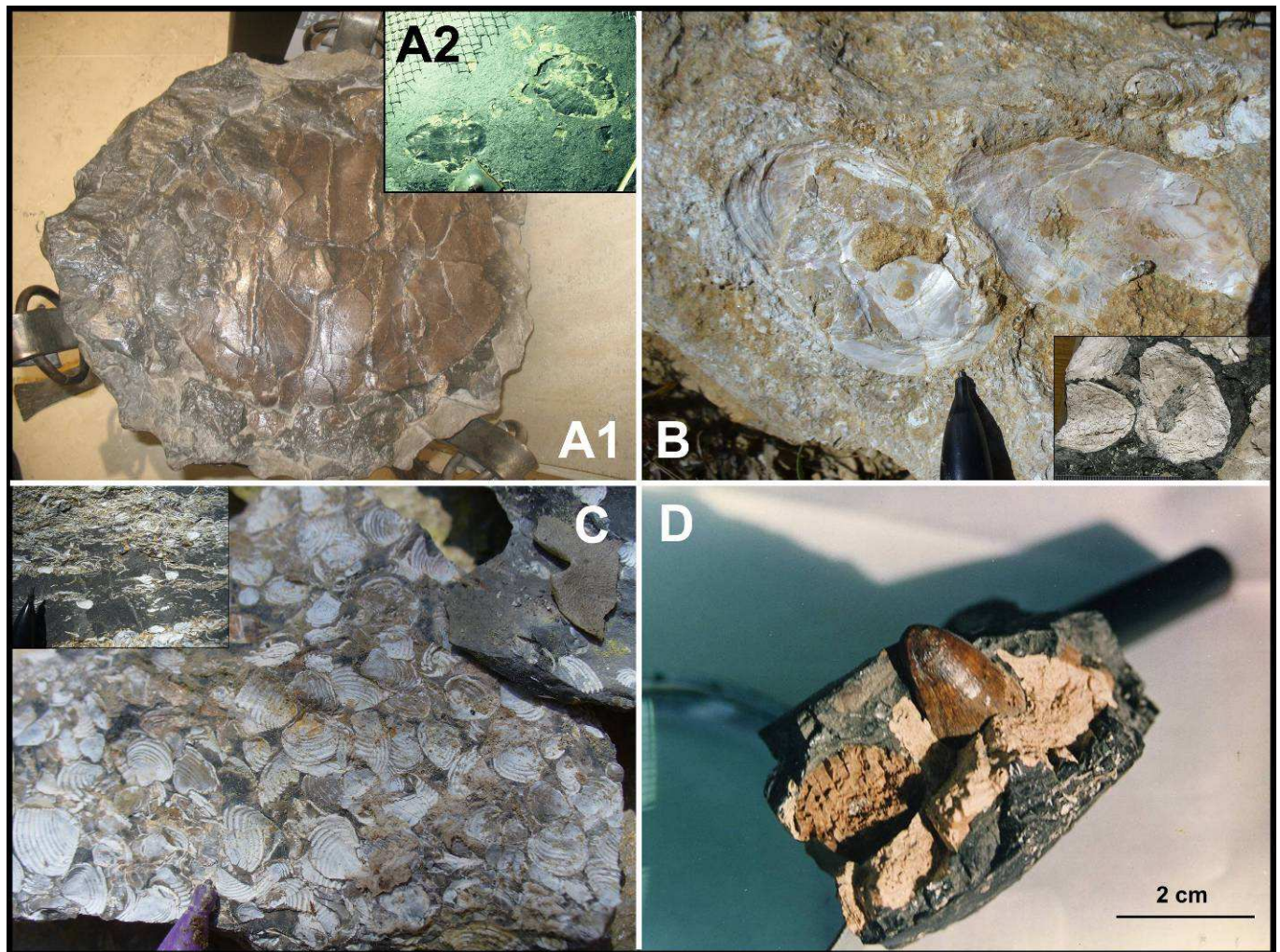
## Exercice 3 : LE BASSIN DE L'ARC

### une mine d'énergie fossile dans le Sud-Est de la France

Le bassin minier de l'Arc se situe entre Marseille et Aix-en-Provence dans le Sud-est de la France. On y a exploité du XVI<sup>ème</sup> siècle jusqu'en 2003, une roche carbonée. Au XX<sup>ème</sup> siècle, la combustion de cette roche dans la centrale thermique de Gardanne (principale commune du bassin minier) produisait l'énergie nécessaire au traitement de la bauxite (minerai d'aluminium) dont l'exploitation dans les Bouches du Rhône et le Var a cessé dans les années 1990.

#### I. Géologie du bassin de l'Arc

**Document 1** : fossiles d'animaux récoltés dans les calcaires et le charbon du Bassin de l'Arc



- A. Carapaces de tortues (*Polysternum provincialae* – *Portis 1882*) : A1-spécimen en mairie de Gardanne (cliché J.-C. Lazarewicz) ; A2- carapaces en place dans la mine (cliché R. Monteau),  
B. Unio (lamellibranche d'eau douce ; estuaires, lacs – cliché N.Romeuf),  
C. Corbicules (lamellibranches d'eau douce - cliché N.Romeuf),  
D. Dent de crocodile (*Crocodilus affuvelens*-*Matheron 1869*) dans un morceau de charbon (cliché R. Monteau).

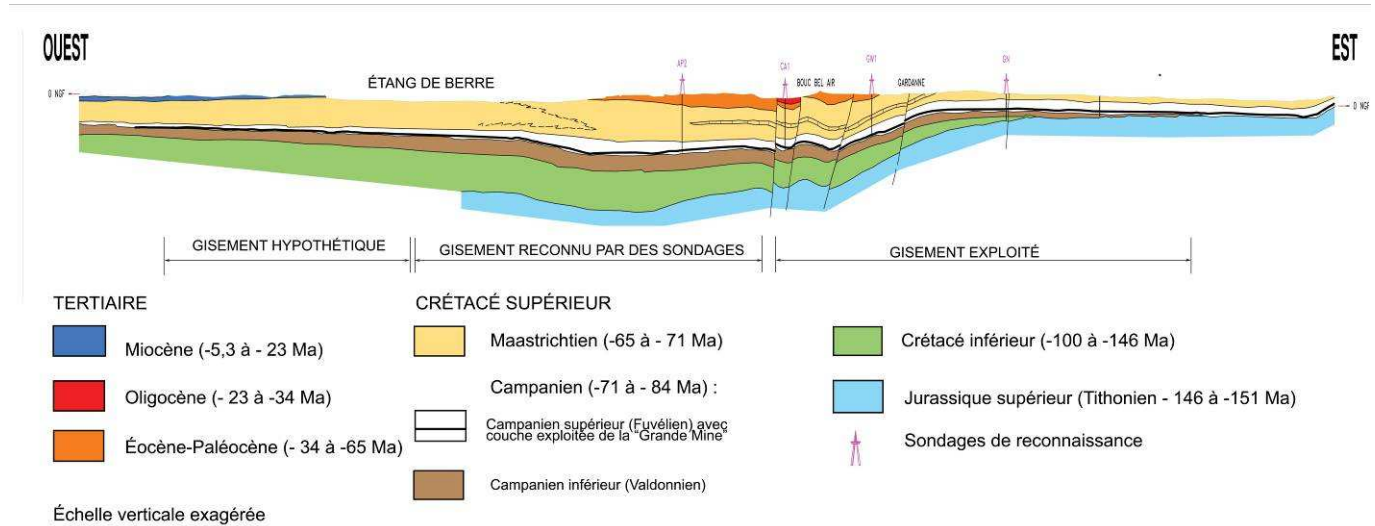


**Document 2 : flore fossile**

Les roches du bassin de l'Arc ont également livré une flore fossile abondante :

- Plancton végétal et algues d'eau douce,
- Fragments de plantes à fleurs lacustres (lotus, nymphéas),
- Microflore fossile composée de spores de fougères et de grains de pollen provenant de pin, épicéa, cyprès, palmiers, séquoias, roseaux.

**Document 3 :** coupe géologique simplifiée du Bassin de l'Arc (document HBCM)



**II. Le type de charbon du bassin de l'Arc**

Les charbons sont des roches riches en carbone. Ils proviennent de l'enfouissement de matière organique à l'abri de l'air et de sa transformation sous l'effet de l'augmentation des conditions de température et de pression.

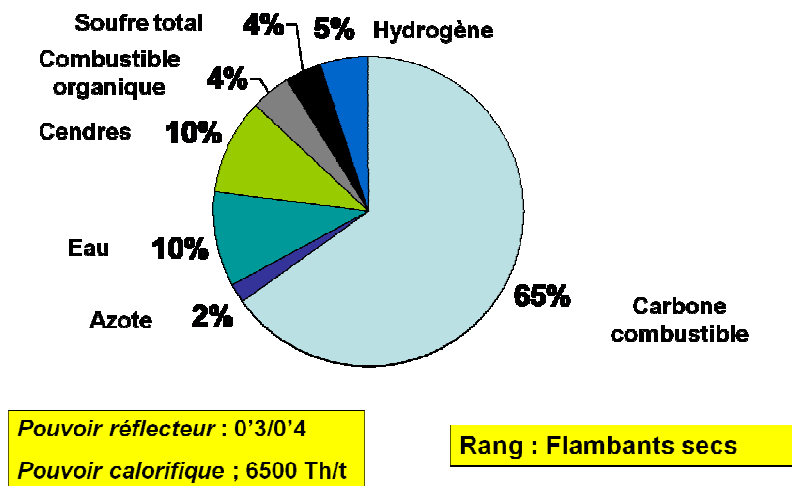
**Document 4 :** principales caractéristiques des roches carbonées utilisées comme combustibles. (Document R. Monteau) ( $R_0$  = pouvoir réflecteur)

Rang	C (%)	Matières volatiles (%)	Eau (%)	Pouvoir calorifique (kcal/kg)	$R_0$ (%)
Tourbe	60		75		0,25
Lignite		53	35	4000	0,30
Houille	77	42	10	7000	0,50
Anthracite	91	8		8650	2,50
Graphite	100	0	0		11,00

Enfouissement ↓

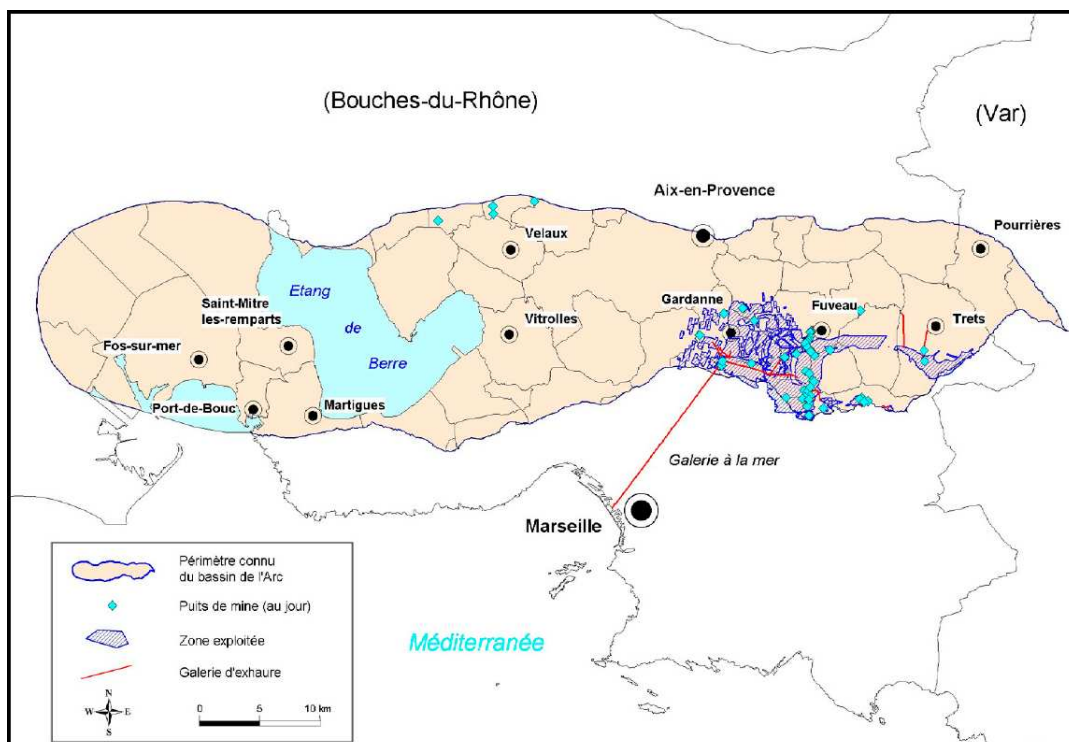
augmentation de la pression et de la température ↓

**Document 5** : analyse élémentaire du charbon du bassin de l'Arc (Document R. Monteau)



**III. Évolution de l'exploitation de charbon dans le Bassin de l'Arc**

**Document 6** : extension et exploitation ancienne du gisement de charbon du bassin minier de l'Arc. (Document R. Monteau) Les limites tracées dans le périmètre du bassin correspondent aux limites des communes



Les premières mentions d'exploitation de charbon dans le bassin de l'Arc remontent au XVI<sup>ème</sup> siècle. Ces exploitations se trouvaient à l'Est du bassin. Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les exploitations étaient plutôt concentrées entre Trets et Fuveau. Le dernier puits exploité se trouvait plus à l'Ouest, près de la ville de Gardanne (puits Yvon Morandat).

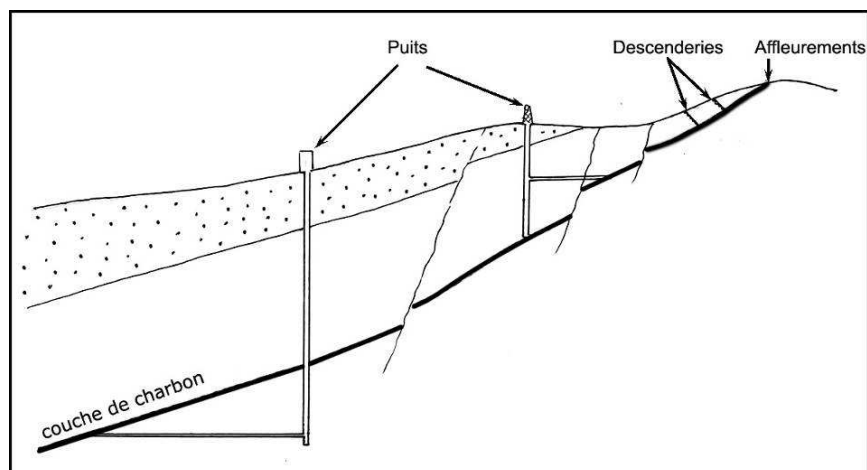
Au cours du temps, les méthodes d'exploitation du charbon du bassin de l'Arc ont évolué avec les avancées techniques et l'accroissement de la demande.

Les premières extractions se faisaient par des **grattages de surface des affleurements** le « charbon de pierre » se substituant au « charbon de bois » pour des utilisations domestiques et artisanales locales (poteries, tuileries, fabrication de plâtre,...).

Jusque dans les années 1830, l'exploitation du charbon se faisait presque exclusivement au moyen de galeries inclinées à 45° (les **descenderies**) permettant d'atteindre des couches proches de la surface.

Avec l'épuisement des ressources et l'augmentation des besoins énergétiques, des campagnes de prospection ont été engagées pour déterminer l'extension du gisement. La découverte de charbon en profondeur a justifié que des puits profonds soient forés pour l'extraction du combustible situé au cœur du bassin. Le **puits** Yvon Morandat foré en 1980 a atteint la profondeur de 1.109 mètres.

**Document 7** : les différents moyens d'accès mis en œuvre pour l'extraction du charbon dans le bassin de l'Arc.



**Document 8** : estimation des ressources de charbon dans le bassin minier de l'Arc.

Extrait du rapport public BRGM/RP-53703, Etat des connaissances géologiques - Bassin de l'Arc - Gonzales G., Janvier 2005.

Mt = millions de tonnes

*[... Des différentes couches de charbon du Fuvélien, 140 millions de tonnes ont été extraits dans le bassin de l'Arc.*

*A l'ouest des travaux actuels, la première campagne de sondages a découvert 47 Mt de réserves exploitables dans le cadre des infrastructures actuelles et 25,5 millions de tonnes de ressources identifiées situées à la périphérie des précédentes.*

*La deuxième campagne a montré au Sud de Ventabren et de Coudoux sous le plateau d'Arbois, 62 Mt de réserves identifiées à moins de 1050 m de profondeur (ou 85 Mt à moins de 1200 m)*

*Ce gisement a été limité*

*- au sud, à la profondeur de 1050 m de la Grande Mine*



- à l'ouest et au nord ouest, par la dégradation de la qualité du lignite de la Grande Mine

- à l'est et au nord-est, par diminution de l'ouverture de la couche, la valeur minimale retenue étant de 2 m.

Cette zone de 50 km<sup>2</sup> recèle en effet un gisement de 138 Mt de lignite en place (concernant uniquement la Grande Mine). Tous ces chiffres obtenus après prise en compte d'un taux de défrètement du charbon en place d'environ 45%. Dans cette "zone utile" monoclinale de la Grande Mine à une ouverture supérieure à 2 avec une épaisseur cumulée de lignite supérieure à 1,3 mètre.

En tenant compte des couches de charbon, de la Grande Mine jusqu'à la Mine du Gros Rocher, le tonnage de charbon en place peut être doublé....]

**Document 9** : Données sur le prix des ressources fossiles (source : Société Française de Physique, <http://sfp.in2p3.fr>)

**A.** Evolution des prix de vente du charbon entre 1987 et 2000

- Fob = Free On Board, signifie chargé sur bateau port de départ,

- Cif = Charged Insurance and Freight, le prix au port d'arrivée assurance et fret compris,

- RSA = République Sud-Africaine)

**B.** Coût de revient du charbon (à la sortie de la mine) en US\$ /t en 1993

	Prix du charbon US\$/t				
	Charbon vapeur				
	Centrales US	Fob RSA	Fob Australie	Cif Europe	Cif Japon
1987	35,1	25,1	29	41,5	41,5
1988	33,8	27,3	30,5	44,8	42,6
1989	33,2	29,4	36,1	48,7	48,8
1990	33,6	30,5	38,3	51,3	51
1991	33,1	30,2	38	49,7	50,4
1992	32,4	29,5	36,6	47,6	48,5
1993	31,5	25,4	33,5	40,8	45,9
1994	30,9	23,9	32,7	40	43,9
1995	29,8	29,2	35	46,2	47,9
1996	29,2	30,6	37,8	45	49,3
1997	28,8	31,5	34,4	43,8	45,3
1998	28,3	26,1	30,1	39,3	40,7
1999	27,5	22,8	26,5	34,3	35,9
2000		25,1	24,3	34,9	34,6

A

B

Prix de revient du charbon en US\$/t	
Tchéquie	23
Pologne	25
Roumanie	42
Grande Bretagne	54
France	88
Allemagne	121
Espagne	236

## Questions

1. A l'aide des documents, identifier la nature des roches contenant les roches carbonées présentes dans le bassin. Justifier la réponse. Donner les âges de ces roches.
2. Indiquer dans quel milieu de dépôt se sont accumulés la matière organique et les sédiments qui ont donné naissance aux roches du bassin minier de l'Arc. Justifier la réponse.
3. A l'aide des documents, indiquer à quelle catégorie de roche carbonée, le charbon du bassin de l'Arc appartient. Argumenter la réponse. Dire pendant quel intervalle de temps géologique le bassin de l'Arc et le charbon qui s'y formait ont fonctionné comme un « puits de carbone ». Donner l'âge en millions d'années de cette époque.
4. A l'aide des documents concernant la répartition des exploitations et l'évolution des méthodes au cours du temps.

- Montrer les relations existant entre la structure géologique du bassin et la mise en œuvre des différentes techniques d'exploitation.
- Expliquer les relations existant entre l'évolution des méthodes d'extraction et les changements de localisation des concessions de charbon au cours du temps.
- Dire quelles sont les méthodes d'extraction du charbon les mieux adaptées sur le territoire des communes suivantes : Pourrières, Trets et Vitrolles. Justifier la réponse.

5. En admettant une production de 10 Mt/an, calculer le temps nécessaire à l'épuisement des réserves de charbon identifiées à moins de 1200 m sous le plateau de l'Arbois. Donner les étapes du calcul.

Justifier le caractère de réserve non renouvelable des charbons en comparant la durée de l'exploitation des réserves et l'âge géologique de ce charbon.

6. Justifier la fermeture des exploitations de charbons dans le bassin de l'Arc en 2003.