

Thème 2 : Enjeux planétaires contemporains

TP5 - Des indices pour reconstituer les paléoclimats



Problème :

Comment peut-on reconstituer le climat sur des périodes très anciennes ?

Activité 1. Des indices paléontologiques : retrouver le taux de CO₂ à partir de feuilles fossiles : utilisation de l'indice stomatique (Bordas p 141)

Question : On cherche à savoir s'il y a une relation entre le nombre de stomates chez le *Ginkgo biloba* et la concentration en CO₂ de l'atmosphère.

A partir de l'ensemble des documents proposés, déterminez l'indice stomatique d'une feuille de *Ginkgo biloba* dans notre atmosphère (370 ppmV de CO₂) et construisez le graphique mettant en évidence cette relation (le graphique devra parfaitement être mis en forme).

En quoi l'indice stomatique peut-il nous renseigner sur le climat passé ?

Doc 1. L'indice stomatique



Feuille de *Ginkgo biloba* actuel



Stomate dans l'épiderme d'une feuille de *Ginkgo biloba* actuel : microscope optique x 600

Les stomates sont des structures formées de deux cellules stomatiques délimitant une ouverture appelée ostiole. Ils sont situés dans l'épiderme de la feuille entre les cellules épidermiques non chlorophylliennes.

Ces structures permettent les échanges gazeux avec l'atmosphère, en particulier l'absorption du CO_2 atmosphérique.

Important : Les deux cellules stomatiques constituent un seul stomate. Elles ne comptent donc que pour une unité, dans le calcul de l'indice stomatique.

L'indice stomatique (IS) correspond au nombre de stomates (S) dénombré sur la face inférieure des feuilles par rapport au nombre total de cellules de cet épiderme, c'est-à-dire la somme des cellules non chlorophylliennes (CNC) et des stomates (S).

Il est exprimé en %

$$\text{IS (en \%)} = \frac{S \times 100}{(\text{CNC} + S)}$$

Doc 2. Protocole expérimental

- **Mesurer** l'indice stomatique actuel du *Ginkgo biloba* :
- **Enduire** la face inférieure de l'épiderme de vernis à ongle transparent.
- **Retirer** le film de vernis une fois celui-ci sec (empreinte).
- **Observer** cette empreinte au microscope (préparation microscopique).
- **Calculer** l'indice stomatique de la feuille.

Doc 3. Relation entre le taux de CO₂ et l'indice stomatique de feuilles du Ginkgo biloba






Données de laboratoire	
PCO ₂ (ppmV)	Indices stomatiques (%)
290	15,8
296	15,6
300	14
310	13,8
320	12,6
330	12,5
335	11
370	

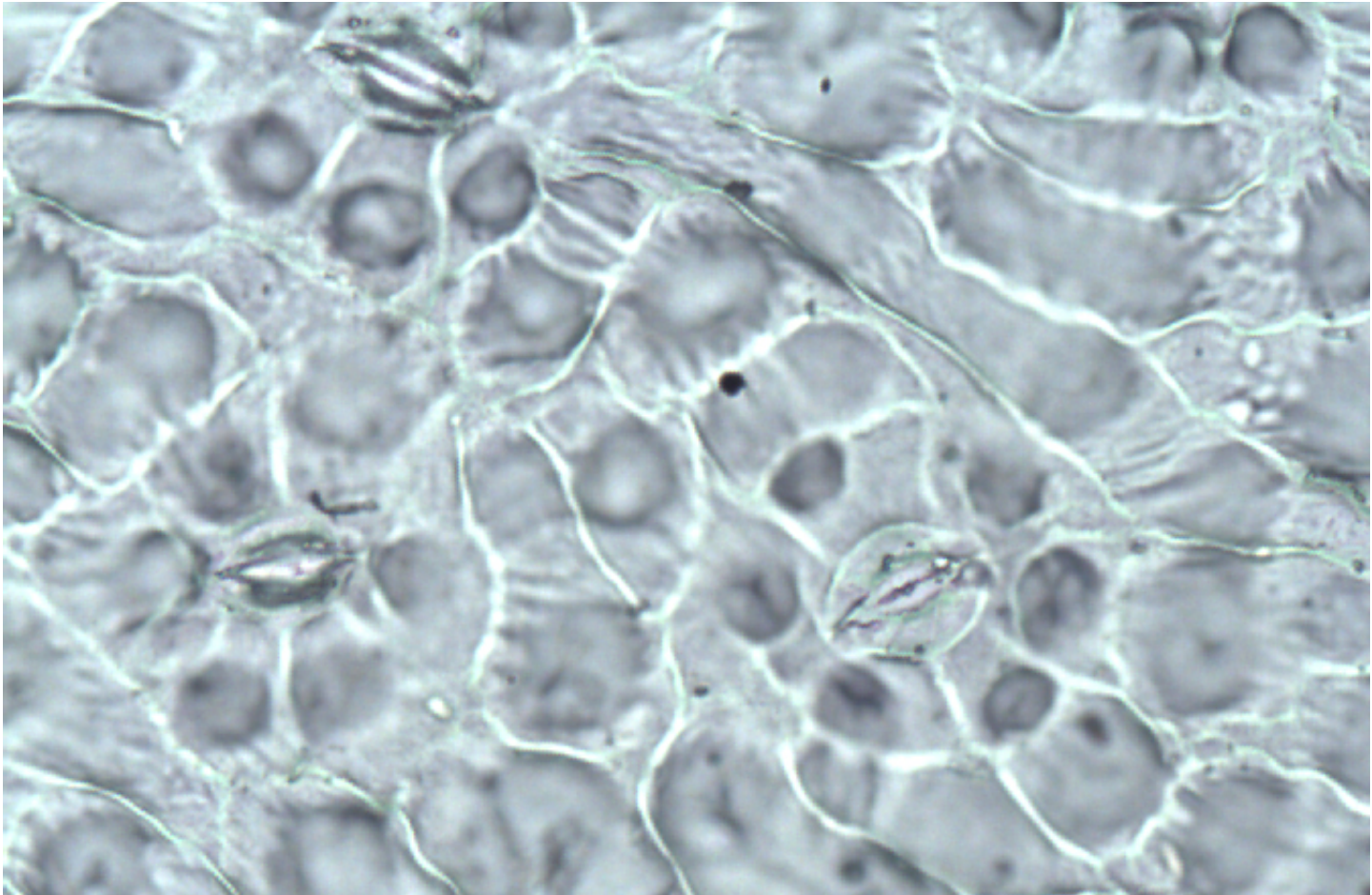
La teneur en CO₂ est mesurée en ppmV (parties par million en volume)

La relation entre l'indice stomatique et le taux de CO₂ atmosphérique semble être assimilable à une droite.

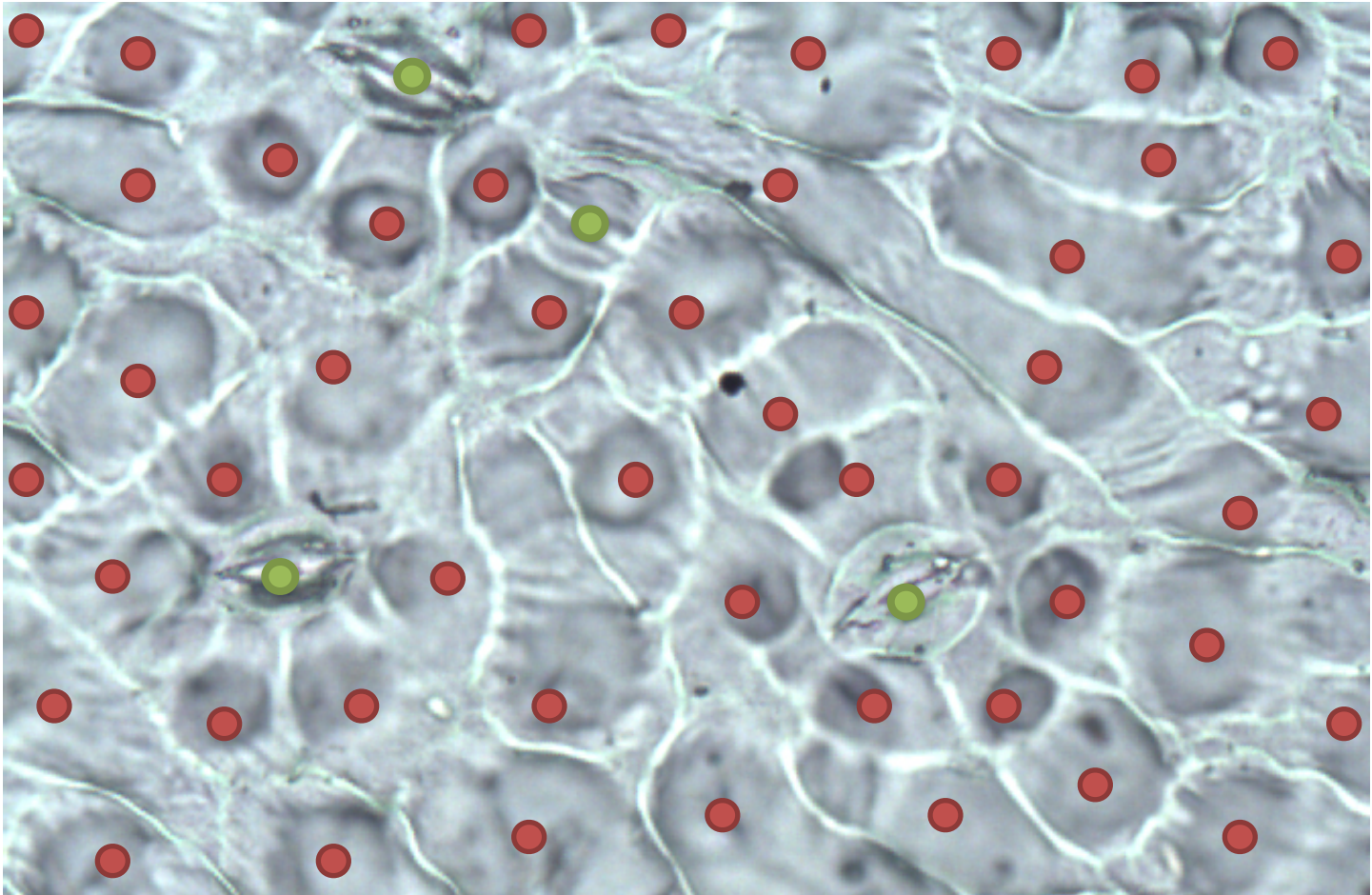
Doc 4. Tutoriel Excel

UTILISATION DU TABLEUR GRAPHEUR EXCEL

Ouvrir un fichier	Construire un deuxième axe (Y)												
<p> ou menu «Fichier/Ouvrir» et rechercher le fichier de données.</p>	<p>- Double-cliquer sur la courbe à laquelle vous voulez attribuer un axe différent pour ouvrir la fenêtre «format de série de données» Cliquer sur «sélection de l'axe» puis sur «Axe secondaire» (mise à l'échelle de la courbe sélectionnée indépendamment des autres)</p>												
Construire et remplir un tableau de mesures	Legender le graphique												
<p>- Inscrire les valeurs de la variable X dans la colonne de gauche - Utiliser ensuite autant de colonnes que de paramètres Y mesurés</p> <table border="1" data-bbox="434 349 821 435"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X</td> <td>Y1</td> <td>Y2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table> <p>- Déplacer une colonne : couper puis par clic droit / coller</p>		A	B	C	1	X	Y1	Y2	2	0	0	80	<p> Eichier Edition Affichage Insertion Format Outils Graphique</p> <p>Menu «Graphique» ou clic droit sur le graphique «Options du graphique»</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titres • Titre du graphique • Axe des abscisses (X) • Axe des ordonnées (Y) (axe Y1) • Axe des (Y) superposé (axe Y2) <p><i>S'ils n'ont pas été insérés au moment de la construction</i></p>
	A	B	C										
1	X	Y1	Y2										
2	0	0	80										
Réaliser des calculs	Mettre en forme le graphique												
<p>- Sélectionner la cellule destinée à recevoir le résultat - Entrer une fonction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soit utiliser les fonctions intégrées au logiciel <p> pour ouvrir le menu «coller une fonction» et choisir la fonction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soit taper directement la fonction <p>- Taper = et la fonction - Modifier éventuellement la fonction manuellement en respectant la syntaxe Ex : =SOMME(B2:B12) de B2 à B12 ou =SOMME(B4;C5) de B4 + C5</p>	<p>- Sélectionner l'élément à mettre en forme (double clic) - Sélectionner le type de mise en forme</p>												
Construire un graphique du type $y = f(x)$	Modifier les titres et ajouter des légendes												
<p>- Sélectionner la 1^{ère} cellule de la colonne X et étendre la sélection à l'ensemble du tableau avec la souris ou au clavier en utilisant les touches du curseur tout en maintenant la touche shift enfoncée <i>Excel mettra automatiquement en abscisse les données de la première colonne de gauche et en ordonnées celles des différentes colonnes de droite</i> - Insérer un graphique menu «graphique»</p> <p> Eichier Edition Affichage Insertion Graphique...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Assistant graphique - Etape 1 sur 4 - Type de graphique choisir nuages de points reliés ou pas par une courbe • Assistant graphique - Etape 2 sur 4 - Données source du graphique cocher «série en colonnes» • Assistant graphique - Etape 3 sur 4 - Options du graphique (sauter cette étape si vous désirez construire un second axe Y) Titre du graphique, de l'axe des abscisses (X); de l'axe des ordonnées (Y), légende • Assistant graphique - Etape 4 sur 4 - Emplacement du graphique sur une nouvelle feuille ou dans la feuille active • Pour effacer une courbe d'un graphique : Sélectionner la courbe en double cliquant sur les points de cette courbe et taper sur la touche 	<p>- Tous les titres peuvent être déplacés en les sélectionnant - Un clic droit sur un titre ouvre la fenêtre «format de titre du graphique» qui permet de modifier les motifs, la police et l'alignement - La barre d'outils dessin offre la possibilité de tracer des lignes, des flèches et de déterminer des zones de texte dans le graphique</p> 												
	Construire une courbe de tendance ou de régression												
	<p>- Sélectionner la courbe à sélectionner - menu «graphique» (ou clic droit sur la courbe) et sélectionner «ajouter une courbe de tendance»; choisir le type à choisir selon les cas. - Dans «options»; cocher éventuellement «afficher l'équation sur le graphique»</p>												



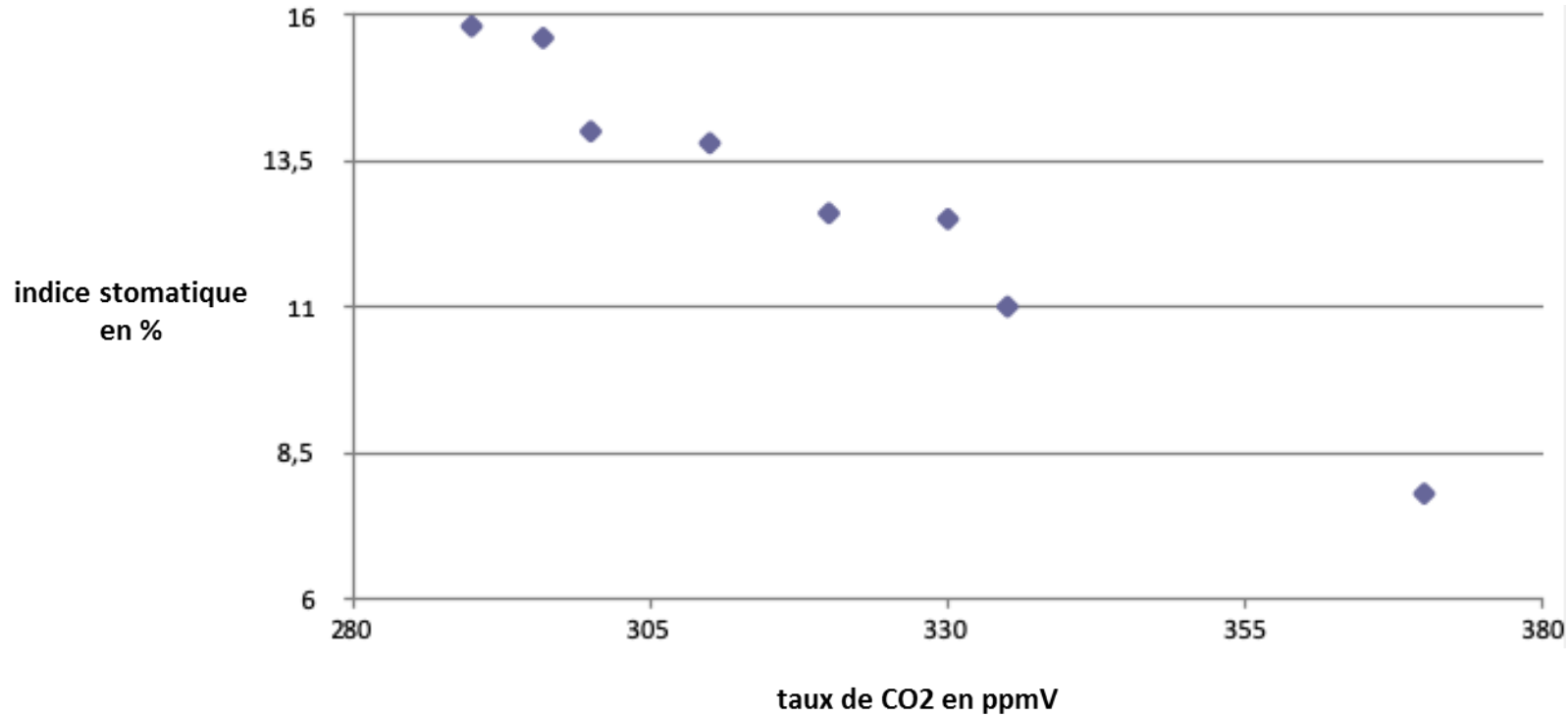
Microphotographie réalisée à partir d'une empreinte d'épiderme de feuille de ***Ginkgo biloba*** actuel



Microphotographie réalisée à partir d'une empreinte d'épiderme de feuille de ***Ginkgo biloba*** actuel

Données de laboratoire	
PCO ₂ (ppmV)	Indices stomatiques (%)
290	15,8
296	15,6
300	14
310	13,8
320	12,6
330	12,5
335	11
370	7,8

Indices stomatiques (%) du *Ginkgo biloba* en fonction du taux atmosphérique de CO₂ (ppmV)

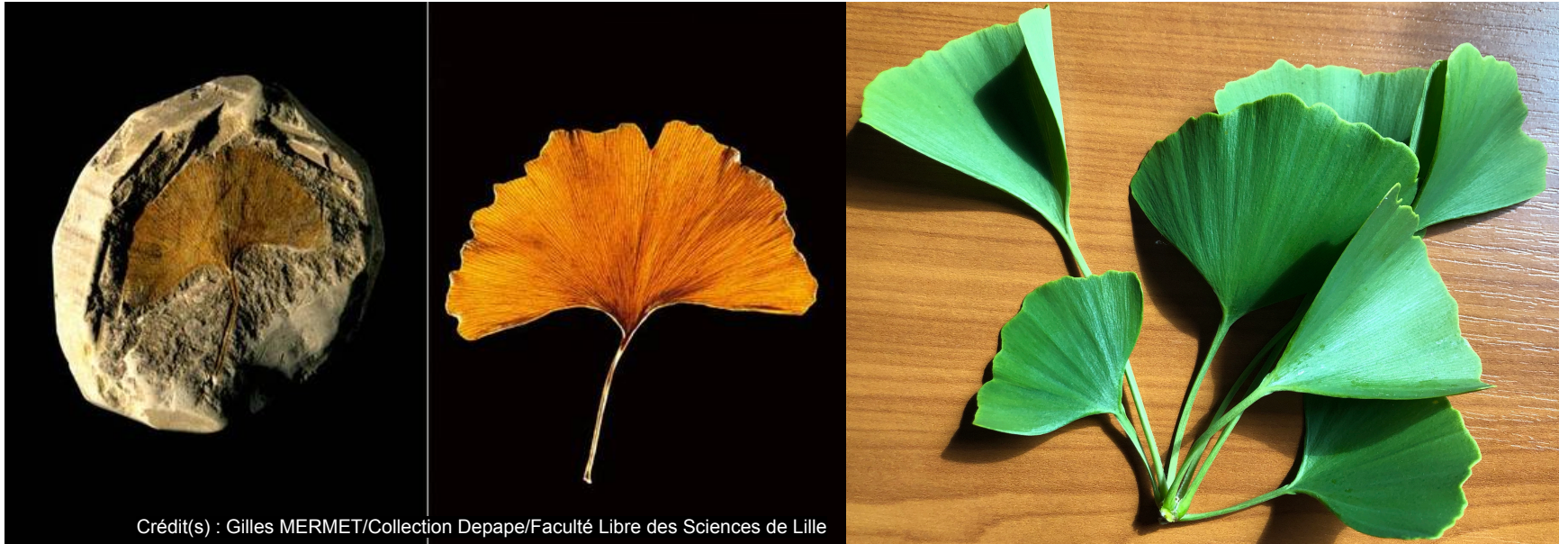


Plus le taux de CO₂ est important, moins il y a de stomates sur les feuilles de *Ginkgo*, donc + l'indice stomatique est faible.

Considérant que le *Ginkgo biloba* est une espèce qui a peu varié depuis le Crétacé, on peut déterminer l'indice stomatique des feuilles fossiles et ainsi retrouver le taux de CO_2 régnant à l'époque où le « fossile vivait ».

Or, le taux de CO_2 est directement relié à la température (effet de serre).

Par exemple, on a pu déterminer qu'au Crétacé, le taux de CO_2 était 5 x supérieur au taux actuel.



Crédit(s) : Gilles MERMET/Collection Depape/Faculté Libre des Sciences de Lille

Fossile de feuille de ginkgo (*Ginkgo adiantoides*) datant de l'ère tertiaire (Pliocène inférieur) il y a 5 millions d'années. Le ginkgo est l'un des arbres les plus vieux du monde, apparu dans un climat chaud et humide, entre la fin de l'ère primaire et le début de l'ère secondaire, il y a 250 millions d'années. À la fin de l'ère secondaire, il couvrait plus de la moitié du monde, mais il a décliné au cours du Tertiaire. Si cette unique espèce "biloba" a survécu, son ère de répartition s'est progressivement réduite au sud-est de la Chine. Les feuilles n'ont pas changé depuis leur apparition sur Terre.

Activité 2. Fossiles, roches sédimentaires et volcanisme : des témoins du climat passé

Q1 - Quel climat régnait en France au Carbonifère ? Quel principe utilisez-vous ?

Q2 - Quels climats régnaient en Provence il y a 140 Ma et en Namibie il y a 600 Ma ? Expliquez.

Q3 - Expliquez l'origine de la forte température régnant au Crétacé et la forte sédimentation carbonatée.

• Fossiles et climats du passé

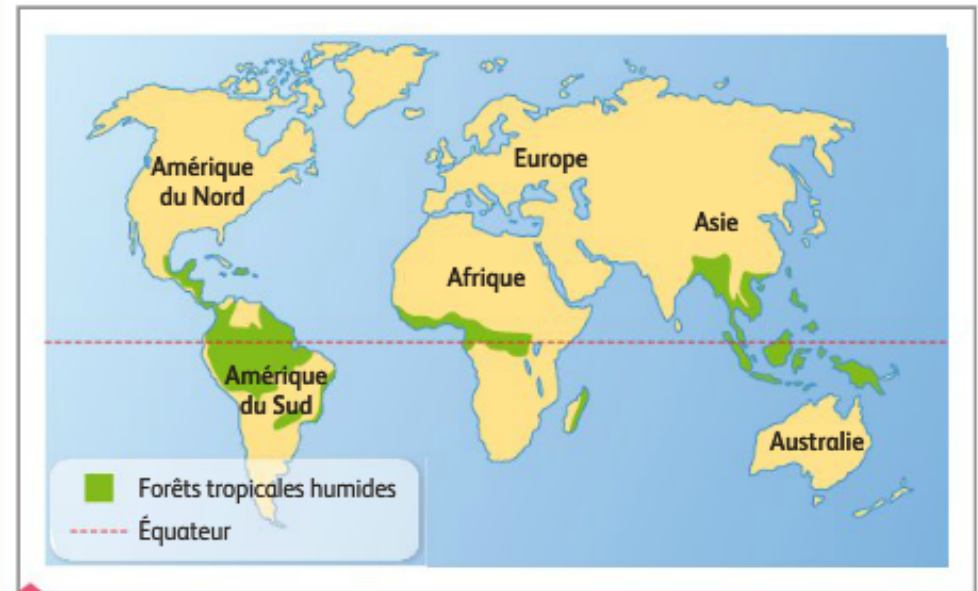
1 Forêt carbonifère et fougères arborescentes

► L'essentiel du charbon exploité en France a livré de nombreux fossiles de fougères. Les troncs fossilisés indiquent qu'il s'agissait de **fougères arborescentes**.



► Les fougères arborescentes constituent actuellement un groupe de végétaux chlorophylliens qui nécessitent la présence importante d'eau dans leur milieu pour assurer une partie de leur cycle de reproduction.

► En 1726, James Hutton formule le principe d'actualisme : « *Les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé* ». Appliqué aux êtres vivants, il suppose que les espèces fossiles avaient des exigences écologiques semblables aux espèces qui leurs sont proches actuellement.



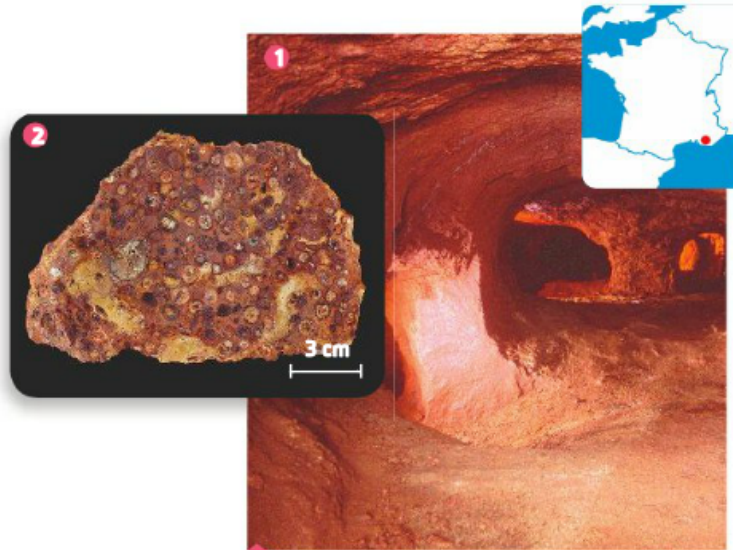
b Répartition des principales forêts tropicales humides dans le monde.

Q1 - Fossiles de fougères arborescentes tropicales. Donc climat tropical en France au Carbonifère. Principe d'actualisme.

• Roches sédimentaires et climats du passé

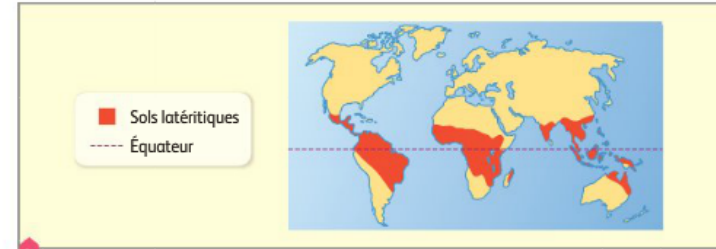
1 Bauxites provençales et latérites tropicales

► La bauxite est un **minéral** d'aluminium plus ou moins riche en fer, découvert en 1821 aux Baux de Provence. Dans cette localité, le minéral, riche en oxyde d'aluminium (Al_2O_3), se présente sous forme de poches formées dans des calcaires altérés.

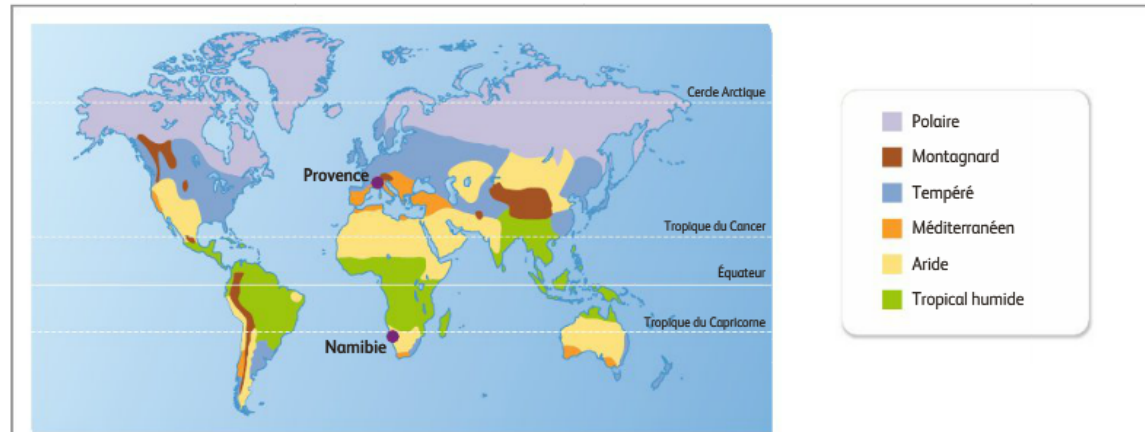


a Mine de bauxite aux Baux de Provence **1** et échantillon de bauxite **2**.

► Les roches silicatées s'altèrent par hydrolyse : en présence d'eau, les éléments chimiques constitutifs des minéraux de ces roches sont lessivés (silice, Ca, Mg, K, Na) tandis que d'autres comme le fer et l'aluminium, moins solubles, ont tendance à rester sur place. Ils participent à la formation d'argiles ou précipitent sous forme d'hydroxydes. Les sols rouges qui en résultent sont des **latérites**.



b Carte de répartition des sols latéritiques dans le monde actuellement.



c Carte des principales zones climatiques du monde.

Q2 - bauxite et sols latéritiques = témoin de sols lessivés donc fortement érodés donc climat tropical très humide il y a 150 Ma (Jurassique).

2 Les traces laissées par les glaciers

À l'échelle du globe, les périodes froides sont caractérisées par l'existence de calottes glaciaires aux pôles et de glaciers en montagne. L'érosion glaciaire est essentiellement mécanique. La glace érode, polit et transporte des éléments de toutes tailles qui se déposent au front du glacier (moraine frontale) ou sur ses côtés (moraines latérales).

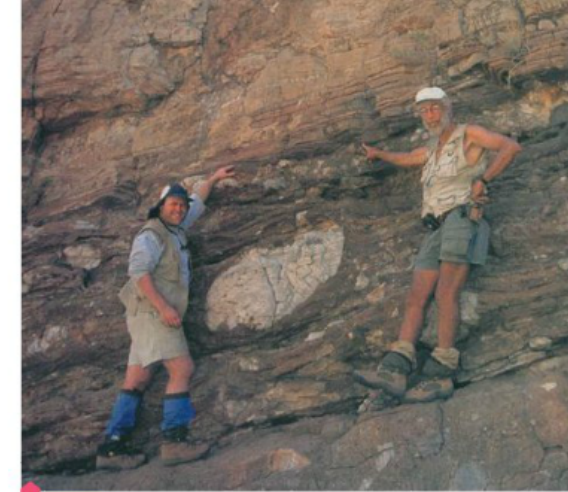
Sur la côte ouest de la Namibie au Sud-Ouest de l'Afrique, des affleurements très anciens (Protérozoïque, 600 Ma) montrent un empilement de roches sédimentaires. Les géologues pensent que le niveau carbonaté n'a pu se déposer que dans des eaux chaudes.



Glacier alpin et ses moraines.



«Ice rafted debris» inclus dans un sédiment marin (Protérozoïque, Namibie). Les blocs inclus dans les sédiments ont été transportés par des icebergs puis ont chuté dans le fond de l'océan lorsque les icebergs ont fondu.



Tillites surmontées d'un niveau calcaire (600 Ma, Namibie). Les deux géologues posent une main sur la limite entre le niveau carbonaté et la tillite.

Q2 - tillites = roches formées par érosion d'un glacier donc climat de type glaciaire. Soit calotte aux pôles, soit glacier de montagne.
Puis couche carbonatée = preuve d'un réchauffement.

Il y a 600 Ma, Namibie positionnée au pôle Sud (Pangée) puis dislocation et remontée des blocs en zone tropicale.

• Volcanisme et climats du passé

Doc 1. Des provinces sous-marines très étendues au Crétacé (doc 2 p 145 Bordas)

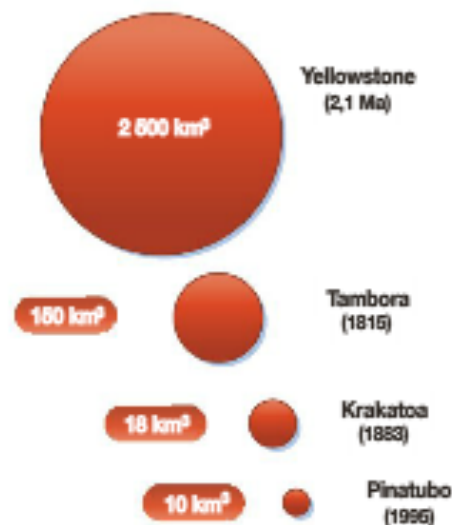


Principales Provinces Volcaniques Géantes (LIP en anglais)

Plateaux océaniques	Âge (Ma)	Surface (10 ⁶ km ²)	Épaisseur (km)	Volume de lave rejeté (en 10 ⁶ km ³)
Hikurangi	100	0,7	10-15	2,7
Manihiki	123	0,8	20	8,8
Ontong Java	120	1,9	30	44,4
Hess	99	0,8	15	9,1
Caraïbe	88	1,1	20	4,4
Kerguelen	110	1,0	22	6,0
Central Kerguelen/ Broken	86	1,0	20	9,1
Sierra Leone	73	0,9	10	2,5
Maud	73	0,2	10	1,2

Estimation des volumes de lave rejetés au niveau des Provinces Volcaniques Géantes

Au début des années 1970, grâce à des prospections sismiques, on découvre dans le Pacifique Ouest au niveau des îles Salomon (Ontong Java), une large portion de croûte océanique épaisse de plus de 30 km (contre 6 à 7 km par ailleurs). Le parallèle est vite établi avec les **trapps** continentaux, vastes étendues de laves empilées formant des falaises en escalier (comme en Sibérie ou en Inde, par exemple). Beaucoup de ces énormes épanchements volcaniques, nommés Provinces Volcaniques Géantes (LIP en anglais), ont été datés du Crétacé (voir tableau). Pour expliquer ces phénomènes volcaniques intenses mais brefs à l'échelle des temps géologiques (environ un million d'années par LIP), on imagine le fonctionnement d'énormes points chauds dont la mise en place serait consécutive au morcellement de la Pangée.



Une comparaison intéressante : les volumes de **téphras** rejetés lors d'éruptions volcaniques aériennes majeures

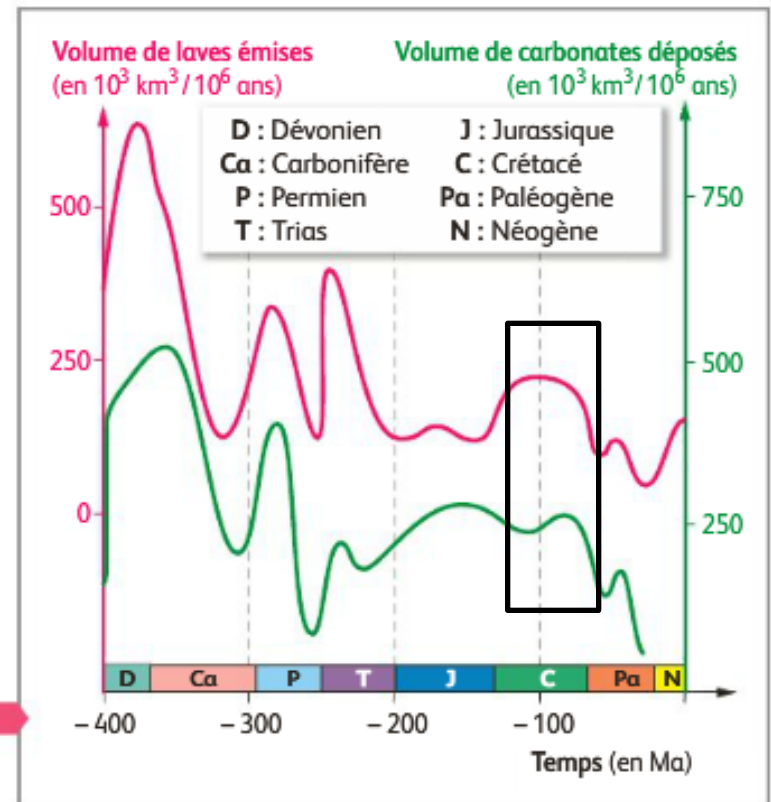
Doc 2. volcanisme, sédimentation carbonatée et variations climatiques mondiales

► À la surface du globe, l'activité volcanique produit essentiellement des basaltes, roches riches en silicates calciques (CaSiO_3 , $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Le volcanisme s'accompagne aussi d'une libération de CO_2 dans l'atmosphère avec augmentation de l'effet de serre.

► Sur les continents, une température élevée et des eaux de ruissellement riches en CO_2 (donc acides) favorisent l'altération des roches, en particulier des basaltes, qui libèrent des ions Ca^{2+} et HCO_3^- . Dans les océans, les basaltes sont aussi soumis à une altération sous l'effet de l'infiltration d'eau de mer dans la croûte océanique.

► La vitesse d'ouverture des océans a varié au cours du temps. Par exemple, le Crétacé est une période de forte expansion océanique, entraînant ainsi une augmentation du volume des dorsales et une **transgression** marine. Cette avancée de l'eau vers les continents crée des milieux propices à la sédimentation carbonatée.

Estimation des volumes de roches carbonatées et de roches volcaniques produits depuis 600 Ma.



Doc 3. calcaires urgoniens et récifs coralliens

► Les calcaires urgoniens (Crétacé inférieur, 115 Ma) constituent l'ossature de nombreux massifs du Sud-Est de la France. Ces roches sédimentaires ont livré de nombreux fossiles (**polypiers** et autres organismes) permettant de reconstituer les **paléoenvironnements**.

► Les récifs coralliens actuels sont des constructions calcaires (CaCO_3) dues à des animaux marins regroupés sous le terme de « corail » et vivant en colonies. Ces organismes hébergent des algues microscopiques réalisant la photosynthèse. Le corail se développe dans les mers chaudes (26°C), limpides, bien oxygénées et peu profondes délimitant un espace entre le littoral et le récif appelé lagon.

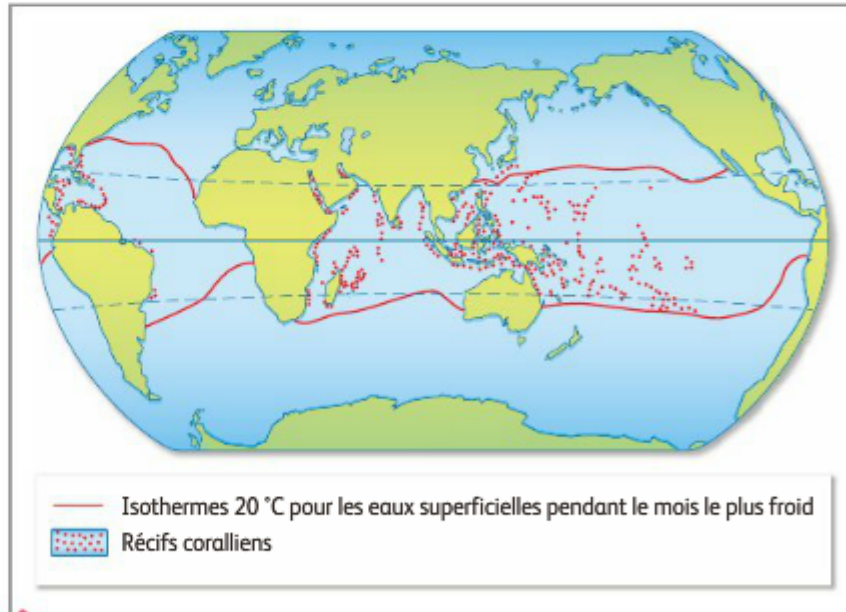


b Polypiers fossiles 1 dans du calcaire urgonien et polypiers actuels 2.

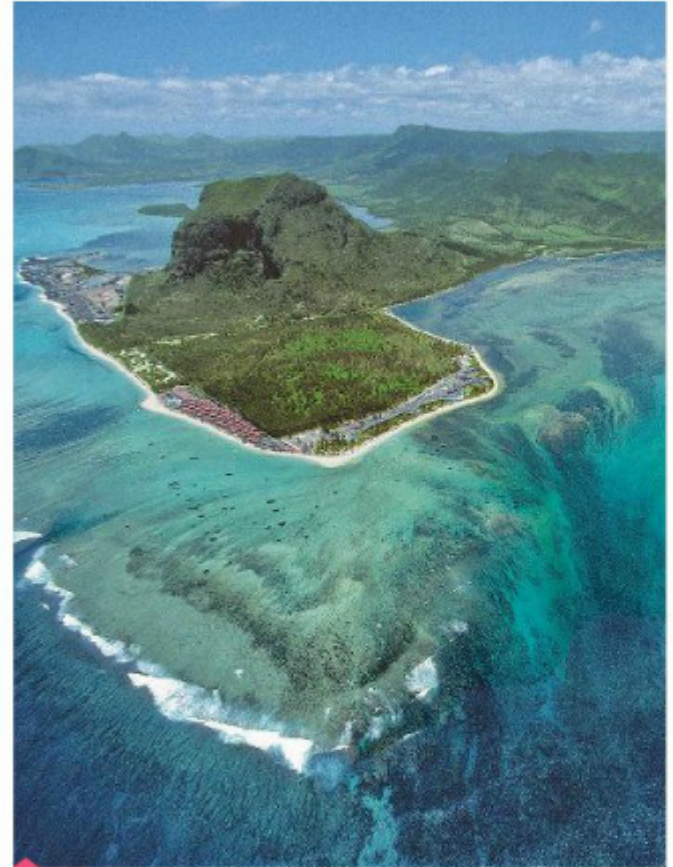




a Reconstitution de la paléogéographie au Crétacé inférieur (d'après H. ARNAUD).



c Carte de répartition des principaux récifs coralliens actuels dans le monde.



d Île Maurice et sa barrière de corail.

Le lagon est la zone peu profonde comprise entre les terres émergées et le récif; au-delà, la profondeur de l'océan augmente rapidement.

Q2 - Trapps des Provinces volcaniques Géantes datées du Crétacé = témoins d'une forte activité magmatique, rejet de CO_2 donc augmentation de l'effet de serre, réchauffement climatique.

Réchauffement, donc élévation du niveau marin (transgression) + libération d'ions Ca^{2+} et HCO_3^- donc précipitation de roches carbonatées (calcaires) dans des milieux propices de type lagon.

Bilan TP4 :

- **Principe d'actualisme** : on postule que les conditions de formation d'une roche sont restées les mêmes au cours des temps. On utilise ce principe pour reconstituer les climats passés à partir des fossiles et des roches qui se forment dans des conditions climatiques précises.

- **Crétacé** (- 135 à - 65 Ma) = période très chaude car magmatisme important donc effet de serre élevé.

Témoins = fossiles (IS des feuilles de Ginkgo + fougères arborescentes), trapps volcaniques, roches carbonatées