SESSION 2012

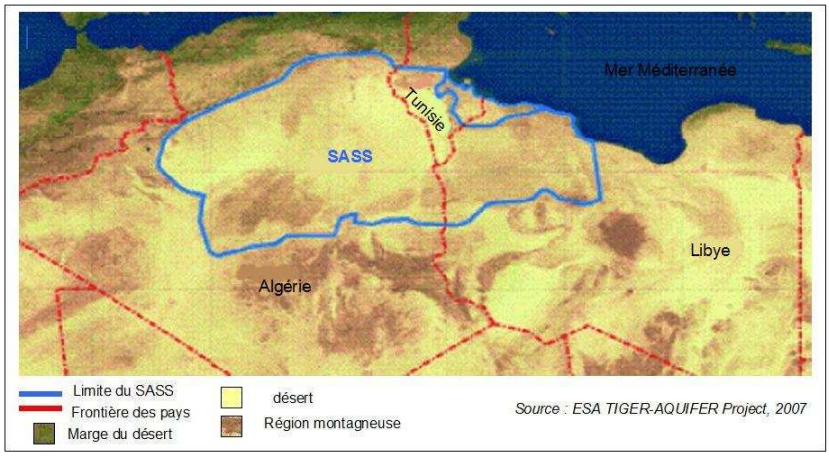
Réunion et AEFE

Durée de l'épreuve : 4h

Le sujet se compose de quatre exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.
Calculatrices autorisées.
La page 3 est à rendre avec la copie

EXERCICE 1 - L'OR BLEU CACHÉ DU DESERT

Le Sahara est une région désertique située dans la partie septentrionale (Nord) de l'Afrique. Il est considéré comme le plus vaste désert chaud du monde, avec une superficie atteignant presque 9 millions de km^2. Le climat y est aride. Il se caractérise par de faibles précipitations et une forte évaporation. Les eaux de surface y sont donc peu abondantes. Néanmoins, il recèle des réserves d'eau souterraines insoupçonnables, cachées depuis des millions d'années. Elles ne connaissent pas les frontières ! C'est le cas du Système Aquifère du Sahara Septentrional appelé SASS. Cette réserve d'eau souterraine recouvre une étendue de plus de 1 million de km^2 dont 60 % se trouvent en Algérie, un peu moins de 10 % en Tunisie et 30 % en Lybie. Ces 3 pays y puisent de l'eau pour leurs besoins domestiques, industriels et agricoles.



L'Algérie, la Tunisie et la Lybie ont décidé de faire appel à votre expertise de géologue pour mieux comprendre le fonctionnement de ce réservoir d'eau souterrain et évaluer les risques éventuels à poursuivre les prélèvements en eau.

Partie 1 : le Système Aquifère du Sahara Septentrional : structure géologique

Document 1a : le Système Aquifère du Sahara Septentrional

On appelle aquifère (du latin « aqua » : eau et « fero » : je porte) toute formation géologique suffisamment poreuse et perméable pour contenir une nappe d'eau souterraine.

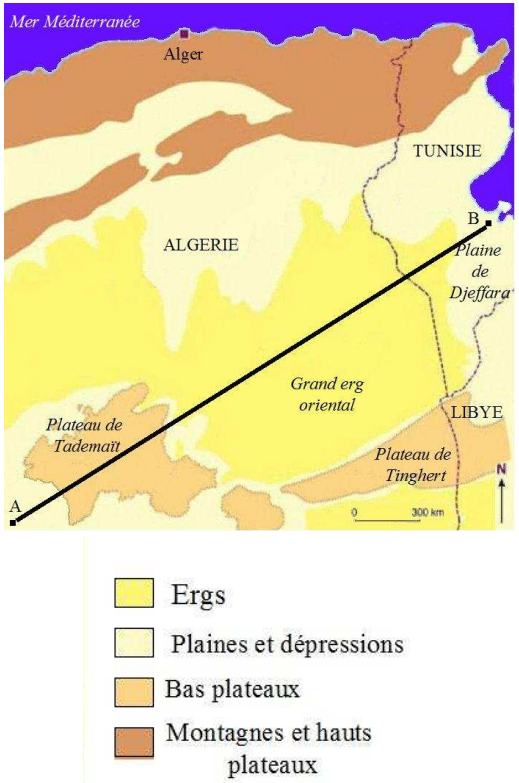
Les formations géologiques renfermant les nappes d'eau souterraine du SASS sont des roches sédimentaires formées entre le Crétacé et le Miocène (soit entre - 130 et - 20 millions d'années).
Le SASS comprend trois aquifères profonds :
- deux aquifères d'eau douce :
  - l'un est appelé Complexe Terminal (CT), il est le plus proche de la surface
  - l'autre est appelé Continental Intercalaire (CI), il est le plus éloigné de la surface.
- un aquifère d'eau salée, situé entre les deux aquifères d'eau douce

Les trois aquifères sont séparés par des roches sédimentaires semi-perméables ou imperméables.

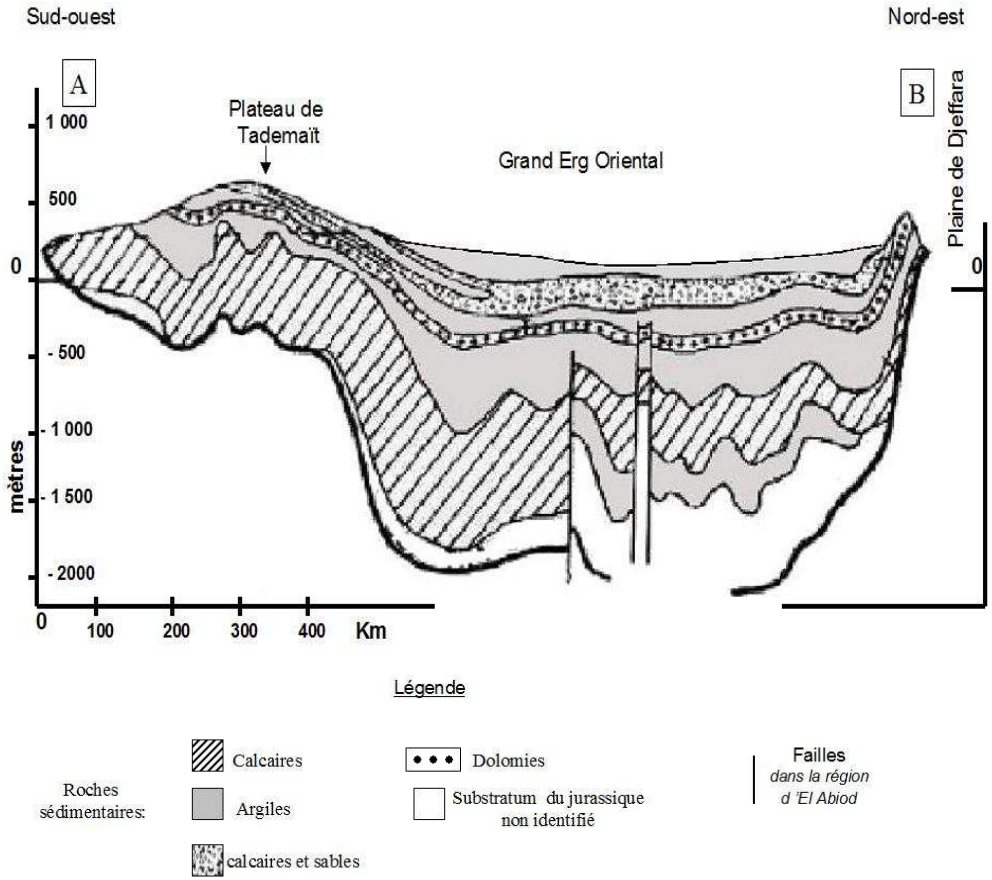
Numéro de candidat :

Page à rendre avec la copie

Document 1b : carte générale du Sahara septentrional



Document 1c : coupe hydrogéologique du SAAS



D'après une représentation simplifiée de la coupe du bassin hydrogéologique du SASS, UNESCO, 1972 et le site http://physiogeo.revues.org/1173

Document 1d : porosité et perméabilité des roches sédimentaires présentes dans le SASS

Roches	Porosité efficace (en $L.m^{-3}$)	Perméabilité ($m.s^{-1}$)
Argiles	10 à 20	1.10^{-7} à 1.10^{-10}
Carbonates (calcaires et dolomies)	10 à 50	1.10^{-3} à 1.10^{-5}
Sables fins	100 à 150	1.10^{-3} à 1.10^{-6}

Extrait du manuel Nathan, seconde, 1997

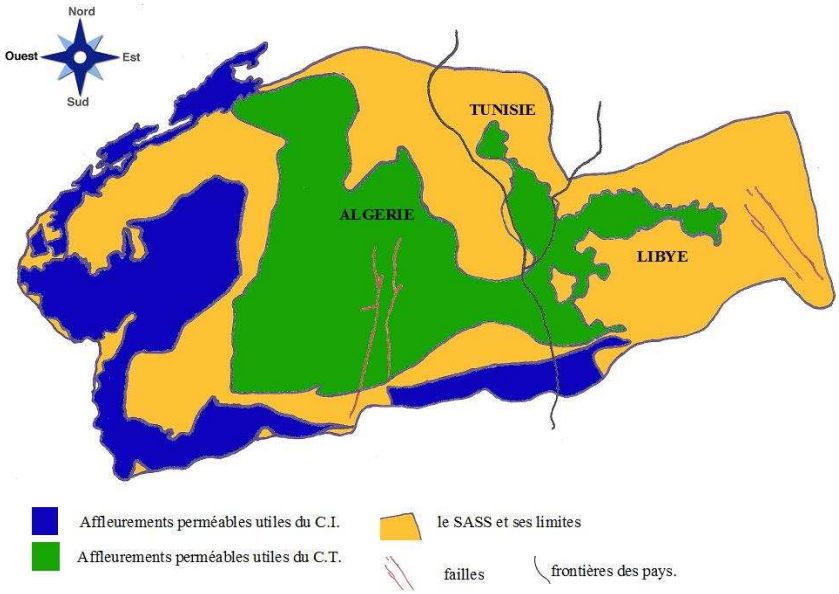
La porosité efficace correspond au volume d'eau contenu dans les espaces vides de la roche et qui peut être mobile.
La perméabilité mesure l'aptitude d'un matériau à se laisser traverser par un liquide.

Une roche sédimentaire poreuse et très perméable où l'eau peut s'accumuler et circuler facilement constituera un bon aquifère. A l'inverse une roche sédimentaire poreuse où l'eau peut difficilement circuler formera une roche semi-perméable voire imperméable.

Partie 2 : renouvellement et exploitation des eaux du SASS

Document 2a : représentation simplifiée des affleurements perméables utiles et renouvellement des aquifères du SASS

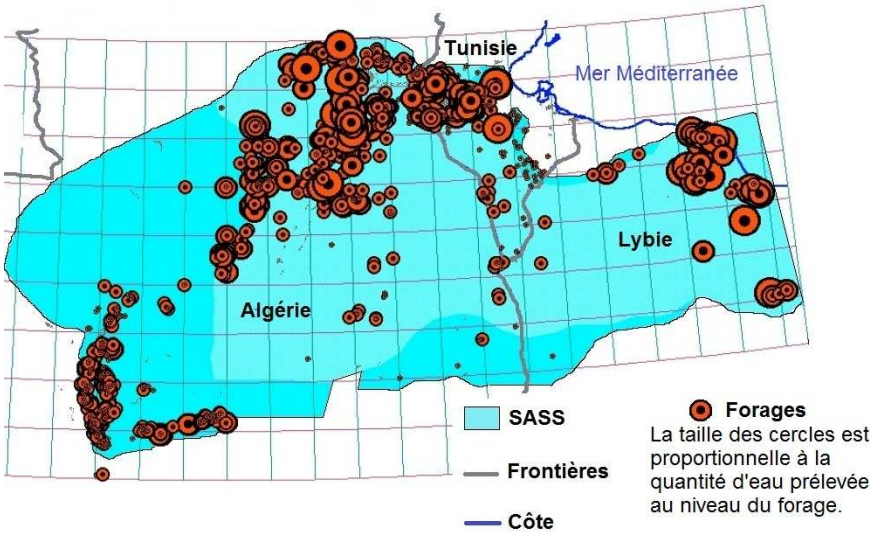
Adapté de http://nwsas.iwlearn.org/publications/projectdocuments/Le%20Systeme%20Aquifere.pdf



La région nord du Sahara reçoit, en moyenne, 62.10^9 m^3 de pluies par an (soit 57 mm/an contre 600 à plus de 1800 mm/an pour la France). Les eaux de pluie s'infiltrent directement dans le sol ou ruissellent.
A certains endroits, les roches perméables des aquifères du SASS arrivent en surface, on dit qu'elles affleurent. De l'eau peut alors s'évaporer de la nappe ou lors des périodes de précipitations s'infiltrer dans la nappe. Lorsque les infiltrations sont supérieures à l'évaporation, la nappe se recharge, se renouvelle et on parle d'affleurement perméable utile.
On estime le volume de recharge du SASS à environ 2% des précipitations.

Document 2b : prélèvements d'eau dans le SASS par forage en 2000

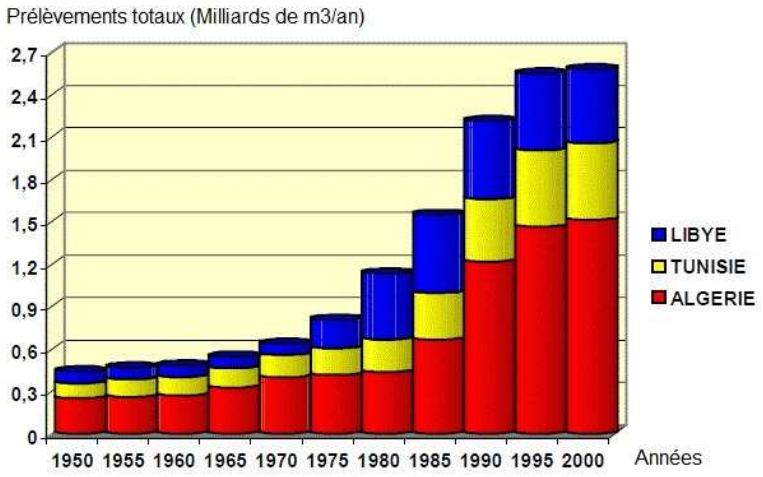
Adapté de http://www.eau-international-france.fr/IMG/pdf/fr_Systeme_aquifere_du_sahara_septentrional.pdf



Des puits ont été creusés dans les aquifères du SASS pour en exploiter l'eau.

Document 3 : évolution des prélèvements totaux dans le SASS en milliards de m^3/an

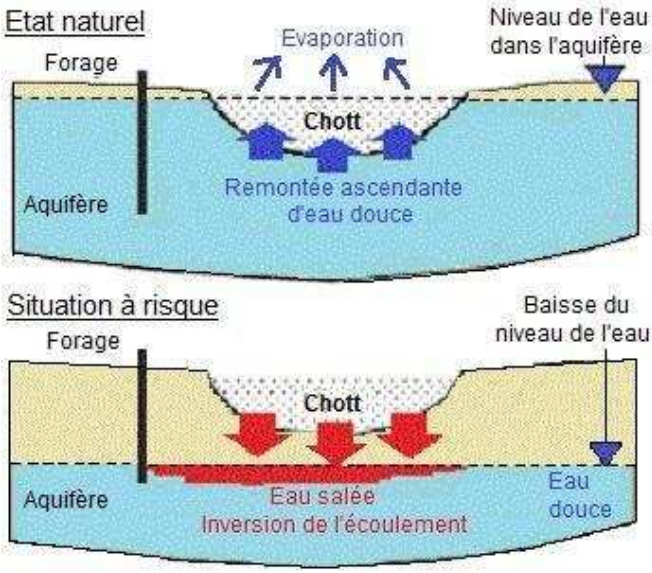
D'après http://www.eau-international-france.fr/IMG/pdf/fr_Systeme_aquifere_du_sahara_septentrional.pdf



Partie 3 : les risques liés à l'exploitation des eaux du SASS

Document 4a: mécanisme de salinisation d'un aquifère en zone de chotts

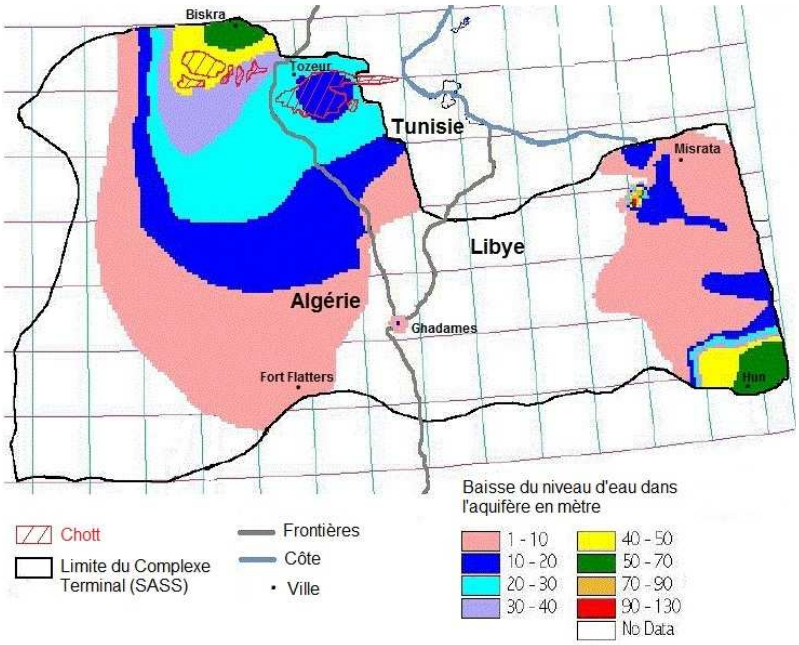
Adapté de OSS, 2004



Dans les zones arides, où l'évaporation est très forte, il arrive que les eaux souterraines s'écoulent vers des bassins par remontée ascendante le long de grandes failles. L'évaporation y crée à la longue de vastes étendues de croûtes salines, appelées chotts. Ils peuvent se remplir en parallèle, grâce aux eaux de surface, et devenir de véritables lacs salés temporaires.
A proximité des chotts Algéro-Tunisien, des forages ont été réalisés pour capter l'eau douce. Si le niveau de l'eau dans la nappe du Complexe Terminal était amené à baisser de plus de 20 mètres, cela mettrait cet aquifère dans une situation à risque.

Document 4b : évolution possible du niveau d'eau dans le Complexe Terminal à l'horizon de 2050

Adapté de http://nwsas.iwlearn.org/publications/projectdocuments/Simulations%20%20Exploratoires.pdf

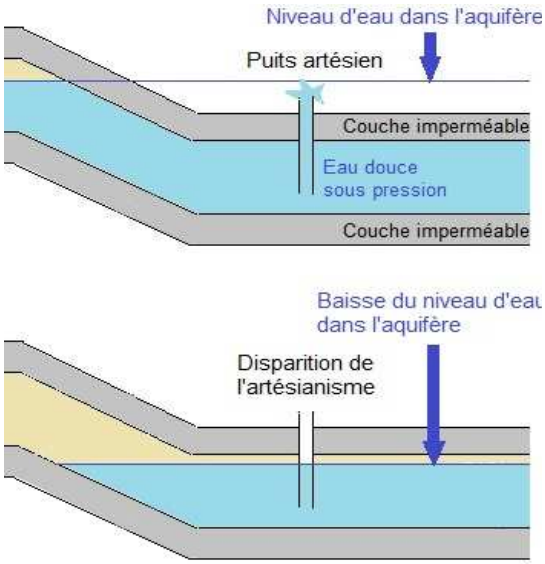


Les scientifiques ont élaboré une carte indiquant quelle serait l'évolution du niveau de l'eau dans la nappe du Complexe Terminal en 2050 si les prélèvements en eau dans cette nappe restaient constants entre 2000 et 2050 (soit $2{,}5.10^9$ m^3/an d'eau prélevés par les 3 pays).

Document 4c : l'artésianisme

L'exploitation des eaux du SASS est fondée sur le principe de l'artésianisme : l'eau dans l'aquifère est sous pression, la construction d'un puits à une profondeur appréciable entraine une dépressurisation et donc une expulsion de l'eau en surface. L'eau jaillissant spontanément d'un puits artésien, les coûts énergétiques et financiers sont beaucoup moins importants que lorsqu'il faut pomper l'eau dans un puits classique.

Lorsque le niveau d'eau diminue, la pression diminue, l'eau remonte donc moins, voire plus du tout, c'est l'arrêt de l'artésianisme. Une diminution du niveau d'eau de plus de 30 mètres dans l'aquifère du Complexe Terminal mettrait fin à l'artésianisme en Tunisie et en Algérie et réduirait celui de la Lybie.



Questions :

1. **D'après les données des documents 1a, 1c et 1d, colorier sur la représentation simplifiée de la coupe hydrologique du SASS les deux formations sédimentaires contenant de l'eau douce exploitée par l'Homme. Document à rendre avec la copie.**

2. **D'après le document 2a, déterminer les zones où les aquifères sont le plus rechargés en eau et préciser la quantité d'eau qui les atteint.**

3. **A partir des documents 2a et 2b, déterminer si les zones de prélèvements par forage des eaux du SASS correspondent ou non aux zones de rechargement des nappes.**

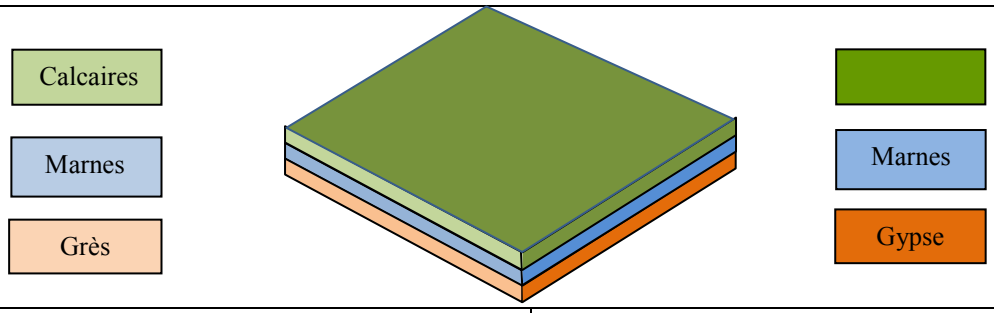
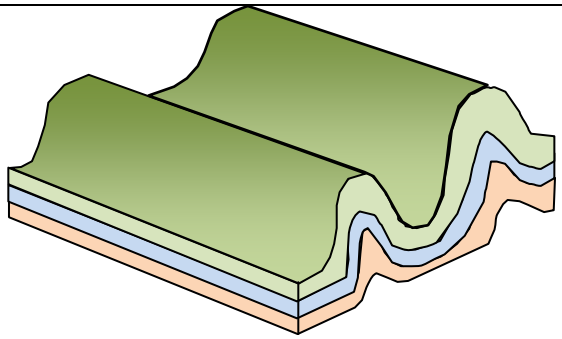
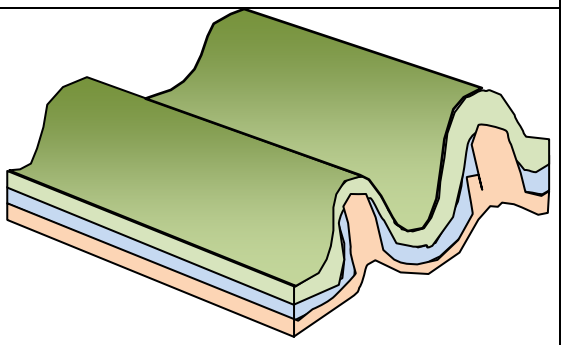
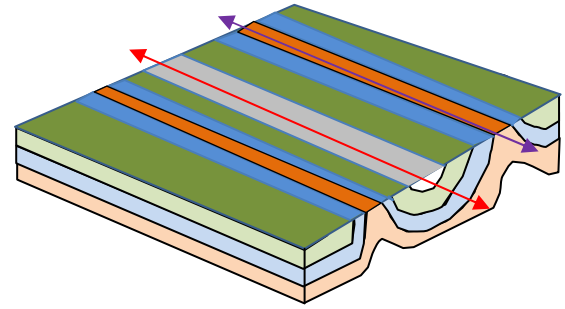
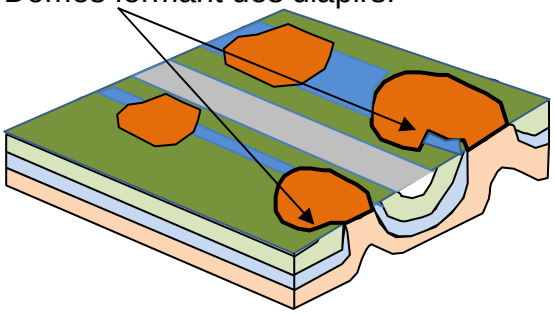
4. **A partir de l'analyse du document 3 et de la réponse à la question 2, déterminer entre quelles dates les prélèvements totaux dans les aquifères du SASS ont dépassé les apports en eau par les précipitations.**

5. **A partir des documents 4a, 4b et 4c, identifier les conséquences sur le SASS d'ici 2050 si les prélèvements en eau se poursuivent au rythme actuel.**

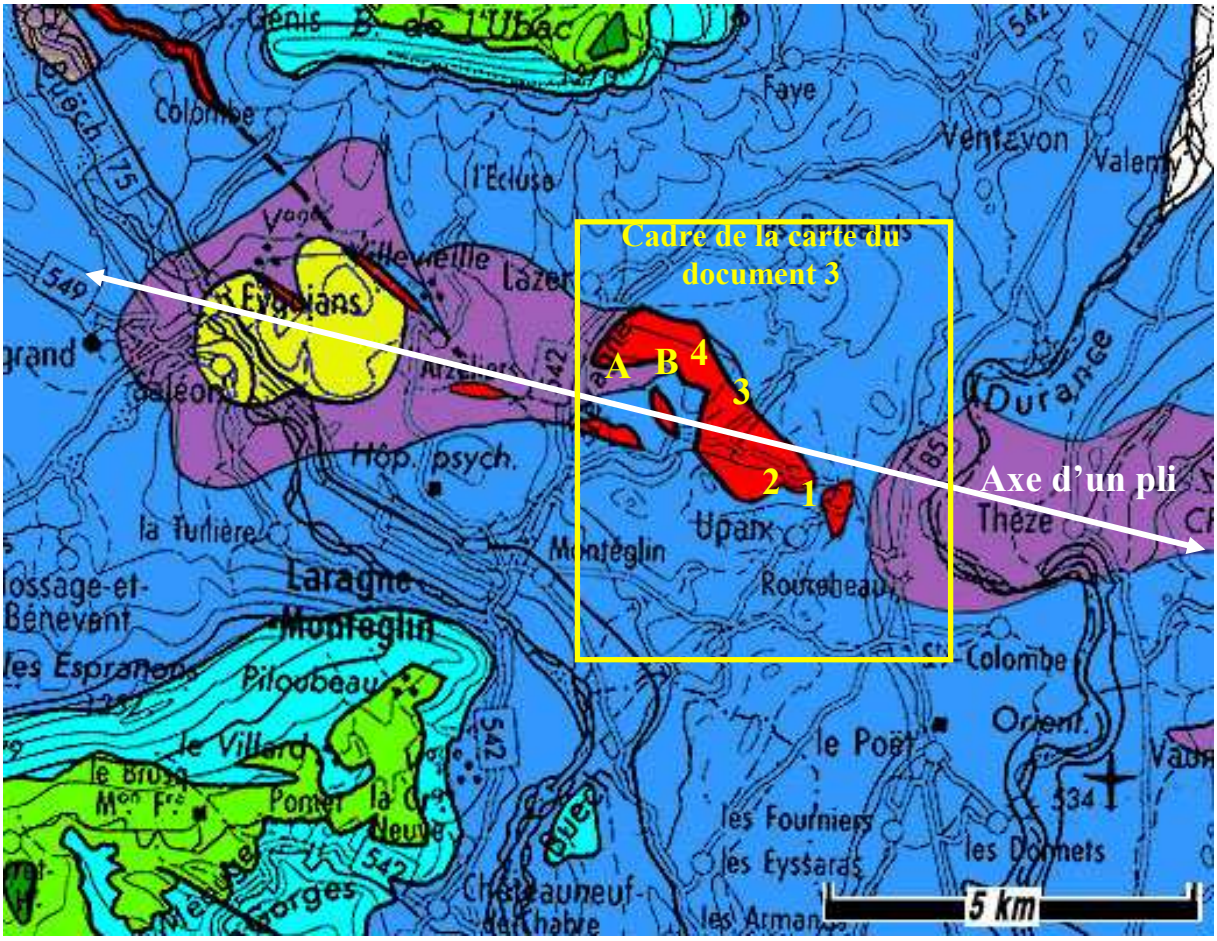
EXERCICE 2 - Rayon plâtre à LAZER…

Le gypse est exploité pour la fabrication du plâtre. Il est extrait à LAZER, dans les Hautes-Alpes, depuis le XIVe siècle. Si les premières exploitations se sont faites à petites échelles, depuis 1985 le site a connu un essor important. On se propose dans ce sujet d'envisager quelques aspects de ce gisement.

Document 1 : modèle de mise en place de plis et de diapirs.

Situation initiale		
	Formation de plis	Formation de plis et de diapirs
plissement	 Lors du plissement les différentes strates se comportent toutes de la même façon.	 Lors du plissement des roches moins denses forment un dôme au cœur des anticlinaux en traversant des roches présentant une faible cohésion.
Situation après érosion	 Axe d'un pli synclinal Axe d'un pli anticlinal Sur le terrain on repère les synclinaux et les anticlinaux grâce à l'âge des strates par rapport à l'axe du pli.	Dômes formant des diapirs.  Sur le terrain, en surface, la roche formant le diapir est en contact avec des terrains d'âges différents.

Document 2 : carte géologique simplifiée de la région du gisement de gypse de LAZER.



Légende

	Marnes valanginiennes (-130 à -122 millions d'années). Epaisseur de 50 m.
	Calcaire très compact (-146 à -135 millions d'années). Epaisseur de 150 m.
	Marnes noires. (-167 à -146 millions d'années). Epaisseur de 300 m.
	Calcaire marneux (-170 à -167 millions d'années). Epaisseur de 100 m.
	Marnes (-176 à -170 millions d'années). Epaisseur de 300 m.
	Gypse (-231 à -219 millions d'années). Epaisseur variable de 5 m à 80 m.
A, B	Localisation des prises de vues du document 5
1 2 3 4	Localisation des forages décrits dans le document 6
⟷	Axe d'un pli

Modifiée à partir du site : www.geol-alp.com et de la carte géologique de Laragne-Montéglin au 1/50 000e *édition du BRGM.*

Document 3 : extrait de l'arrêté préfectoral du 15 décembre 2006

… La carrière de gypse de LAZER, située dans les Hautes-Alpes sur les communes de LAZER et UPAIX, est exploitée en sous-traitance par campagnes d'extraction. Elle alimente l'usine « Placoplatre » de Chambéry pour la fabrication de plaques de plâtre.

Chiffres-clés :

- Superficie : 171 hectares
- Gypse extrait : 50 000 à 150 000 tonnes/an

<u>L'extraction du gypse :</u>

Les terres végétales sont décapées et mises en stock lorsqu'elles sont découvertes. L'extraction du gypse s'effectue par tirs de mines. Il est ensuite acheminé vers la zone de concassage par camions tombereaux.

<u>Le traitement du gypse :</u>

Le concassage primaire du gypse est réalisé en carrière où il est réduit à moins de 50 mm. Il est ensuite mis en stock puis transporté en camions jusqu'à Chambéry où il sera transformé en plaques de plâtres.

NB : Chambéry est situé à 186 km de la carrière de LAZER

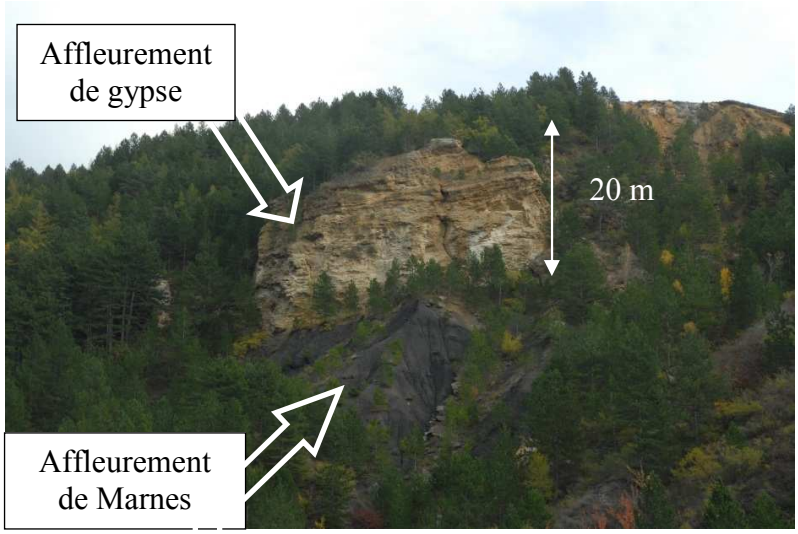
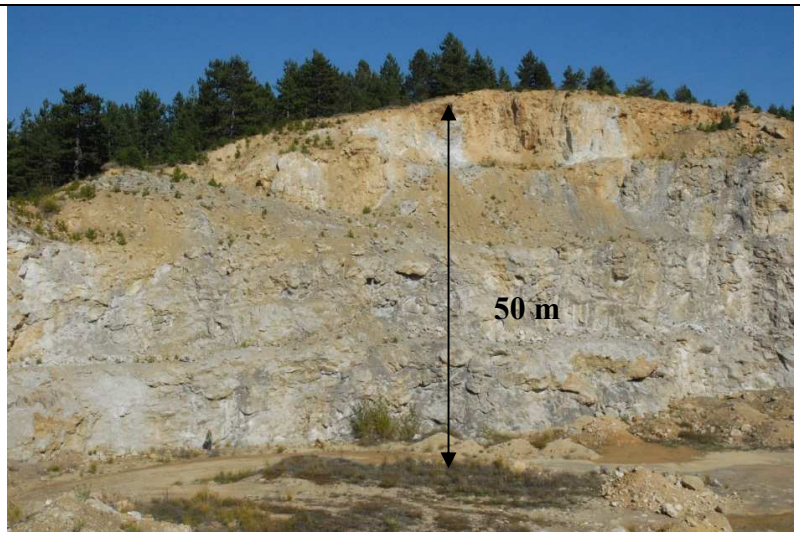
la Contours de zone exploitée

Document 4 : masse volumique des roches sédimentaires de la région.

Nom	Gypse	Marnes	Calcaire marneux	Marnes noires
Age en millions d'années	-231 à -219	-176 à -170	-170 à -167	-167 à -146
Masse Volumique En $kg.m^{-3}$	2000 à 2300	2400	2450	2500 à 2600

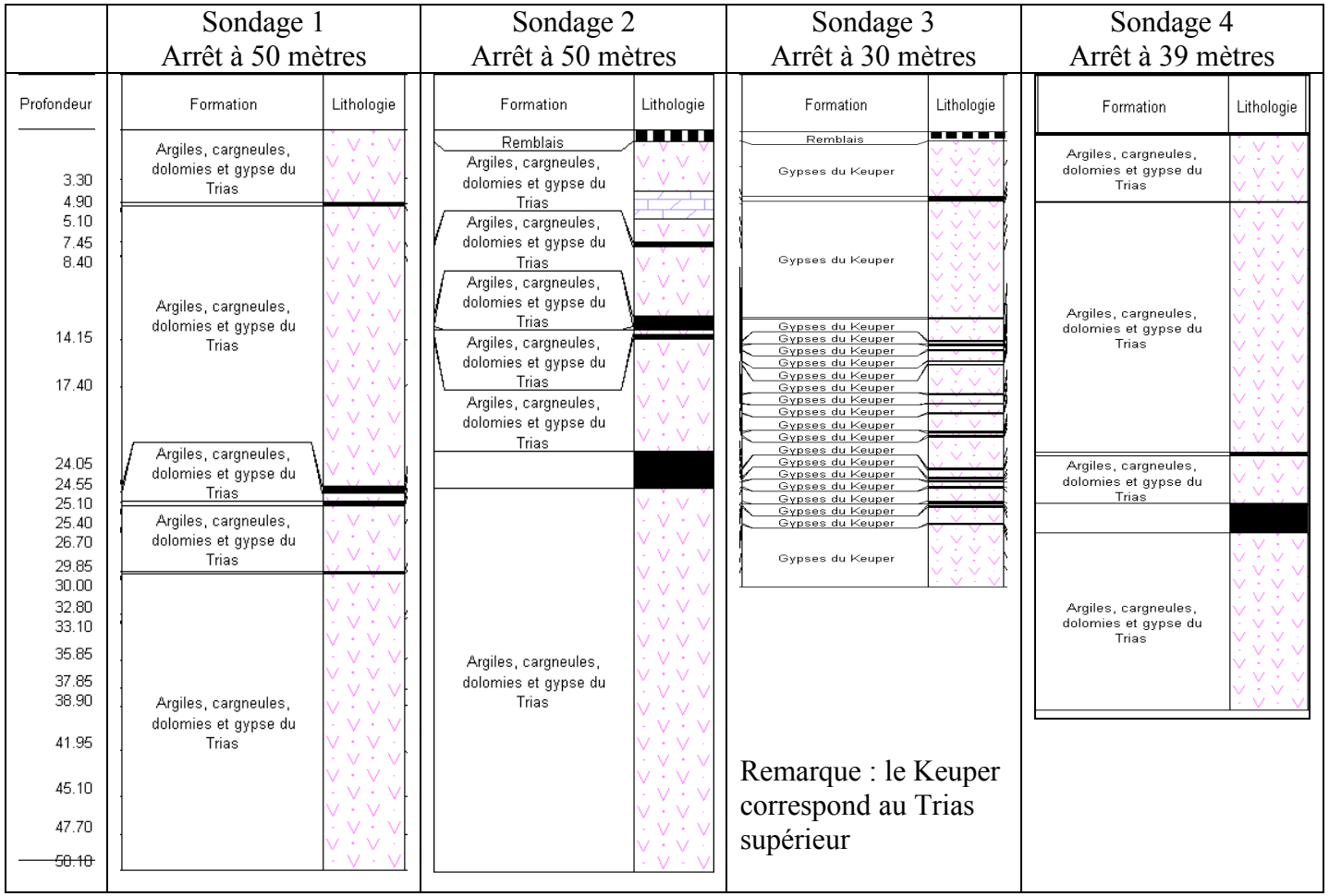
Mesures réalisées au laboratoire

Document 5 : différentes observations de l'affleurement et de la carrière.

Photographie d'un affleurement de Gypse Repère A sur la carte géologique du document 2	
Aspect des marnes noires à l'affleurement. Repère A sur la carte géologique du document 2	
Photographie d'un des fronts de taille actuels de la carrière de gypse de Lazer. Repère B sur la carte géologique du document 2	

Photographie : crédit personnel

Document 6 : Sondages effectués en 1985 lors de la campagne de prospection pour l'exploitation de la carrière de LAZER.

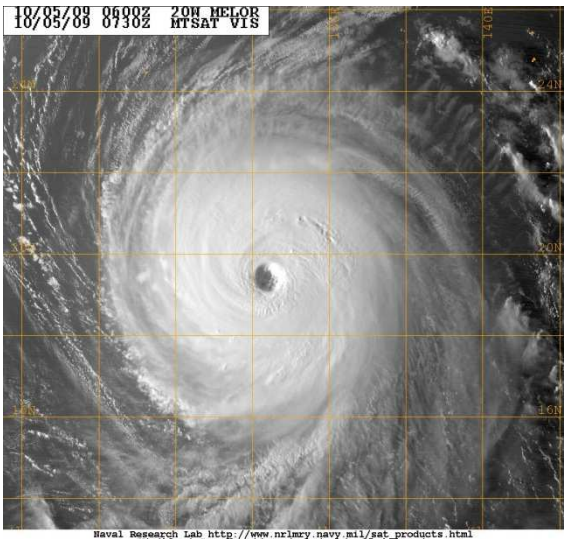


Extrait de BRGM, ressources du sous-sol, données numériques. www.brgm.fr

Question 1 Préciser les modalités de mise en place de ce gisement à partir des documents 1, 2, 4 et 5.

Question 2 Dégager les avantages et les inconvénients en termes d'exploitation (conditions d'extraction, justification industrielle et économique) d'un tel gisement à partir des documents 3, 4, 5 et 6.

EXERCICE 3 -Les cyclones tropicaux, prévisibles ou pas ?



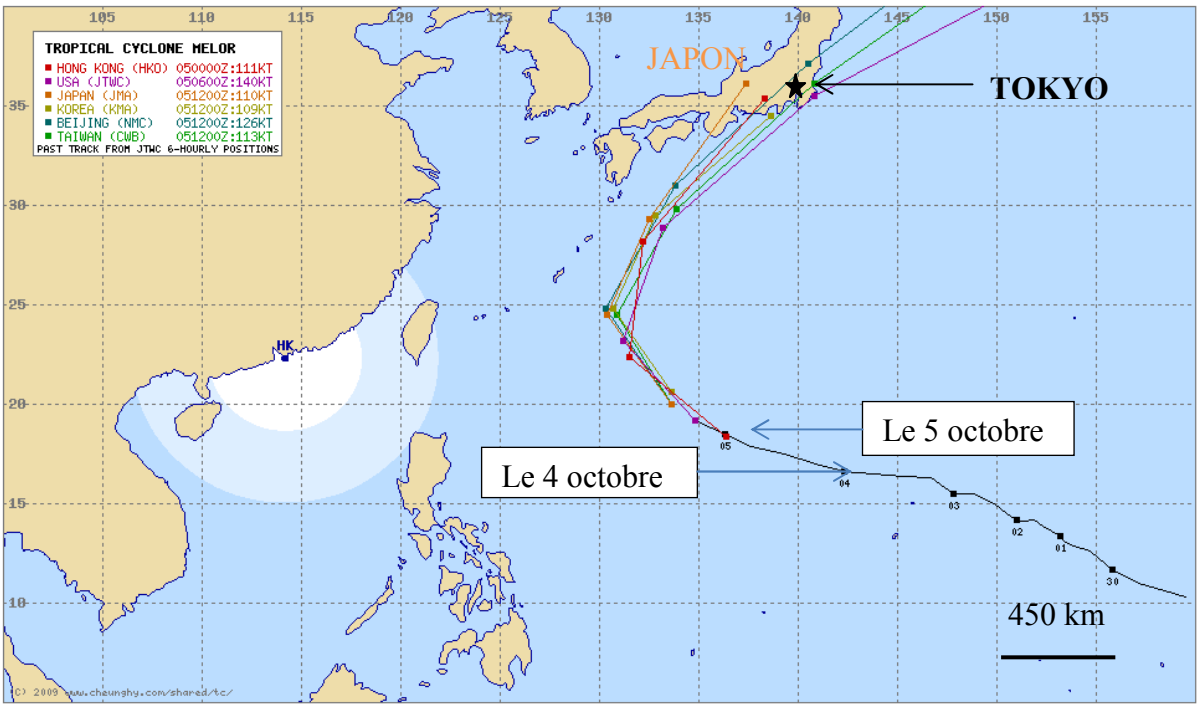
Les océans, aux latitudes tropicales, constituent d'énormes accumulateurs de chaleur qui est ensuite distribuée aux latitudes plus élevées. Les mécanismes de cette « pompe à chaleur » sont nombreux et complexes ; parfois, au moment de la saison d'été dans chaque hémisphère, la machine « s'emballe » ; des cyclones tropicaux ou typhons avec leurs vents dévastateurs, leurs pluies diluviennes et leurs ondes de tempête, balaient les îles et les zones littorales des continents.

Les cyclones ou typhons sont des monstres météorologiques qui obéissent aux forces régies par les enveloppes de la Terre.
d'après http://www.nasa.gov/)

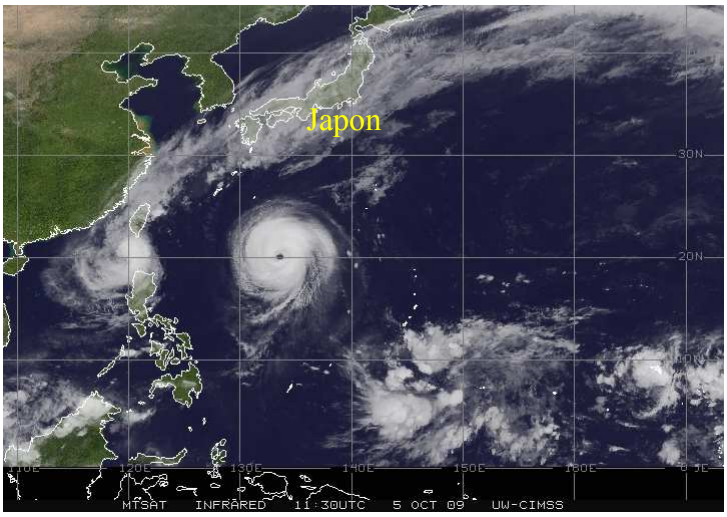
Les zones où naissent les cyclones ou typhons sont bien connues, on cherche à anticiper leur trajectoire ainsi que les paramètres météorologiques qui leur sont associés afin de déclencher les alertes à bon escient.

Document 1 : alerte ! Le typhon Melor se dirige vers le Japon le 5 octobre 2009

Document 1a : carte de prévision de la trajectoire de Melor établie le 5 octobre 2009 par plusieurs centres régionaux
(http://www.ssmi.com/hurricane/data_archive.html)



Document 1b : Melor le 5 octobre 2009 (image prise par le satellite METEOSAT)



Document 1c : alerte météo dans un bulletin spécial au Japon le 7 octobre 2009

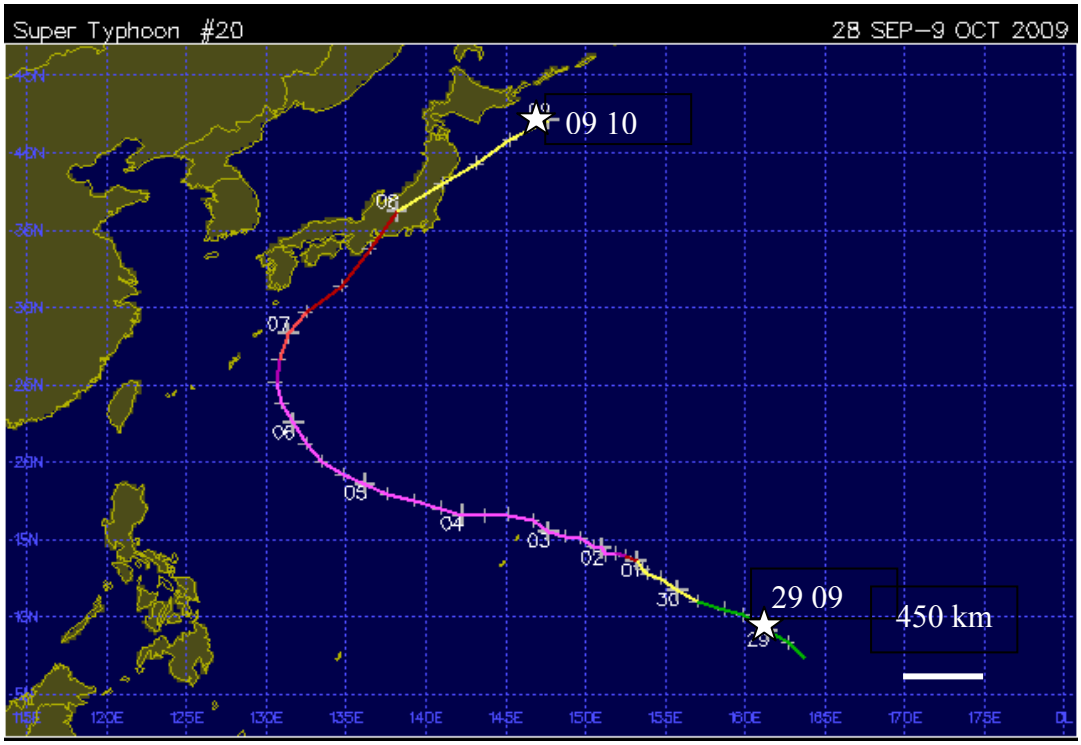
Le typhon Melor qui s'est formé et qui circule depuis plusieurs jours dans le Nord-ouest de l'océan Pacifique aborde le Japon aujourd'hui, mercredi, avec des vents en rafale de 194 km/h et une pression en son centre de 959 hPa. Il menace directement les îles centrales du Japon, fortement peuplées, puisqu'il devrait apporter de fortes pluies et de violentes rafales de vent. Le centre du système devrait toucher le Japon vers Kyoto demain jeudi.

Mais l'Ouest du Japon est déjà touché par le mauvais temps, une forte houle frappe les îles du Sud du Japon. Les services météorologiques annoncent attendre au moins 400 mm de précipitations dans les prochaines 24 h 00 sur la région de Tokyo et ont indiqué que le typhon Melor pourrait être la plus forte tempête à atteindre les îles principales du Japon depuis plus de 10 ans.

(Source : http://www.meteo-world.com/news/index-2763.php)

Document 2 : données <u>enregistrées</u> du typhon Melor

Document 2a : trajectoire enregistrée de Melor, du 29 septembre au 9 octobre.



Document 2b : détail de l'évolution des trajectoires, vents, et pression du typhon mesurées en certains points du 4 au 8 octobre.

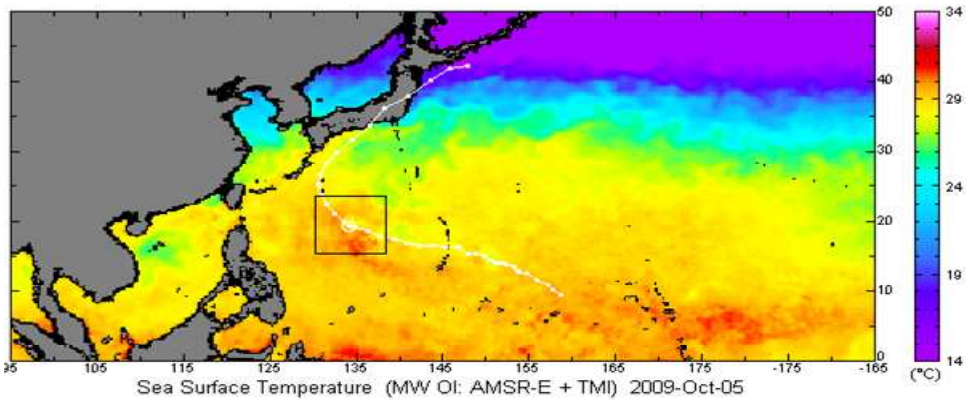
Numéro	Latitude (en °Nord)	Longitude (en °Est)	Date et (heure de la journée)	Vitesse des vents (en nœuds)	Pression (en hPa)
1	17.90	137.60	04/10(18h)	150	911
2	18.60	136.20	05/10(00h)	140	918
3	20.00	133.50	05/10(12h)	135	922
4	21.20	132.50	05/10(18h)	130	926
5	22.50	131.70	06/10(00h)	120	933
6	25.20	130.60	06/10(12h)	105	944
7	28.30	131.40	07/10(00h)	95	952
8	29.70	132.50	07/10(06h)	80	963
9	33.80	136.50	07/10(18h)	65	981
10	36.20	138.20	08/10(00h)	55	992

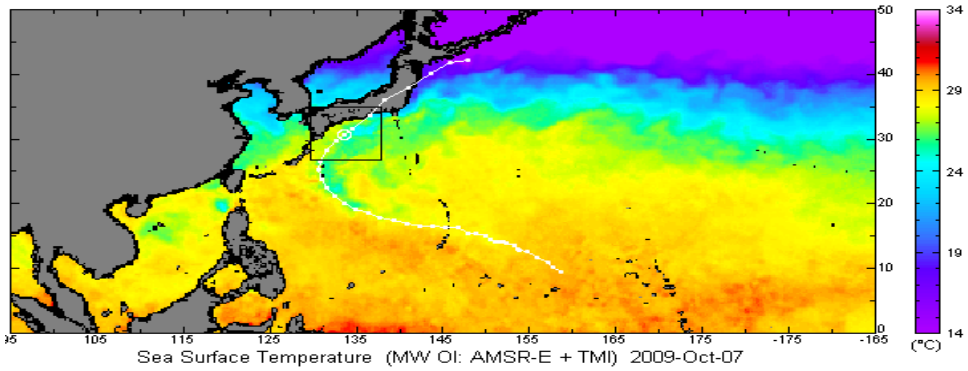
(d'après http://weather.unisys.com/hurricane/)

NB : 1 nœud correspond à 1 mille marin par heure, soit environ 1,852 km·h^{-1}

Documents 2c : température de surface (en °C) de l'océan le 5 octobre et le 7 octobre 2009

Ces images satellitales sont obtenues par enregistrement des radiations dans les longueurs d'onde de l'infrarouge thermique. Les cadres noirs sur l'image localisent le typhon à ces dates.





(D'après http://www.ssmi.com/hurricane/data_archive.html)

Document 2d : échelle de Saffir-Simpson

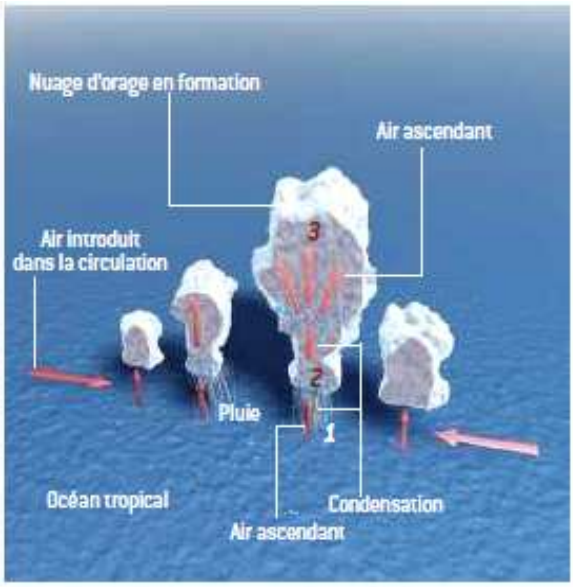
Les cyclones tropicaux sont répartis suivants cinq niveaux d'intensité dont les critères sont détaillés ci-dessous dans l'échelle de Saffir-Simpson (d'après les noms de

Catégorie	Maximum du vent (km/h)	Pression minimale (hPa)	Marée de tempête (m)	Dégâts relatifs (33 M$)
1	119 - 153	> 980	1 - 1,7	1
2	154 - 177	979 - 965	1,8 - 2,6	10
3	178 - 209	964 - 945	2,7 - 3,8	50
4	210 - 249	944 - 920	3,9 - 5,6	250
5	> 249	< 920	> 5,6	500

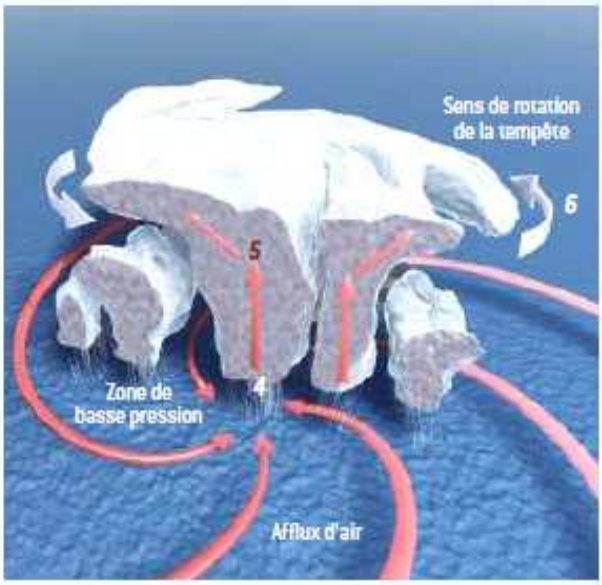
l'ingénieur américain Herbert Saffir et du météorologiste américain Robert Simpson).

(D'après la revue pour la science, dossier climat, janvier-mars 2007)

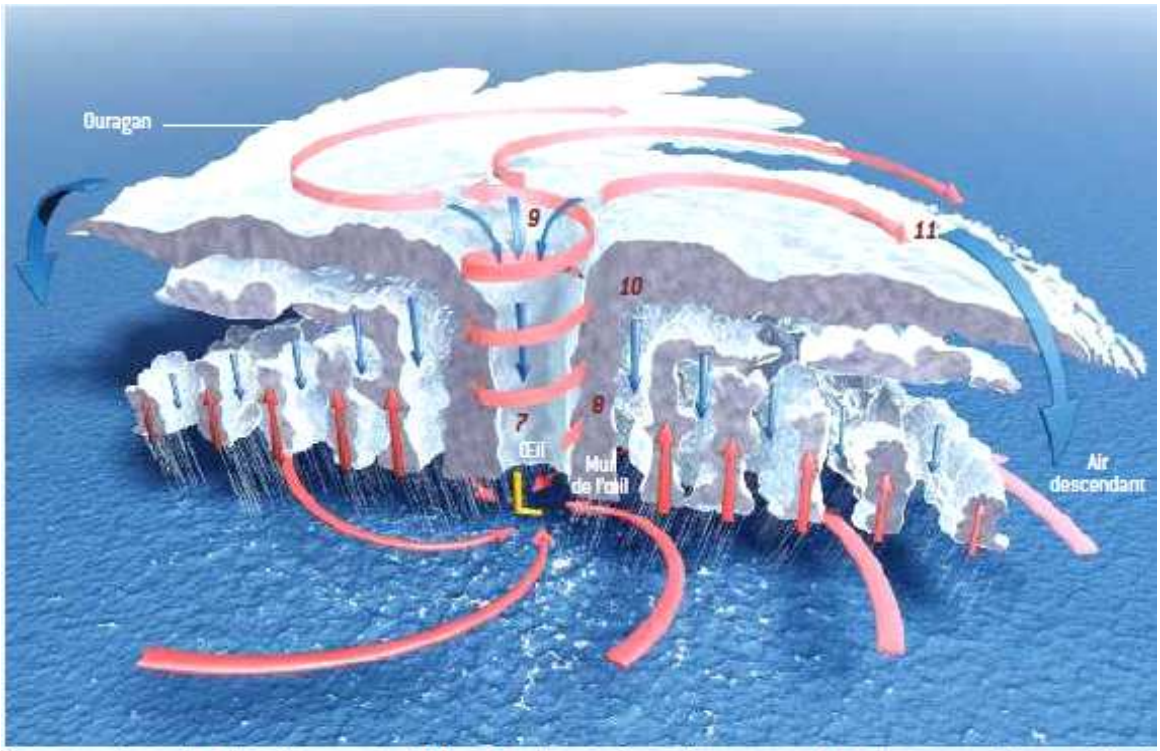
<u>Document 3</u> : <u>la formation d'un ouragan</u>



Les ouragans commencent à se former quand les océans tropicaux libèrent de la chaleur et de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, propulsant de grandes quantités d'air chaud et humide au-dessus de la surface *(1)*. À mesure que l'air chaud monte, la vapeur d'eau qu'il contient se condense pour former des nuages et de la pluie *(2)*. Cette condensation libère de la chaleur, en conséquence de quoi l'air alimentant le cyclone continue à s'élever *(3)*.



L'ascension de l'air au-dessus des océans tropicaux crée une zone de basse pression qui aspire l'air chaud et humide de la périphérie *(4)*. Ce mouvement attire toujours davantage d'air de surface doux et humide à l'intérieur du cyclone qui enfle ; d'énormes quantités de chaleur, d'air et de vapeur d'eau sont poussées en altitude *(5)*. Ce transfert vers le haut amplifie encore la convergence de l'air venant de la périphérie, qui, entraîné par la rotation de la Terre, commence à tournoyer *(6)*.



À mesure que la tempête s'intensifie, on assiste à la formation d'un œil (un centre calme à basse pression) *(7)*, entouré d'un anneau de nuages et de vents tournant à grande vitesse qu'on appelle mur de l'œil *(8)* : la tempête devient ouragan. Simultanément, l'air chaud qui s'est élevé et a perdu une grande partie de son humidité s'amasse au-dessus des nuages constituant l'ouragan, produisant une région de haute pression. Une partie de cet air sec retombe dans l'œil *(9)* et entre les bandes de nuages *(10)*. Les vents s'éloignent du centre de la tempête et redescendent *(11)*, et des courants d'air à grande échelle impriment sa trajectoire à l'ouragan.

(D'après la revue Pour la science N°324 octobre 20 04)

QUESTIONS

1- **A l'aide du document 1a, calculer la vitesse de déplacement de Melor entre le 4 et le 5 octobre et indiquer la date approximative à laquelle il devrait toucher Tokyo s'il garde cette vitesse.**
2- **Avec les documents 1b, 1c et 2a, montrer la nécessité d'établir des prévisions et discuter la fiabilité de ces méthodes de prévision.**
3- **A l'aide des documents 2b et 2d, déterminer le niveau d'intensité de Melor pour les dates du 5 octobre (à 00 h) et du 7 octobre (à 18 h).**
4- **Rechercher dans les documents 2c et 3 une explication aux variations d'intensité constatées précédemment.**

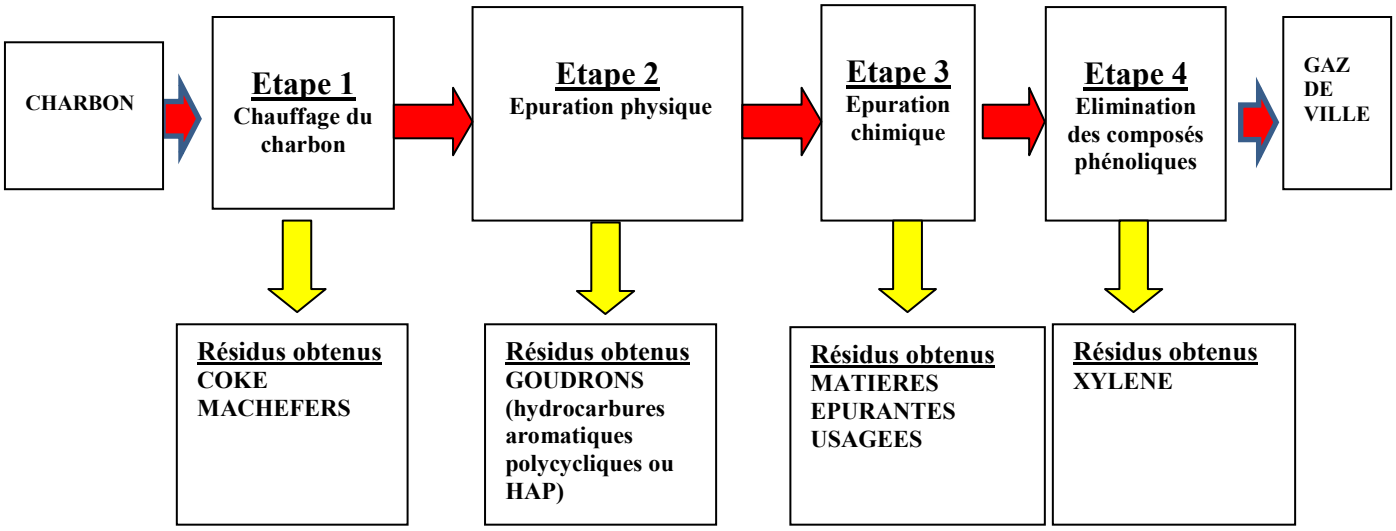
EXERCICE 4 - Des bactéries à l'origine de la construction du stade de France !

Le stade de France est l'une des grandes constructions réalisées en Seine-Saint-Denis pendant les années 90.
Le stade a été construit sur le site d'une usine qui produisait du gaz à partir du charbon. Cette usine a fonctionné de 1912 à 1969 et a été démantelée entre 1970 et 1980.
Le site a dû être dépollué avant la construction du stade.

On fait appel à vous en tant qu'expert géologue pour justifier le choix du site et la technique de traitement utilisée.

source : memosport.fr

Document 1 : technique de production de gaz de ville à partir du charbon



Quatre étapes sont nécessaires pour obtenir du gaz de ville à partir du charbon. Les résidus issus de chaque étape sont recueillis et valorisés, mais, lors de la fermeture de l'usine les derniers sous-produits de fabrication n'ont pas tous été éliminés. Ainsi, le sol de ce site contenait de nombreux hydrocarbures aromatiques polycycliques (ou HAP) au moment du projet de construction du stade de France.
En octobre 1993, Gaz de France, l'exploitant de l'ancienne usine à gaz, réalise un audit d'environnement qui révèle que plus de 70 000 m^3 de terres doivent être traités et qu'il n'est pas possible d'effectuer un traitement exclusivement par incinération. Il faut donc trouver des solutions pour pouvoir utiliser le site.

http://natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp25/1978-t.pdf

Document 2 : HAP et terres polluées

Depuis de nombreuses années, les HAP sont très étudiés car ce sont des composés présents dans tous les milieux environnementaux qui présentent une forte toxicité.

La plupart des HAP sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau et très souvent adsorbés, c'est-à-dire fixés par les particules du sol, ce qui rend leur dégradation très difficile.

Les données expérimentales chez l'animal montrent des effets négatifs sur la santé, sur le foie, le sang, le système immunitaire. Ils ont des effets mutagènes et cancérogènes.

D'après http://www.ineris.fr/centredoc/66244-DESP-R01__.pdf

On distingue trois catégories de terres polluées

Catégorie	Concentration en HAP en $g.kg^{-1}$ de matière sèche et ppm (partie par million)	Traitement prévu
1	Concentration supérieure à 50 $g.kg^{-1}$ de matière sèche (50 000 ppm)	incinération
2	Concentration entre 0,50 et 50 $g.kg^{-1}$ de matière sèche (entre 500 et 50 000 ppm)	Traitement sur place dans un biotertre (voir document 3)
3	Concentrations entre 0,03 et 0,50 $g.kg^{-1}$ de matière sèche (entre 30 et 500 ppm)	Laissées sur place dans des zones répertoriées (pas de contact avec la surface ou avec la nappe phréatique) Pas de risque pour la santé

Toutes les terres dont la teneur en HAP est inférieure à 30 ppm sont considérées comme inertes et peuvent être évacuées dans d'autres lieux si cela est nécessaire.

D'après http://www.unece.org/fileadmin/DAM/ie/intersol/documents/s34f.pdf

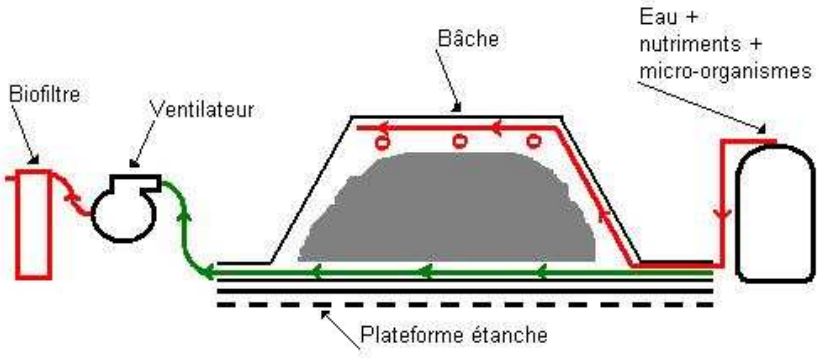
Document 3 : le biotertre

Pour le site de construction du stade de France, une des méthodes utilisées fut celle du biotertre sur site qui consiste dans la mise en tas du sol pollué puis dans son traitement biologique par des micro-organismes. Le traitement biologique des sols pollués repose sur la dégradation des molécules polluantes (HAP) par des bactéries.
30 000 tonnes de terre ont été ainsi dépolluées.

Les biotertres sont des monticules de terre de forme allongée de 2 à 7 mètres de hauteur et de quelques dizaines de mètres de longueur et largeur. Les biotertres sont installés sur une plateforme étanche permettant la collecte et le recyclage ou le traitement des lixiviats qui correspondent aux gaz et liquides produits lors du traitement. Ils peuvent être bâchés ou sous hangar.
Le schéma ci-après représente un biotertre « type » avec :

- un système de drains à la base, raccordé au système d'aspiration débouchant sur un biofiltre,
- un dispositif d'humidification et d'apports de micro-organismes ou de nutriments sous la bâche

Photographie d'un biotertre



http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=1&cid=96&m=3&catid=12824

http://www.cedre.fr/fr/lutte/mpp/biologique.php

On utilise l'activité bactérienne pour dépolluer les sols. Les micro-organismes du sol ont la capacité de dégrader les molécules organiques et de consommer certaines substances polluantes. Les procédés consistent à stimuler cette biodégradation en injectant au milieu pollué des nutriments (phosphore, azote) et de l'oxygène. Les bactéries sont sélectionnées en vue de dégrader un produit spécifique.
Les micro-organismes responsables de la biodégradation sont, soit endogènes (ceux présents naturellement dans les sols pollués), soit exogènes (ajoutés aux sols pollués).

Les bactéries exogènes sont mises en culture sur place dans un fermenteur à partir de souches qui peuvent provenir de stations d'épuration ou d'autres origines (souches commercialisées par des prestataires spécialisés, …).

Le caractère non pathogène de ces bactéries est vérifié. L'ajout de ces bactéries est fait en cours de traitement par des drains qui peuvent aussi servir à l'aération, à l'apport de nutriments et à l'arrosage.

L'utilisation du biotertre a permis de ramener la teneur en HAP des terres polluées à moins de 500 ppm.

<u>Document 4 : les limites de la dépollution par biotertre</u>

http://www.plan-deplacements.com/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12824
http://www.annales.org/ri/2000/05-2000/renaud013-016.pdf

Lorsque le site le permet (surface, voisinage,…) et lorsque la profondeur de la pollution est inférieure à 5 m (permettant une excavation des terres), le procédé peut être directement mis en œuvre sur site afin d'éviter les coûts et les risques liés au transport des sols pollués.

La durée du traitement biologique pouvant être assez longue, le site doit pouvoir être disponible, pendant plusieurs mois, voire une année.
Le traitement doit tenir compte de la surface à dépolluer, de la quantité de polluants qui doivent être totalement dégradables par les micro-organismes. Il doit aussi prendre en compte les caractéristiques du sol à traiter et ne pas oublier le traitement des déchets générés par le chantier tels que les lixiviats. Il doit se terminer par la remise en état du site.

QUESTIONS

1- **A partir des documents 1 et 2, formuler le problème posé par le site choisi pour la construction du Stade de France.**

2- **A partir des documents, déterminer les catégories de terres traitées et expliquer comment le fonctionnement du biotertre permet de les dépolluer.**

3- **Calculer la quantité de polluants HAP qui a pu être éliminée par l'intermédiaire des biotertres.**

4- **En tant qu'expert géologue, justifier le recours à cette technique utilisée pour dépolluer le sol du site du stade de France et en souligner les limites.**