

**SESSION 2009**

**ACADEMIES DE CAEN,  
NANTES, RENNES,  
ROUEN, AMIENS**

**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.*

*Les pages 11 et 24 sont à rendre avec la copie.*

*La calculatrice est autorisée.*

## Exercice 1 : les hydrates de méthane... manne énergétique ou bombe écologique à retardement

Ces dernières décennies, l'exploration des fonds océaniques a permis d'étonnantes découvertes avec entre autres l'existence jusqu'alors insoupçonnée d'importantes quantités d'hydrates de méthane. Les réserves traditionnelles d'hydrocarbures s'épuisant, ces hydrates de méthane font rêver ... mais le réchauffement climatique pourrait aussi les faire sortir naturellement de leur réserve avec perte et fracas...

### Document 1 : que sont les hydrates de méthane ?

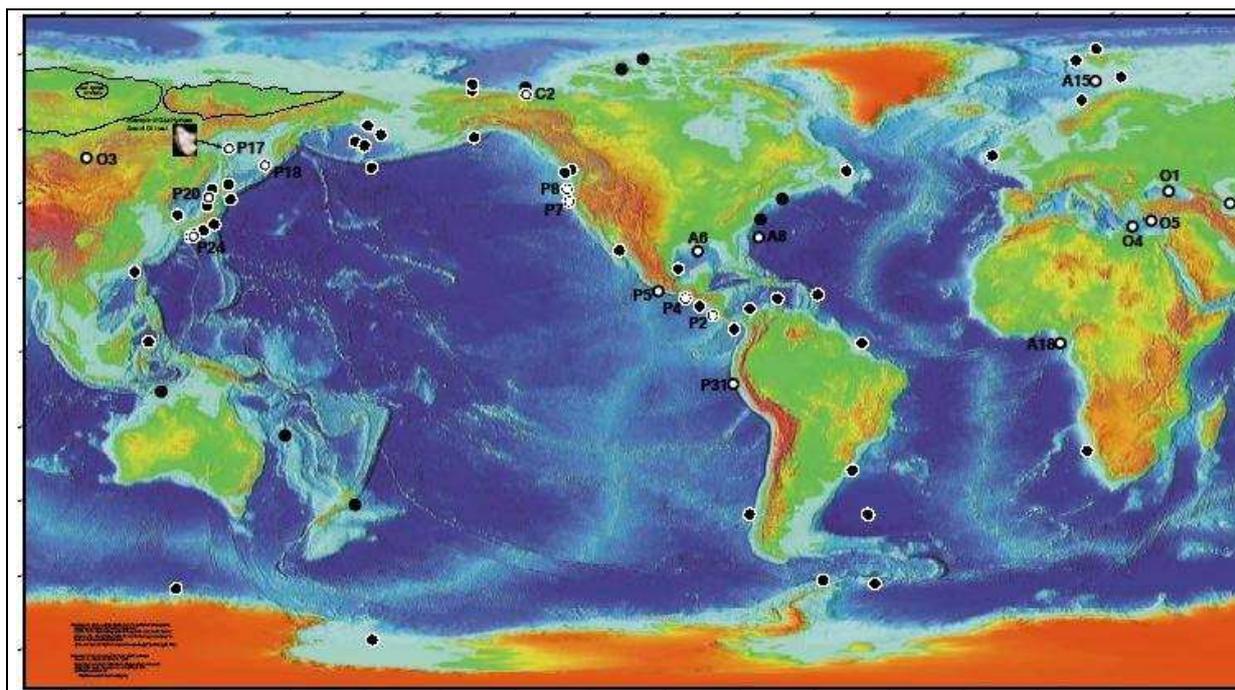
Le méthane résulte de la décomposition, à l'abri de l'oxygène de l'air, de débris animaux et végétaux (essentiellement du zooplancton et du phytoplancton) qui précipitent sur le plancher des océans. Une fois formé, le méthane peut partir rapidement dans l'atmosphère, ou, dans des conditions particulières de température et de pression, peut s'associer à de l'eau et former un cristal mixte d'eau et de méthane, qui s'appelle... un hydrate de méthane. Cela ressemble à de la glace ...sauf que c'est de la glace qui brûle en libérant du dioxyde de carbone et de l'eau.

[www.manicore.com](http://www.manicore.com)

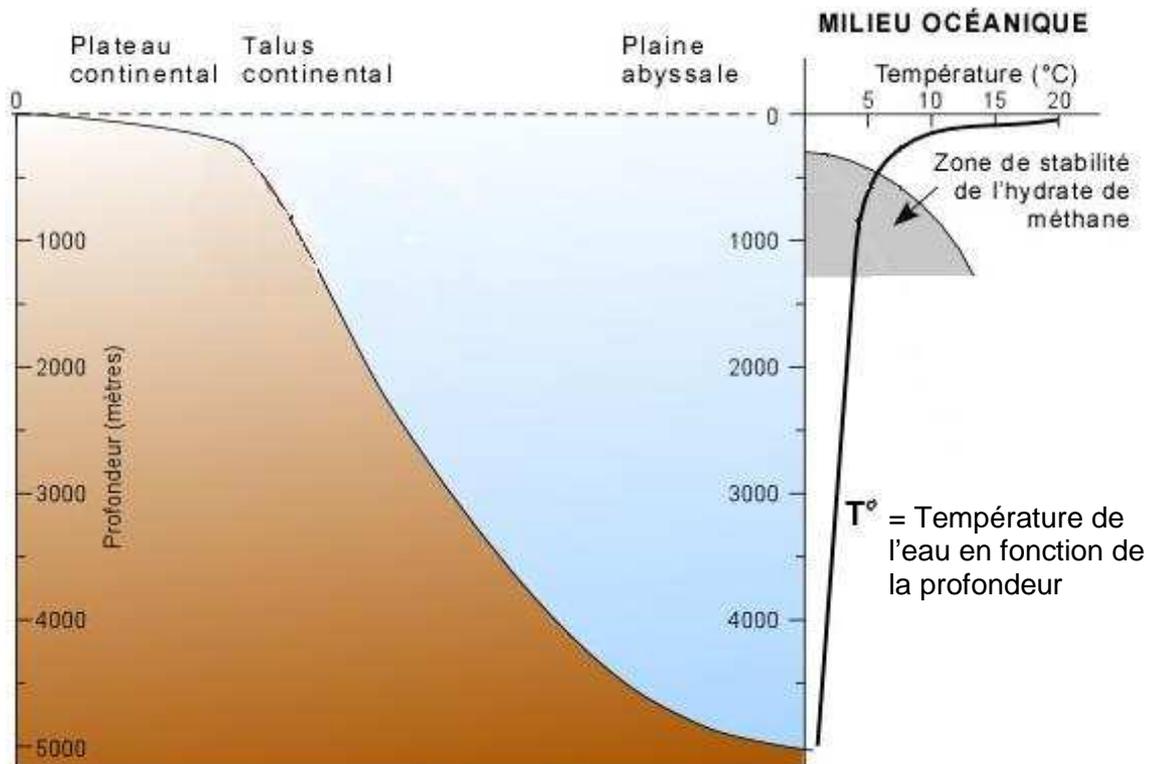
### Document 2 : localisation des hydrates de méthane

Régions du monde où la présence d'hydrates est avérée par des prélèvements (ronds blancs) ou supposée par le biais d'analyses sismiques ou d'analyses de puits dans lesquelles des carottes ont été prélevées (ronds noirs).

Source Keith A. Kvenvolden and Thomas D. Lorenson, USGS, 2000



### Document 3 : zone de stabilité des hydrates de méthane



D'après Bourques - Université de Laval Canada

L'hydrate de méthane est stable à l'état de glace dans les conditions de température et de pression exprimées par la zone en gris, et instable sous les conditions à l'extérieur de cette zone.

### Document 4 : quelques valeurs...

Consommation énergétique mondiale en 2005 : 8,10 Gtep (Gigatonnes équivalents pétrole)

(source: conseil mondial de l'énergie 2007)

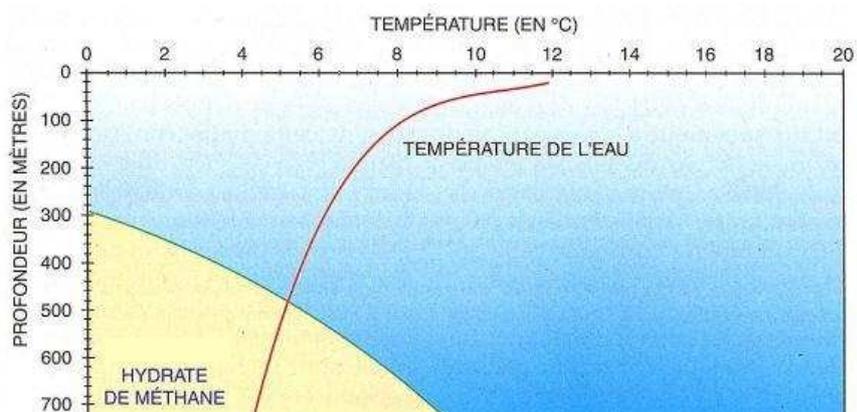
1 tep = 42 GJ (Gigajoules)

La combustion d'un kg de méthane libère 55 600KJ (kilojoules)

Estimation de la quantité de méthane au fond des océans :  $2 \cdot 10^{15}$  Kg

Milkov 2005

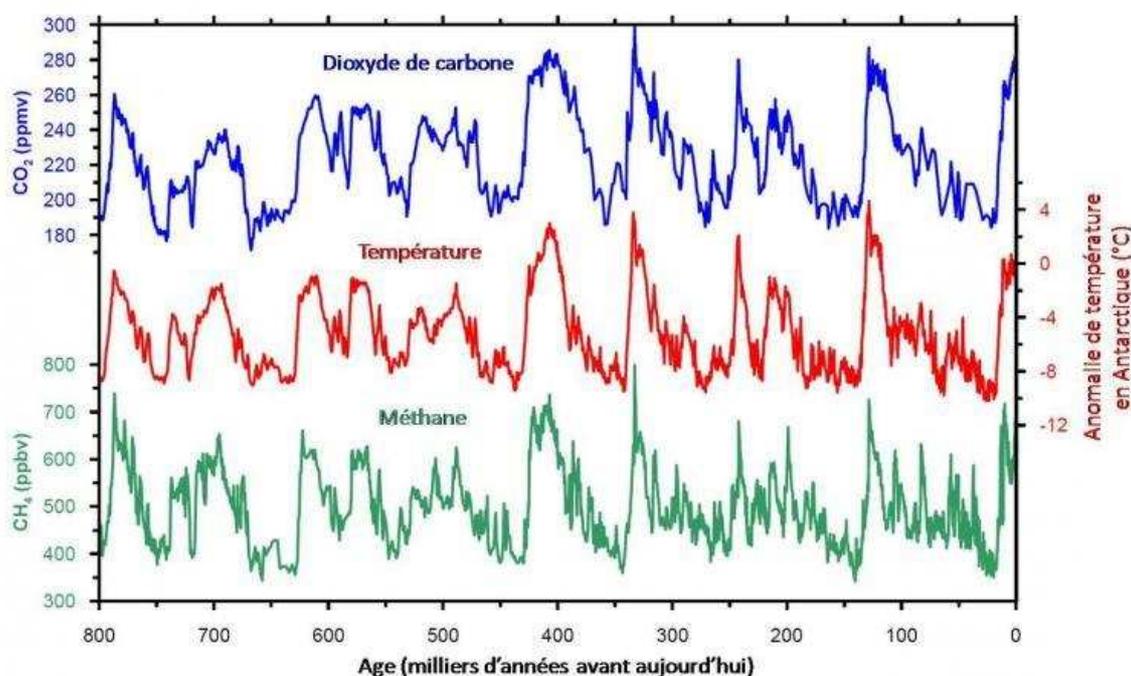
## Document 5 : diagramme de stabilité des hydrates de méthane



La courbe rouge représente la température moyenne de l'eau sous la surface de l'océan, à des latitudes moyennes (en fait, quelle que soit la latitude, la température de l'eau à quelques centaines de mètres de profondeur est presque la même, à quelques degrés près). La zone colorée en jaune représente la zone de stabilité potentielle des hydrates de méthane.

[www.manicore.com](http://www.manicore.com) d'après données usgs 2005.

## Document 6 : Mai 2008 ... la carotte du dôme C nous raconte



Evolution des deux gaz à effet de serre de l'atmosphère les plus importants après la vapeur d'eau : le dioxyde de carbone (courbe bleue) et le méthane (courbe verte), au cours des derniers 800 000 ans. La reconstitution de la température en Antarctique (courbe rouge) est issue des mesures des isotopes de l'eau constituant la glace. Les données de dioxyde de carbone proviennent de plusieurs carottes de glace (Vostok, Taylor Dome, EPICA Dôme C). Celles du méthane sont entièrement issues du forage EPICA Dôme C.

Université de Berne et LGGE. 15 Mai 2008

## QUESTIONS

1. a. A l'aide des documents 1, 2 et 3, localiser les hydrates de méthane présents dans les océans.  
b. Hachurer cette zone sur le document 3 qu'il faudra rendre avec la copie.
2. Les réserves d'hydrates de méthane présentent potentiellement une source d'énergie importante. En considérant que la consommation d'énergie reste constante, calculer durant combien d'années les hydrates de méthane permettraient d'assurer l'approvisionnement énergétique du monde.
3. A l'aide d'une détermination graphique sur le document 5, indiquer l'effet d'un réchauffement global océanique de 2°C sur le devenir des hydrates de méthane présents à 550 m de profondeur.
4. Sachant que la communauté scientifique s'accorde sur un réchauffement climatique à venir, justifier l'expression " les hydrates de méthane constituent une bombe écologique à retardement".

## Exercice 2 : les travaux de construction d'un parking souterrain

Les documents utilisés dans cet exercice sont tirés de l'étude géotechnique d'auditorium et de parking souterrain réalisée par Nicolas Carpentier de la société ANTEA

La ville de Bordeaux souhaite construire un parking souterrain. Celui-ci est un ouvrage rectangulaire, prévu sur 10 niveaux de sous-sol. Compte tenu du contexte géologique et des études préalables, votre agence s'est vu proposer, par le maître d'œuvre, l'étude géotechnique complémentaire des terrains où celui-ci sera construit.

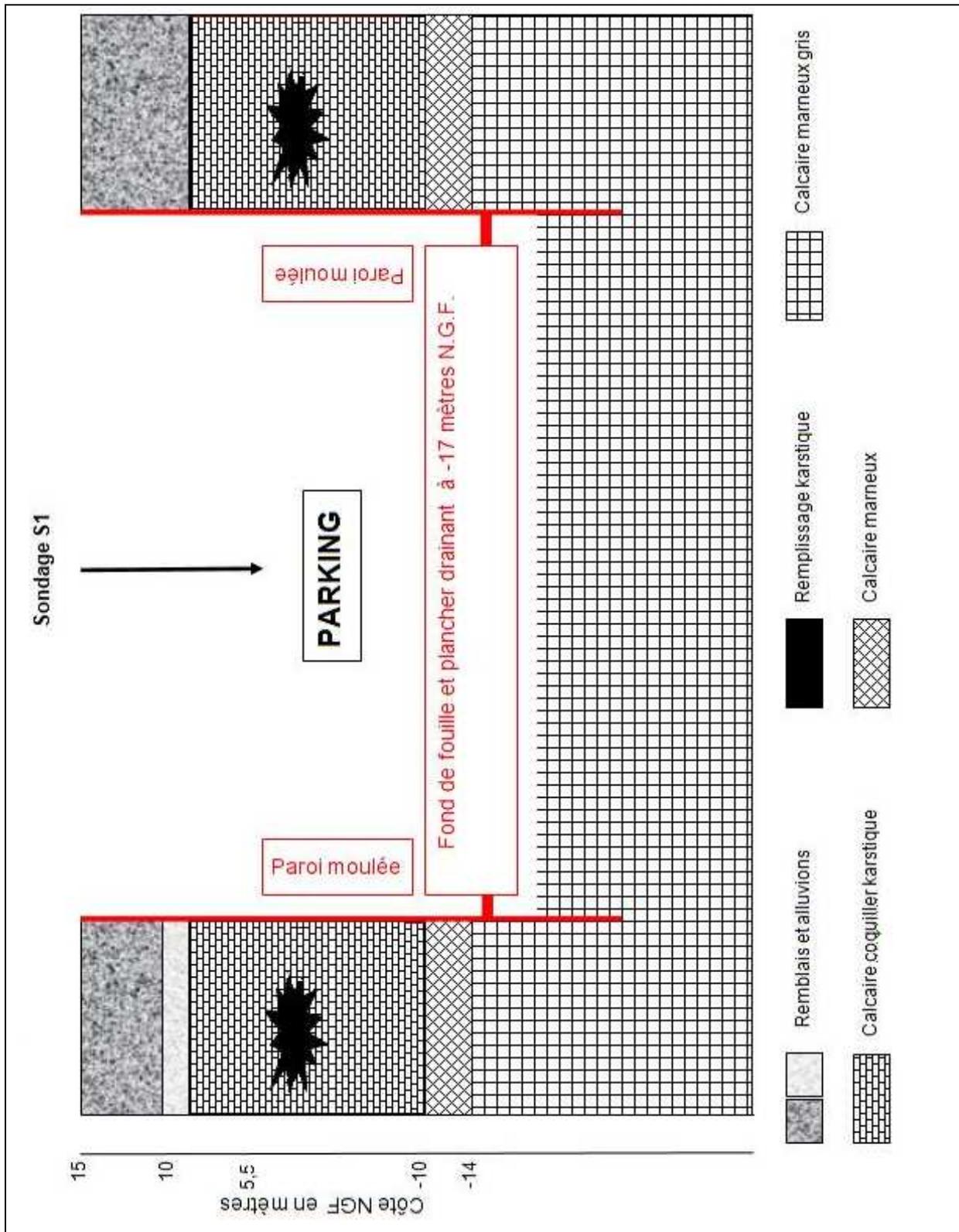
Cette étude a porté sur plusieurs points : la reconnaissance de la nature des roches du sous sol, leurs caractéristiques mécaniques et l'étude hydrogéologique du lieu.

Votre étude terminée, vous conseillez au maître d'œuvre l'utilisation de parois moulées ancrées dans le substratum de calcaire marneux ainsi que la mise en place d'un radier drainant.

Le document 1 présente la solution envisagée.

- 1. D'après l'ensemble des informations recueillies (documents 2 à 4), quelles difficultés ce type de sous-sol présente-il pour la construction de cet ouvrage ?**
- 2. Sur le document 5 représenter le trajet de l'eau.**
- 3. Le document 1 présente le projet simplifié proposé par votre agence. Justifier la présence des parois moulées et du plancher drainant.**

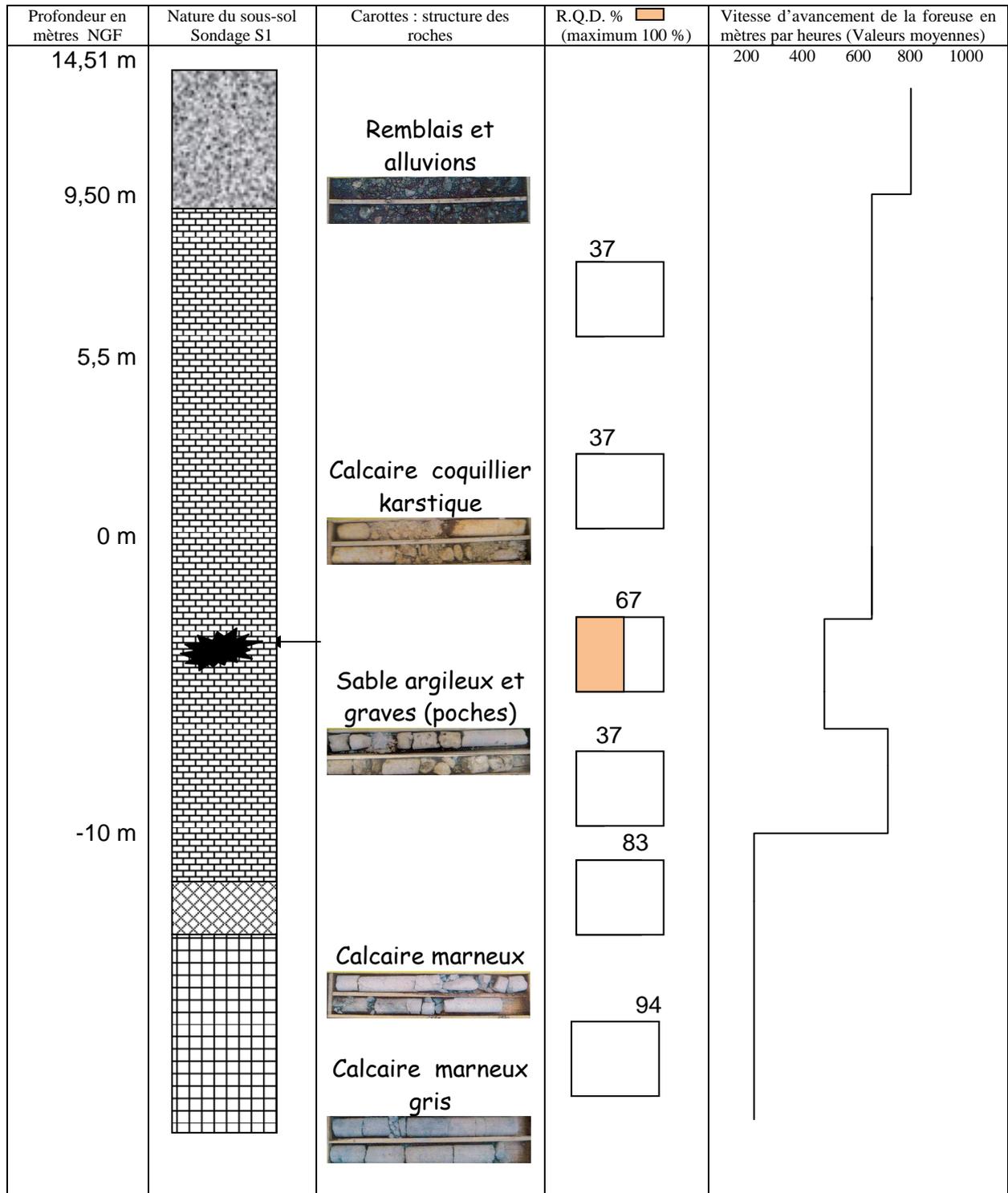
Document 1 : Projet



**Document 2 : coupe du sondage S1 et caractéristiques physiques des roches**

**N.G.F** : Niveau Géographique Français correspondant au 0 du niveau de la mer à Marseille

**R.Q.D** : « Rock Qualification Design » exprime la densité de fracturation. Sur 1 mètre de carotte on mesure la somme des morceaux dont la taille est égale ou plus grande que 10 centimètres et on calcule le pourcentage. Plus celui-ci est élevé moins la roche est fracturée.



### Document 3 : caractéristiques des roches rencontrées au cours du forage

Roches	Caractéristiques
Remblais et alluvions	Remblais urbains grossiers à dominance argilo-sableuse, avec des graves (mélange de sables et de gravillons) et des morceaux de brique. Les alluvions se présentent soit sous le faciès argile compacte avec de petits galets, soit sous le faciès sable graveleux.
Calcaire karstique	Couche hétérogène constituée de bancs très altérés, tendres, fracturés, friables et de bancs calcaires massifs et très compacts. Présence de cavités remplies d'argiles meubles avec ou sans graves ou vides.
Calcaire marneux	Calcaire coquillier peu marneux cohérent. Avec présence de marnes, roche homogène, peu perméable, non altérée et non karstifiée.

## Document 4 : caractéristiques hydrodynamiques

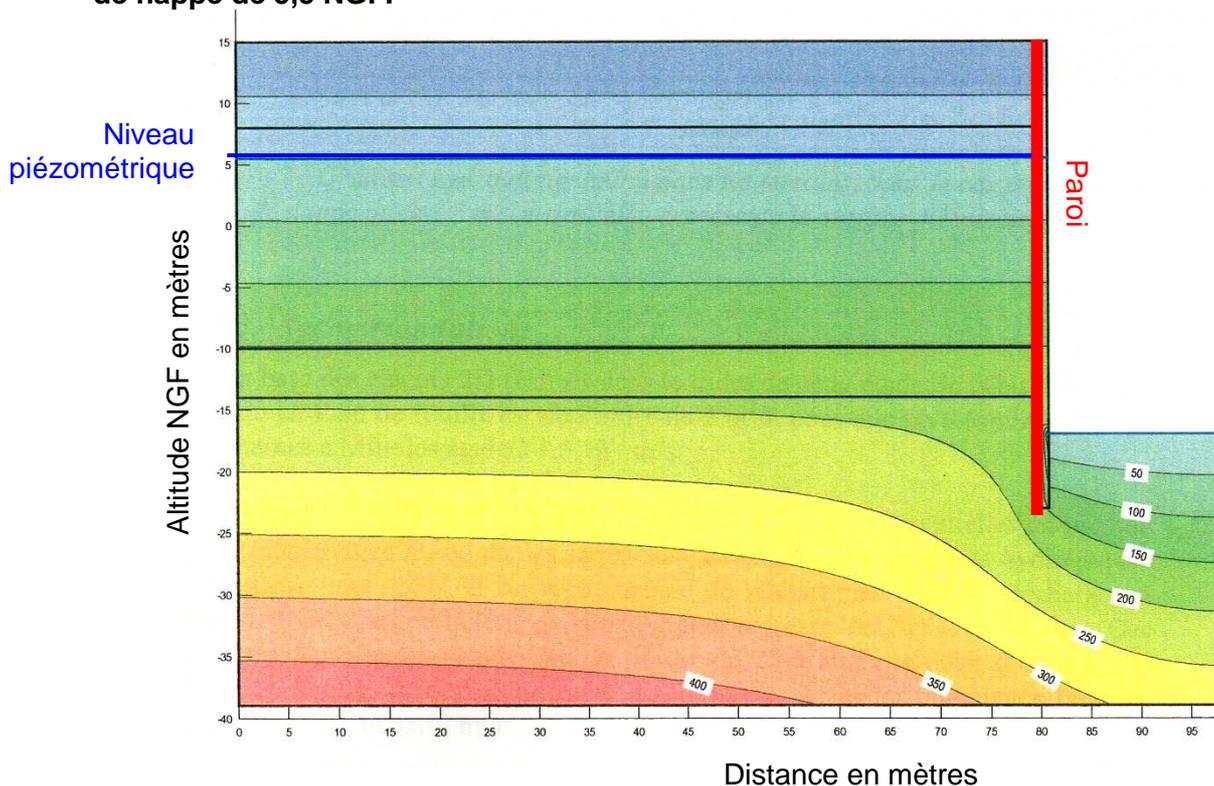
### 4 a : contexte hydrogéologique, par référence aux données du sondage S1

Le tableau suivant présente les différentes formations géologiques rencontrées sur le site, décrites du haut vers le bas et les perméabilités associées.

Formation	*Perméabilités horizontales
Remblais	_____
Calcaires karstiques	$1.10^{-5}$ à $1.10^{-4}$ m.s <sup>-1</sup>
Calcaires marneux	$3.10^{-7}$ m.s <sup>-1</sup>
Paroi moulée	$5.10^{-9}$ m.s <sup>-1</sup>

\* La perméabilité d'un milieu est son aptitude à laisser passer l'eau.

### 4b : modélisation de la distribution de la \*pression interstitielle (kPa) pour un niveau de nappe de 5,5 NGF.



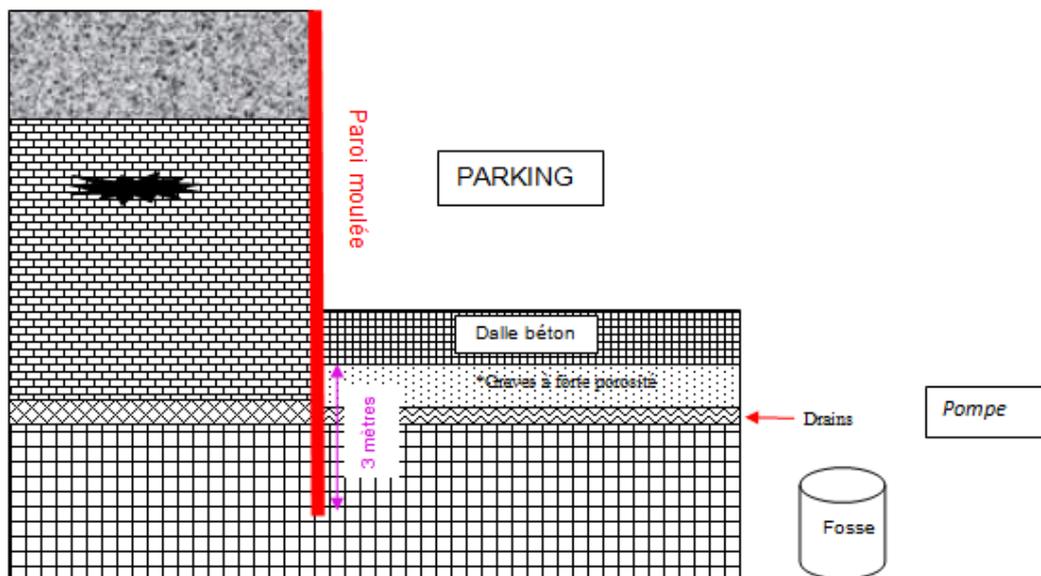
\* La pression interstitielle est la pression exercée par l'eau

## Document 5 à rendre avec la copie

### Schématisation du plancher drainant préconisé par le cabinet d'études

Le radié drainant est constitué de 30 centimètres de graves à forte porosité, et d'un réseau de drains sous le plancher béton. La circulation de l'eau se fait le long de la paroi. L'eau est envoyée dans une fosse et reprise avec une pompe de relevage.

Remarque : sur ce schéma, les échelles, l'épaisseur et la profondeur des couches ne sont pas respectées.



# Exercice 3 : les risques liés à l'existence de carrières souterraines à Laon (Aisne)

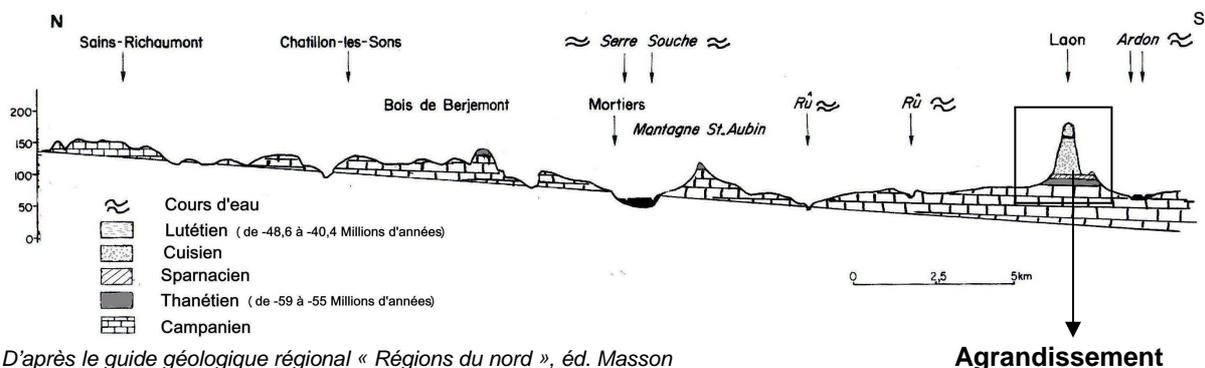
La cité de Laon, habitée depuis l'époque gauloise, est stratégiquement située au sommet d'une butte témoin. Elle offre un patrimoine architectural exceptionnel aujourd'hui protégé. Tout au long de son développement, des matériaux calcaires, roche cohérente, et des sables nécessaires à l'édification du bâti ont été extraits du sous-sol.

La présence d'argiles est à l'origine de la formation d'une nappe phréatique perchée (sans liaison avec un cours d'eau) qui alimente en eau les fontaines de la ville.

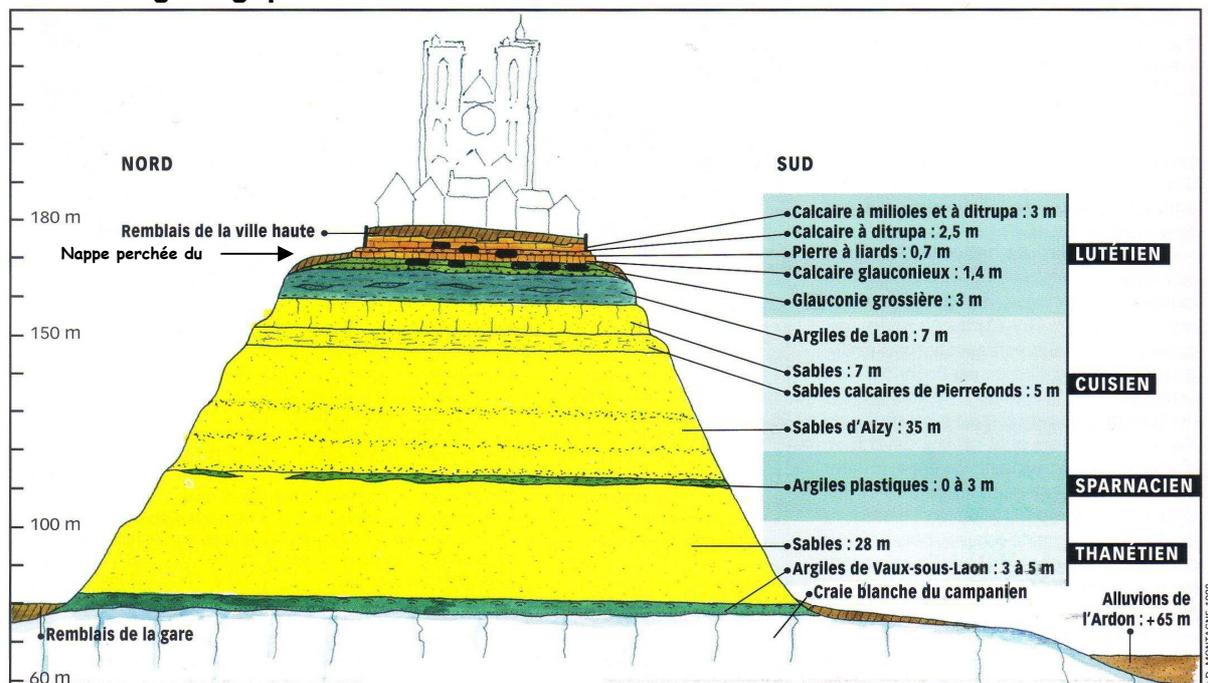


## Document 1 : coupe géologique de la butte de Laon

### 1a : coupe nord – sud dans la Thiérache et le Laonnois



### 1b : cadre géologique de la butte de Laon

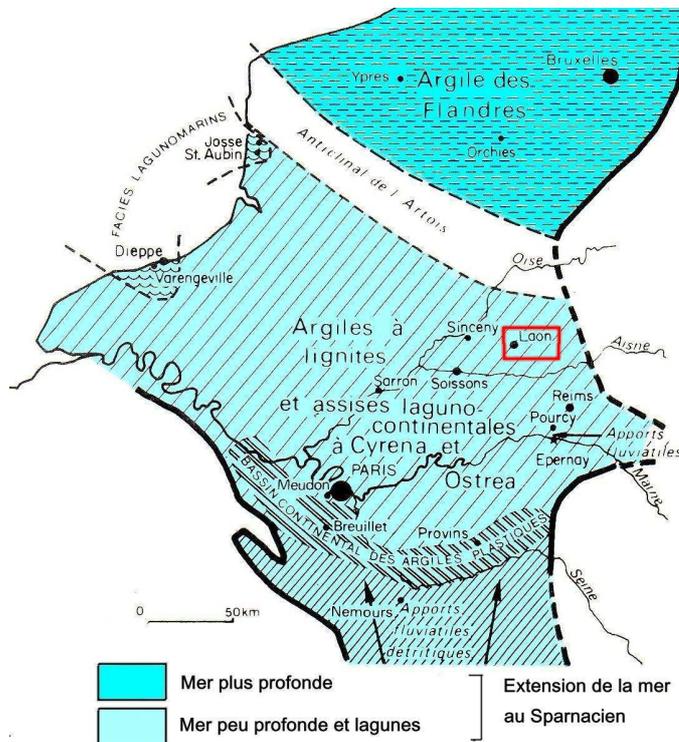
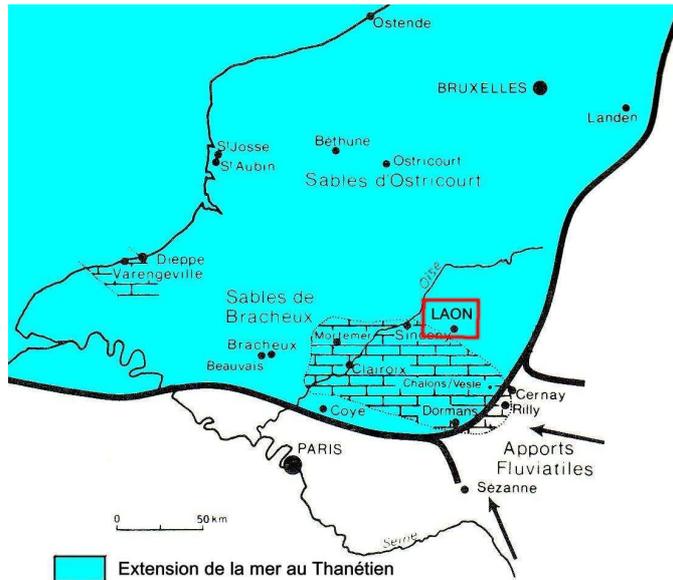


**Document 2 : conditions de formation des roches de la butte de Laon**

**2a : conditions de formation des roches constitutives de la butte de Laon**

Roche	Conditions de formation
Calcaire, craie	Sédimentation marine
Sable	Sédimentation détritique, d'origine continentale (mer peu profonde)
Argile (et glauconie)	Sédimentation détritique lagunaire, apports fluviaux (mer peu profonde)

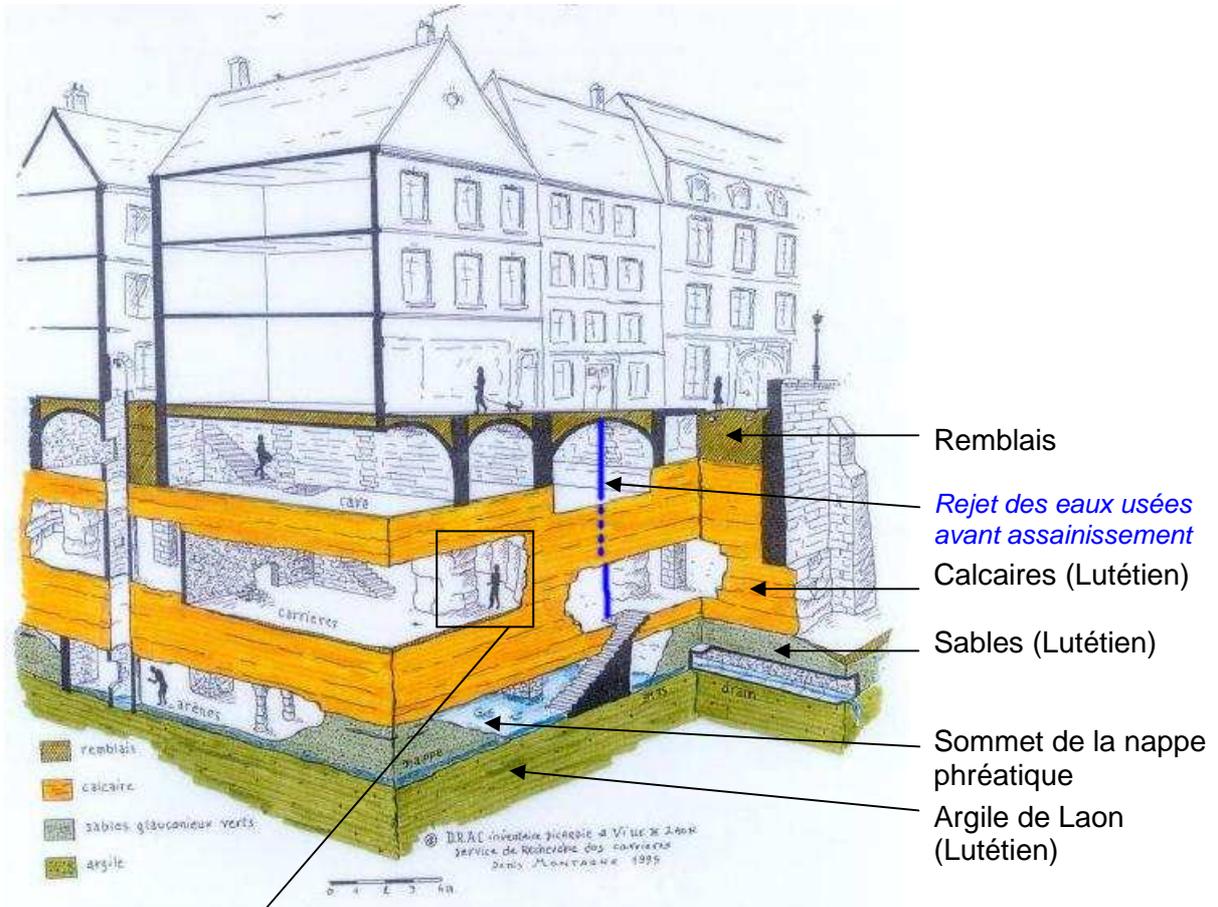
**2b : extension probable de la mer au Thanétien et au Sparnacien et apports détritiques continentaux**



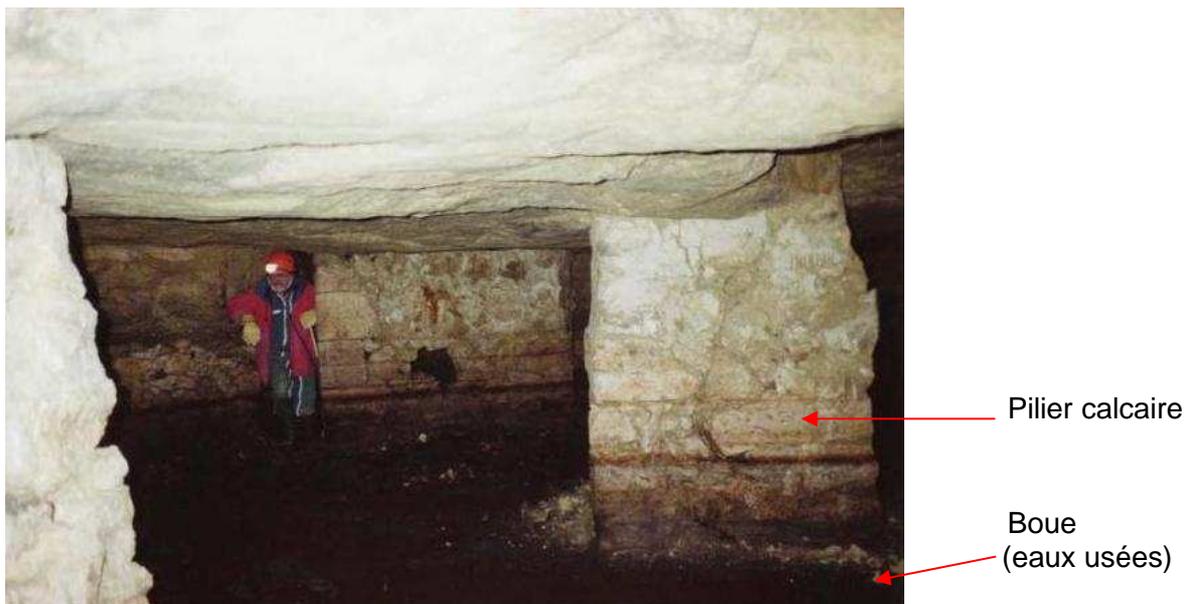
*D'après le guide géologique régional « Régions du nord », éd. Masson*

### 3 : les sous-sols de Laon

#### 3a : dessin de l'organisation des sous-sols de Laon



#### 3b : photographie prise dans une carrière



*D'après Denis Montagne, Service de recherche et d'inspection des carrières de Laon*

**Document 4 : origine des apports d'eau dans la nappe perchée au 20<sup>ème</sup> siècle avant mise en place du réseau d'assainissement (1995)**

Apports des eaux de pluie	Apports des eaux usées
100 000 m <sup>3</sup> /an	150 000 m <sup>3</sup> /an

*D'après Denis Montagne, Service de recherche et d'inspection des carrières de Laon*

**Document 5 : le Plan de Prévention des Risques de Laon**

**5a : cartographie de l'aléa de l'ensemble du secteur d'étude**

La carte d'aléa matérialise les zones où la probabilité qu'un phénomène dangereux se produise existe avec divers degrés de prédisposition. Deux phénomènes sont probables à Laon : les effondrements en raison des anciennes carrières souterraines, et les glissements et ravinements de terrain en raison de la géologie et de la topographie des pentes de la butte, majoritairement constituées de sable et d'argile.

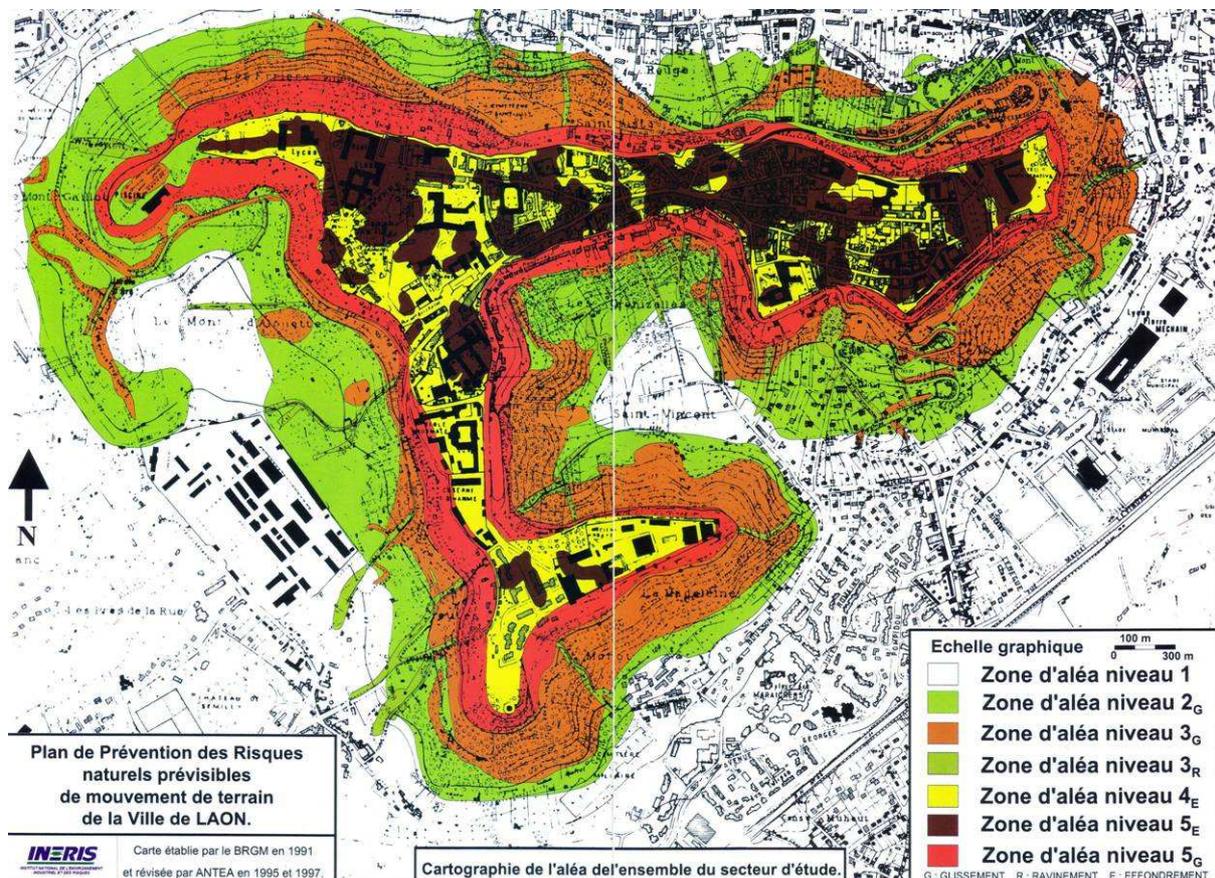
L'aléa est hiérarchisé de 1 à 5 selon le degré de risque potentiel (le risque 0 n'existe pas) avec des couleurs appropriées.

G : glissement

R : ravinement

E : effondrement

En blanc : pourtours de la butte (altitude 80 mètres)



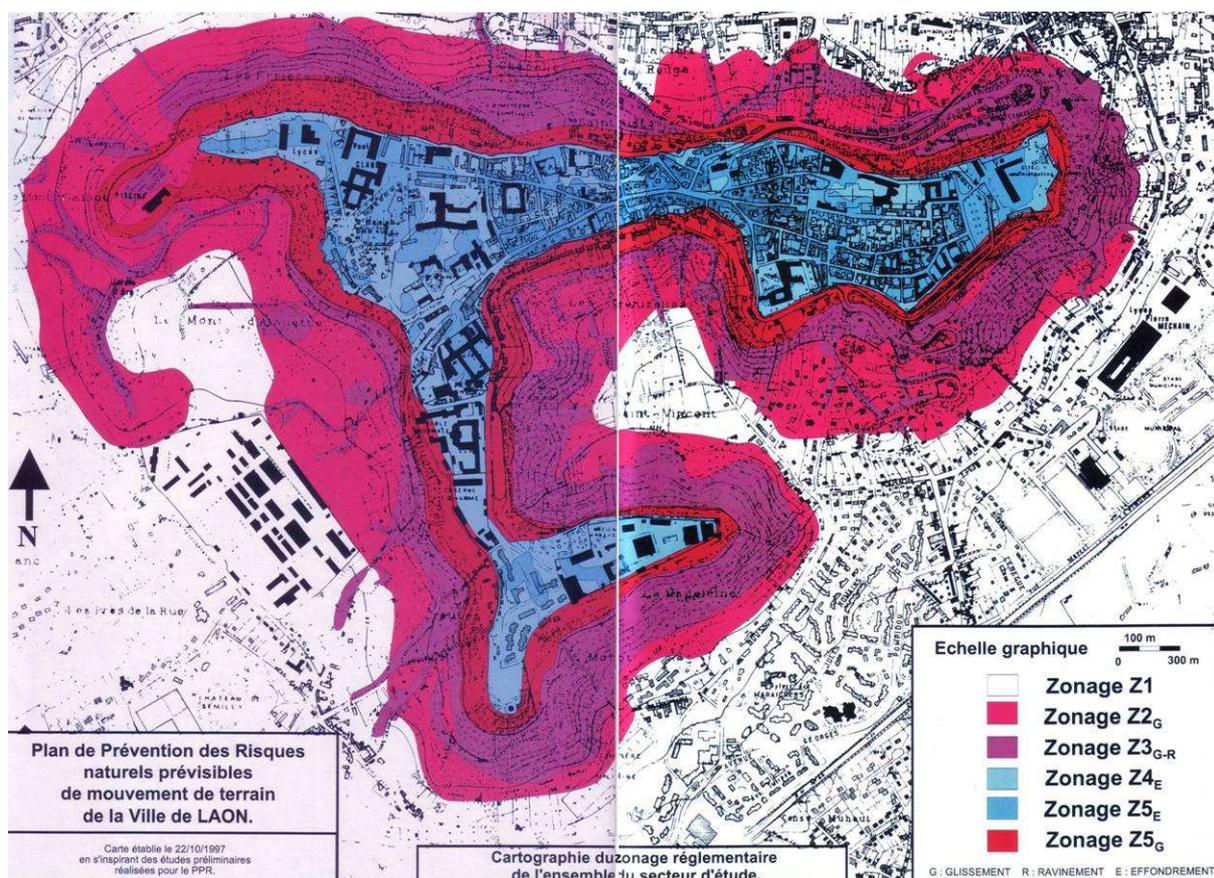
## 5b : cartographie du zonage réglementaire de l'ensemble du secteur d'étude

La carte « réglementaire », conçue d'après la carte des aléas (5a), reprend les contours de cette dernière et y applique de nouvelles couleurs : nuances de bleu pour les risques d'effondrement et nuances de rose pour le risque de glissement - ravinement. Les niveaux (numéros) sont repris et des règles et obligations y sont attachées.

- Dans les zones à risque d'effondrement, une visite des sous-sols par le service de recherche des carrières est obligatoire. Il reconnaît l'état des vides (carrières...) pour la zone Z5E et dresse une cartographie pour la zone Z4E avec pré-diagnostic. En cas de désordre, cette reconnaissance est suivie d'une étude réalisée par un bureau d'étude spécialisé. Il statue sur les consolidations qui supprimeront définitivement tout risque d'effondrement.

Tout facteur aggravant (rejet des eaux usées dans les sous-sol, etc.) est surveillé et interdit, et toute construction nouvelle doit comporter des fondations spéciales.

- Pour les zones de glissement – ravinement, les phénomènes sont souvent moins brutaux que les effondrements, mais ils sont irrémédiables et hors d'échelle par rapport aux possibilités techniques d'intervention actuelles. La prévention passe par une surveillance régulière des zones. Pour diminuer et à défaut stabiliser l'aléa, toute construction nouvelle est interdite.



*D'après Denis Montagne, Service de recherche et d'inspection des carrières de Laon et l'INERIS  
Extrait de TDC n°843*

I – Le contexte géologique de la formation de la butte de Laon

**1/ A l'aide des documents 1b et 2, reconstituer quels événements ont été à l'origine de la formation des roches de la butte de Laon.**

**2/ Sachant que les roches du Cuisien, majoritairement sableuses, sont meubles tandis que les calcaires sont des roches cohérentes, expliquer à l'aide des documents 1a et 1b comment la butte témoin a pu se constituer et les raisons de cette appellation.**

II – La dégradation récente des souterrains de la butte de Laon liée aux activités humaines

Le calcaire, roche cohérente, a été utilisé par les bâtisseurs pour construire les édifices. Le sable était inclus dans du mortier pour lier les pierres. De nombreuses carrières, sur plusieurs niveaux, ont donc vu le jour. Des piliers de soutènement, des murs, des voûtes ont permis le maintien de la structure jusqu'au 19<sup>ème</sup> siècle. Les souterrains furent utilisés comme habitation, cave, lieu militaire stratégique... et donc régulièrement entretenus.

Au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, l'intérêt pour les souterrains décroît et leur entretien ne se fait plus. En parallèle, la population laonnoise augmente et les eaux usées sont rejetées directement dans les souterrains, la ville ne disposant pas de réseau d'assainissement.

Des manifestations externes importantes de la dégradation des souterrains (glissements de terrains, affaissements) ont amené la ville de Laon à rechercher les causes puis des solutions aux risques d'effondrement apparus, et à élaborer un Plan de Prévention des Risques.

**3/ À partir des documents 1b, 3 et 4, proposer une explication à la dégradation des carrières de Laon (et donc à l'apparition du risque d'effondrement) à partir du 19<sup>ème</sup> siècle.**

**4/ Schématiser le document 3b en indiquant le niveau probablement atteint par l'eau dans cette carrière dans le passé.**

Un réseau d'assainissement obligatoire pour toute construction a été mis en place, ce qui a supprimé l'apport d'eaux usées à la nappe perchée. En outre, l'ensemble du sommet de la butte est urbanisé, donc couvert de goudron imperméable.

**5/ Proposer une hypothèse quant à l'avenir de la nappe perchée et les conséquences possibles pour le bâti.**

**6/ Une société immobilière souhaite faire construire un petit immeuble sur la butte de Laon. Au vu du Plan de Prévention des Risques (PPR) établi par la ville (document 5b), quels conseils donner à cette agence immobilière quant à l'implantation de son immeuble et à quelles contraintes de construction devra-t-elle se plier? Positionner sur le document 5b un endroit possible pour la construction de l'immeuble.**

## Exercice 4 : le déplacement des plaques tectoniques à l'origine d'une catastrophe

Le 27 décembre 2004 à 00 h 58 min 53 s UTC (7 h 58 min 53 s heure locale à Jakarta et Bangkok) a eu lieu au large de l'île indonésienne de Sumatra un séisme d'une magnitude de 9,1 à 9,3<sub>1</sub> sur l'échelle de Richter.

Ce tremblement de terre est l'un des plus violents jamais enregistrés dans le monde. Celui-ci a provoqué un raz de marée (ou tsunami) qui a frappé l'Indonésie, les côtes du Sri Lanka et du sud de l'Inde, ainsi que le Sud de la Thaïlande et l'île touristique de Phuket. Le bilan en pertes humaines est catastrophique : selon le bilan officiel du 26 juin 2005, il y a eu 222 046 morts et disparus (entre 216 000 et 232 000 morts selon les différentes évaluations).

La propagation de l'onde de tsunami a pris plusieurs heures pour atteindre certains des pays touchés.

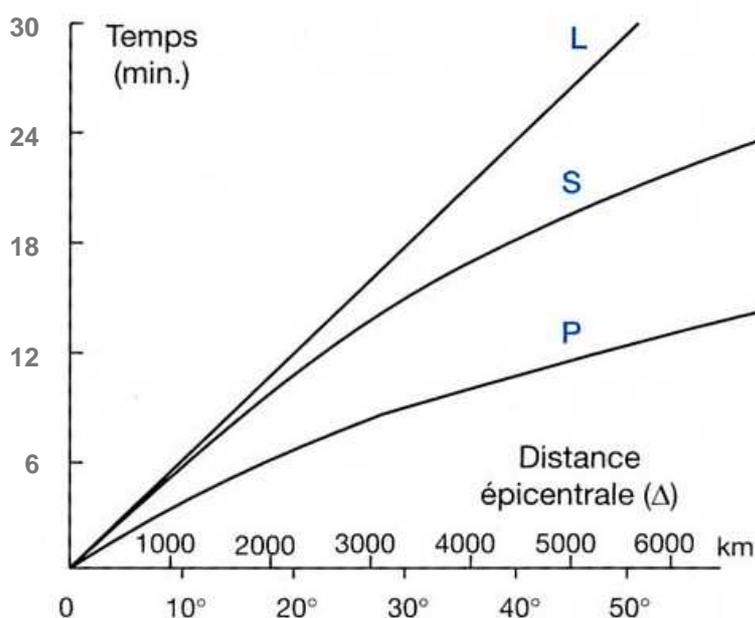
**Quelle est l'origine de ce séisme ? Comment a-t-il pu générer un tsunami ? Connaissant l'existence d'un tsunami, comment agir pour en diminuer les conséquences ?**

Document 1 : enregistrement des ondes sismiques dans trois stations

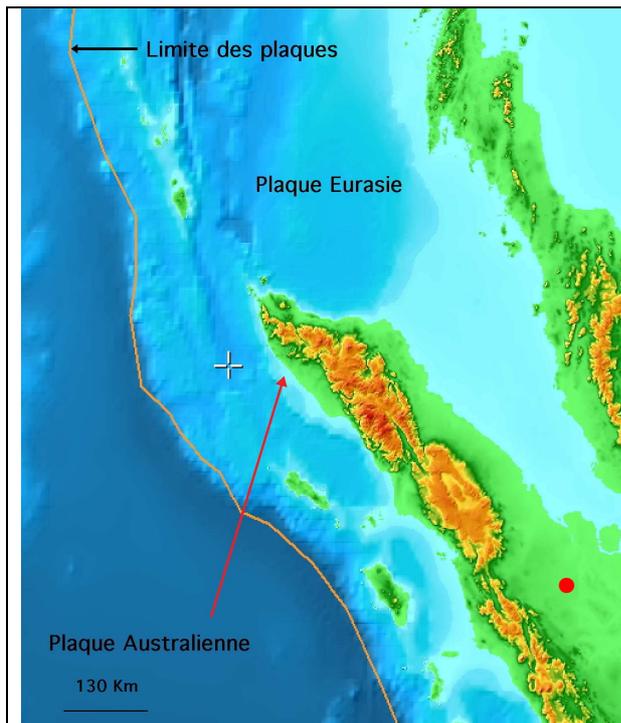
(source : Project IDA, <http://ida.ucsd.edu/SpecialEvents/2004/361/a/index.shtml>)

Localisation des stations	Heure d'arrivée des ondes P	Heure d'arrivée des ondes S
Station des îles Cocos	1 h 02 min 30 s	1 h 06 min 00 s
Station sur l'île de Diego Garcia	1 h 04 min 00 s	1 h 09 min 20 s
Station basée au Sri Lanka	1 h 02 min 30 s	1 h 06 min 00 s

Documents 2 : hodographe



Document 3 : carte de la limite des plaques et de la direction du déplacement des plaques  
(origine du document : logiciel sismolog)



Si l'on considère Singapour comme la station de référence, la flèche rouge indique la direction du mouvement de la plaque australienne.

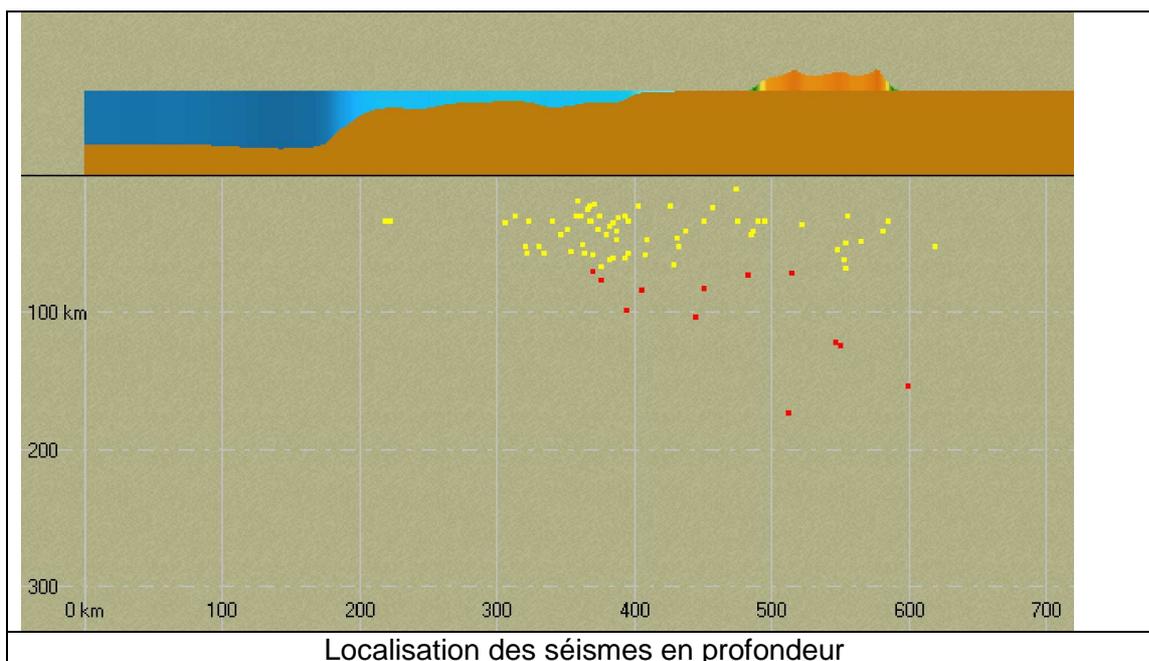
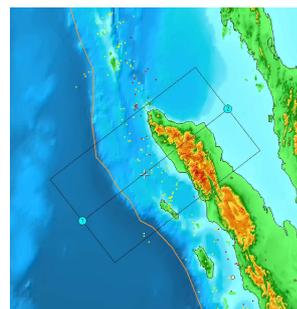
Les calculs de déplacements relatifs indiquent que la plaque australienne par rapport à l'Eurasie se fait avec une vitesse de 61 mm/an environ dans cette région.

- Repère géographique situé à 350 Km à l'ouest de la station de Singapour et à 2000 Km environ au nord-est des îles Cocos.

#### Document 4 : coupe

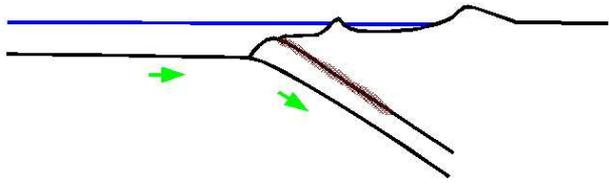
(Origine du document : logiciel sismolog)

L'utilisation du logiciel Sismolog permet de localiser les séismes qui ont eu lieu dans cette région. Les points jaunes représentent les séismes superficiels (entre 0 et 70 km de profondeur) et les points rouges les séismes intermédiaires (entre 70 km et 300 km de profondeur). La petite carte à droite indique le trait de coupe.

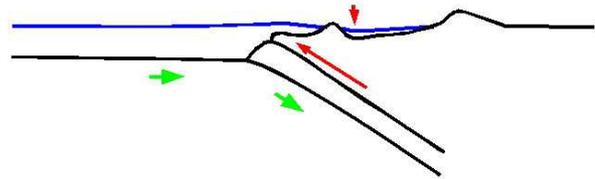


Document 5 : relaxation des contraintes

Le premier schéma orienté SW-NE montre la situation qui prévalait avant le séisme. La faille est bloquée (partie hachurée) et le mouvement asismique (flèches vertes) de la plaque australienne place les différents compartiments sous contrainte de compression.

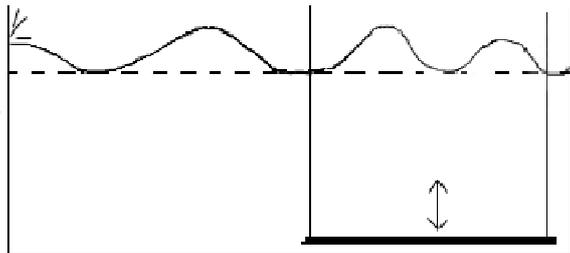


La relaxation de ces contraintes se produit le long de cette faille. Cela induit un basculement du bloc vers le nord-est (flèches rouges). Le mouvement du fond sous-marin perturbe le niveau marin et crée une onde qui se propage avec une faible amplitude en pleine mer.

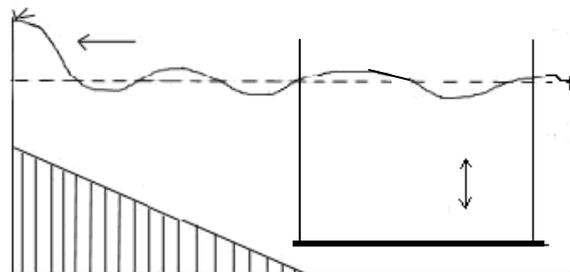


Document 6 : expériences réalisées par des élèves

Dans un aquarium rempli d'eau, on introduit une plaque maintenue par quatre câbles métalliques. Sa manipulation permet d'exercer un mouvement vertical qui déclenche une série de vagues observées grâce à un papier filtre fixé à une des plus petites parois de l'aquarium. La plaque qui exerce un mouvement vertical représente le fond marin qui peut se soulever, se déformer. La force générée produit une série de vagues. Les résultats obtenus sont satisfaisants, mais ne décrivent pas réellement un tsunami.



Même expérience que la première mais en insérant cette fois-ci un plan incliné imitant la côte. L'amplitude de la vague contre la paroi est suffisamment importante pour la comparer à un tsunami.



## Document 7 : caractéristiques d'une onde dans le cas de la propagation des vagues

Dans le cas de l'océan, les ondes de surface (vagues) se matérialisent par une déformation de la surface de la mer, c'est-à-dire de l'interface entre l'atmosphère et l'océan.

On peut caractériser une onde avec :

- Sa période  $T$  (temps entre deux crêtes successives)
- Sa longueur d'onde  $\lambda$  (distance entre 2 crêtes de vagues)
- Sa vitesse de propagation  $V$  en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Son amplitude  $A$  en  $\text{m}$

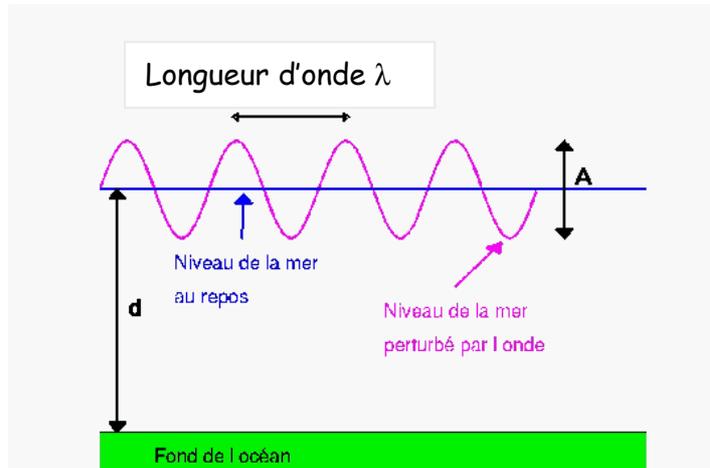


Schéma théorique de la propagation des ondes de surface au niveau d'un océan dans un cas ordinaire. Les échelles ne sont pas respectées.

On sait que la longueur d'onde d'un tsunami (distance parcourue par la déformation en une période) est en général de plusieurs centaines de kilomètres et que la hauteur des vagues est infime. C'est pourquoi, un tsunami au large peut passer sous les bateaux sans être ressenti.

En eau profonde (4000 à 6000 m) la vitesse de propagation est très importante ( $800 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) et l'amplitude est faible (quelques dizaines de cm).

Près des côtes, les vagues sont ralenties par la diminution de profondeur, la vitesse diminue ( $36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

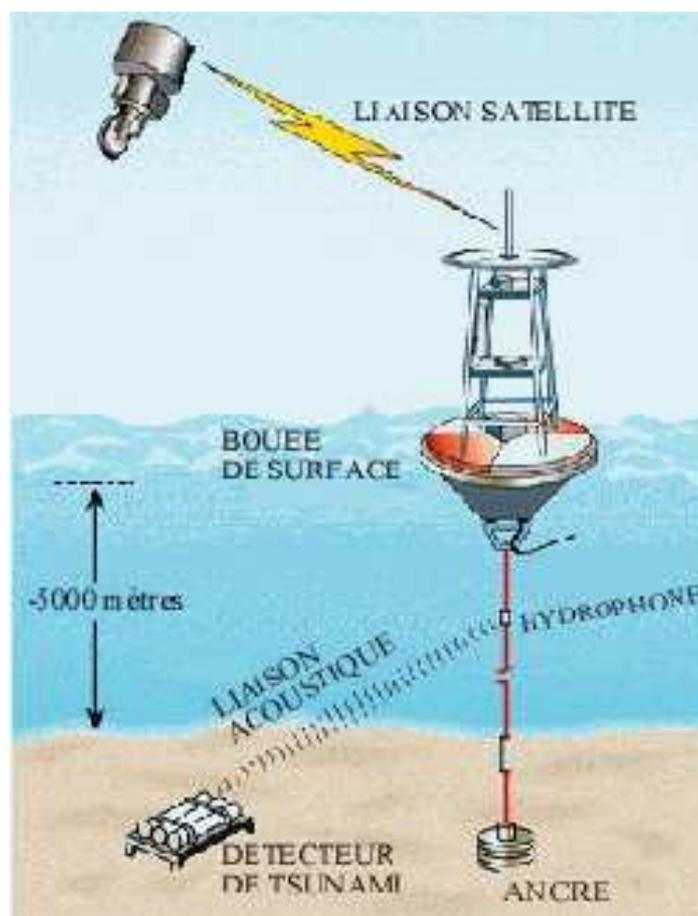
Un tsunami se propage avec très peu de perte d'énergie mécanique totale.

$$\begin{array}{l} \text{Énergie} \\ \text{mécanique} \\ \text{totale} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Énergie cinétique} \\ \text{en rapport avec} \\ \text{la vitesse} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Énergie potentielle} \\ \text{liée à l'amplitude} \\ \text{des vagues} \end{array}$$

Document 8 : exemples de pictogrammes



Document 9 : systèmes de détections et d'alertes



Document 10 : Tilly Smith sauve des vies  
(Encyclopédie Française)

Tilly, une petite anglaise de 10 ans, a sauvé la vie d'une centaine de personnes à Phuket en Thaïlande grâce à son professeur de géographie, qui leur avait expliqué comment repérer un tsunami... "Lors du dernier trimestre, M. Kearney nous avait parlé des tremblements de terre et de la façon dont ils peuvent provoquer des tsunamis", a expliqué Tilly, samedi, à la Une du Sun, le journal le plus vendu en Grande-Bretagne [...] "J'étais sur la plage et l'eau est devenue bizarre, il y avait des bulles et soudain la marée a commencé à se retirer. J'ai compris ce qui se passait, j'ai eu le sentiment qu'un tsunami allait arriver et je l'ai dit à maman", a raconté la fillette, permettant l'évacuation de la plage et de l'hôtel voisin avant l'arrivée du raz-de-marée. Grâce au réflexe de la fillette, en vacances en Thaïlande avec ses parents et sa petite soeur de 7 ans, personne n'a été tué ou sérieusement blessé sur la plage de Maikhao, selon le Sun. Interrogé par le journal, Andrew Kearney, le professeur de géographie de Tilly, à Oxshott, dans le Surrey (sud de l'Angleterre), a confirmé avoir expliqué à ses élèves qu'à partir du moment où la mer se retirait, il y avait 10 minutes pour réagir avant l'arrivée du tsunami.

**Questions :**

1) Localisation de l'épicentre du séisme

**A l'aide des documents 1 et 2, expliciter votre démarche afin de localiser l'épicentre du séisme sur la carte jointe en annexe (à rendre avec la copie).**

2) L'origine du séisme

**Grâce à l'analyse détaillée des documents 3 et 4, expliquer quelle est l'origine de ce séisme.**

3) Une des conséquences de ce séisme : le tsunami

**A l'aide des documents 5 à 7, rechercher l'origine du tsunami.**

4) La prévention des tsunamis

**A l'aide des documents 8 à 10, quelles seraient, selon vous, les mesures à prendre pour limiter les conséquences d'un tsunami sur les populations ?**

**Document Annexe à rendre avec la copie : emplacement des stations d'enregistrement**

(origine du document : Google earth)

