

TP ST N°3 : LA GÉOLOGIE, UNE SCIENCE HISTORIQUE.

Extrait du programme :

La géologie, une science historique

Cette séance de TRAVAUX PRATIQUES pourra être envisagée en relation avec les séances de TRAVAUX PRATIQUES prévues en IV (la carte géologique).

-analyse des relations géométriques sur des supports divers (photographies d'affleurements, carte géologique) afin d'établir une chronologie relative entre formations ou événements géologiques ;
- analyse de chronologie relative sur des documents fournissant des contenus faunistiques et l'extension stratigraphique des fossiles concernés ;
- établissement de corrélations entre formations sédimentaires ;
- mise en relation de formations sédimentaires avec l'échelle stratigraphique (identification de lacunes...)
- exploitation d'une isochrone pour dater la fermeture d'un système (roches totales et système riche comme la biotite).

L'objectif de ce TP est de reconstituer l'histoire géologique d'une région, le massif Armoricain, à l'aide de différents outils.

I. Etablir une chronologie relative : analyse de relations géométriques à différentes échelles.

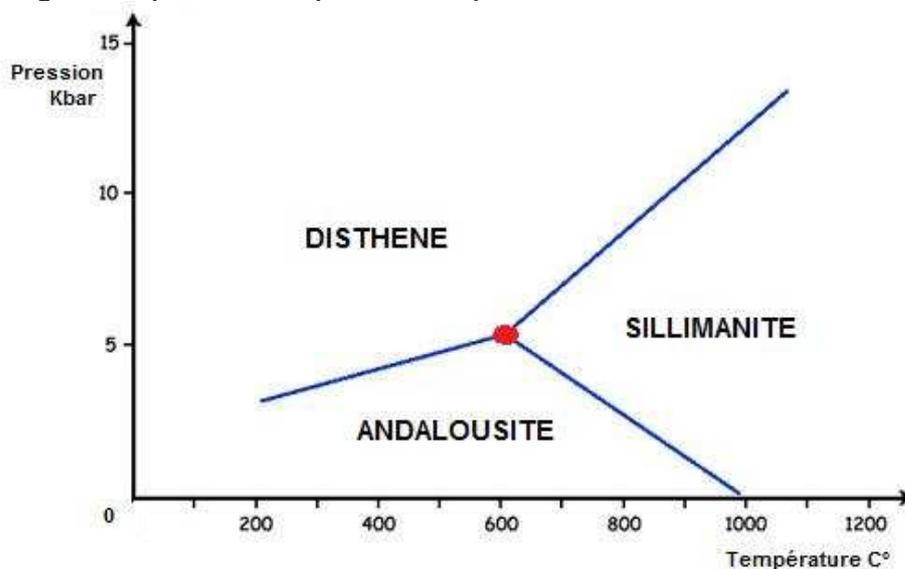
1. Situer la carte au 1/50 000^{ème} de Cherbourg (où se situe Flamanville) sur la carte géologique de France au 1/1 000 000^{ème}
2. Etudier la carte de Cherbourg et réaliser un schéma structural de la partie sud de la carte

On s'intéresse ensuite à la région de **Flamanville**.

Vous disposez d'un échantillon de **granite de Flamanville**. Le terrain situé autour de ce granite (nommé **encaissant**) est constitué de schistes tachetés et de cornéennes, **roches métamorphiques** provenant de la transformation des roches sédimentaires. Ces cornéennes contiennent des **silicates d'alumine** tels que l'andalousite et la sillimanite, dont le diagramme pression température est présenté ci-dessous.

Diagramme pression –
température des silicates
d'alumine.

A utiliser pour interpréter le document A3

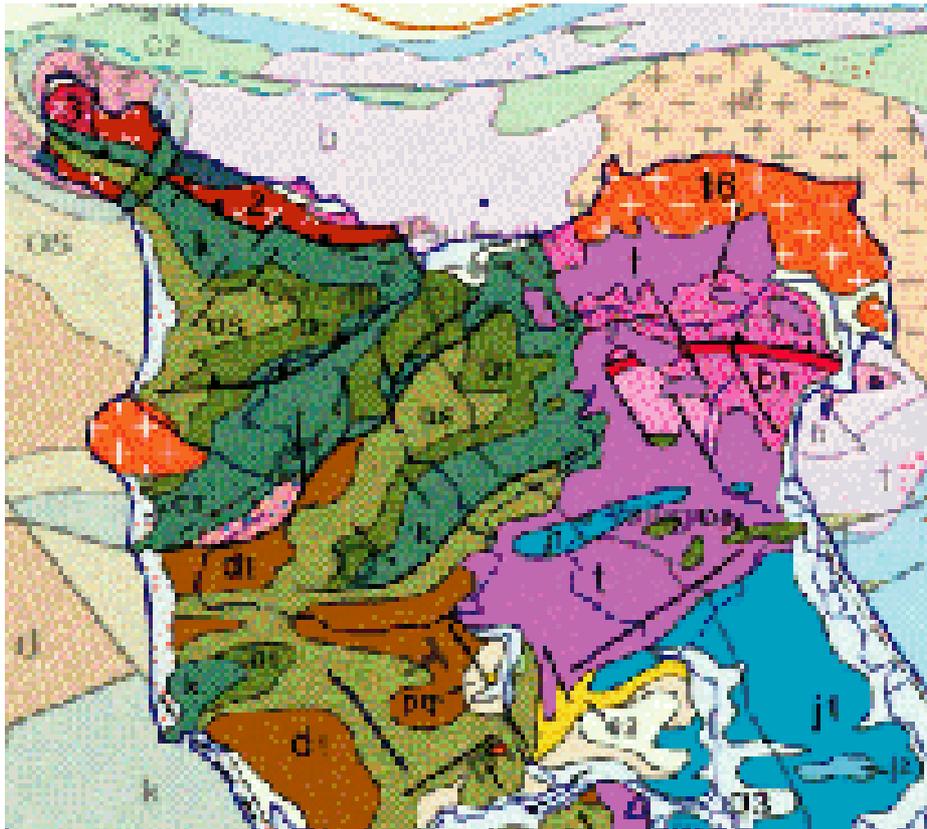


3. Pour chaque document A, établir une chronologie relative en citant le principe utilisé ; identifier sur la carte de Cherbourg où pourraient se situer ces affleurements.
4. Proposer ensuite une chronologie des événements dans la région de Flamanville.

A l'est de la carte de Cherbourg, on observe des terrains du II (trias). Les photographies de la région de Laize-la-Ville (document B) sont représentatives de cette zone.

5. A l'aide du document C (tableau), déterminer l'âge des terrains sus-jacents. Quel principe utilisez-vous ?
6. Identifier le pendage des 2 terrains observés à l'affleurement.
7. Représenter la chronologie des événements à l'origine de l'affleurement sous forme de schémas successifs en coupe.
8. Quels critères cartographiques permettent de repérer ce type d'évènement (**discordance angulaire**) ? Repérer ces critères sur la carte de France (extrait de carte ci-dessous à légènder) et sur la carte au 1/50 000.

Extrait de la carte géologique de France au niveau de Cherbourg



II. Etablir une datation absolue : radiochronologie.

Les rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ont été déterminés sur des minéraux isolés et sur des fragments du granite de Flamanville.

Les résultats obtenus sont les suivants :

	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
Fragment de roche totale	0,731	2,03
Muscovite	0,744	5,19
Biotite a	0,783	12,98
Biotite b	0,761	8,63
Feldspath plagioclase	0,722	0,14
Feldspath potassique	0,724	0,18

9. Montrer que pour un minéral donné ou une roche donnée, la relation suivante peut être établie :

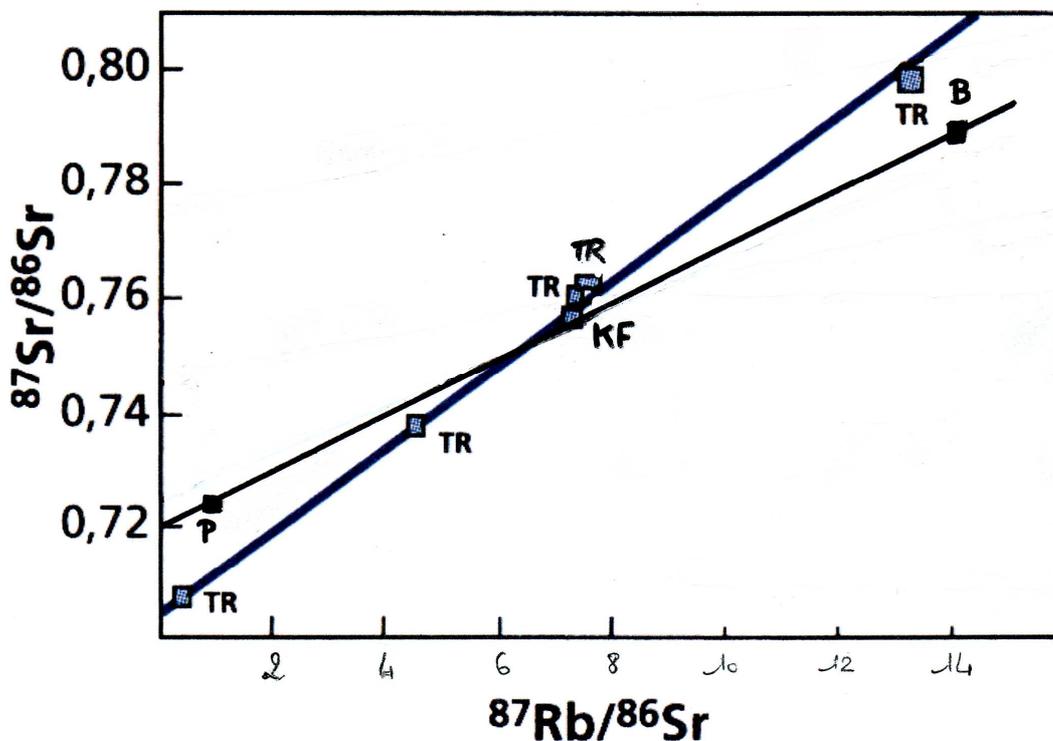
$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{initial}} + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}) (e^{\lambda t} - 1)$$

avec λ constante de désintégration radioactive et t temps

10. Tracer l'isochrone correspondante dans un diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$. Calculer l'âge du granite (âge de fermeture du système). Vous utiliserez l'approximation $e^{\lambda t} - 1 = \lambda t$ et $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ a}^{-1}$

A SAVOIR FAIRE SUR PAPIER MM ET SUR CALCULATRICE PAR REGRESSION LINEAIRE

Pour progresser dans la datation absolue des événements géologiques de la région, on souhaite déterminer l'âge des cornéennes et schistes tachetés formant l'auréole de métamorphisme dans l'encaissant au contact du pluton de granite. De la même façon, des rapports isotopiques ont été déterminés d'une part sur plusieurs échantillons de roches totales (TR) et d'autre part sur des minéraux isolés, comme des biotites (B), des feldspaths potassiques (KF) et des plagioclases (P). Les résultats obtenus sont présentés sur le graphique ci-dessous.

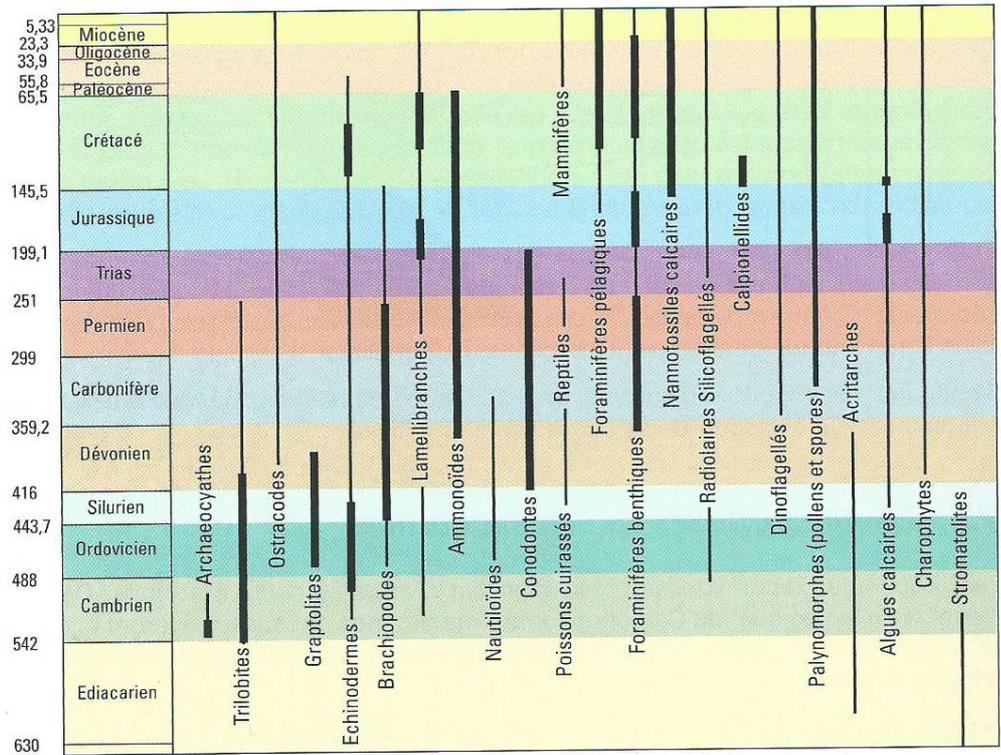


11. Déterminer l'âge des roches totales et l'âge « apparent » des minéraux isolés.

12. Est-ce cohérent avec l'observation de fossiles de type Trilobites dans les schistes tachetés ? Utiliser le document suivant.

Principaux groupes de fossiles stratigraphiques

Les traits épais correspondent aux périodes où ces groupes jouent un rôle majeur dans l'établissement des biozones, les traits fins aux périodes où ils peuvent être occasionnellement utilisés à des fins de datation.



13. Expliquer l'écart d'âge entre RT et minéraux isolés à l'aide du document ci-dessous.

La biotite, un système riche (= radiogéniquement riche).

Extraits de Géologie isotopique, Allègre 2005.

La biotite est un mica noir qui contient dans sa formule structurale du potassium (K). Le Rb, qui est un alcalin voisin du K, peut entrer dans la structure cristalline de manière stable et y rester. Le potassium forme un ion K^+ , le rubidium un ion Rb^+ . Par contre, en se désintégrant le ^{87}Rb fournit du ^{87}Sr . Le Sr est un élément alcalinoterreux voisin du calcium. Sous forme d'ion, il est bivalent, sa formule est Sr^{2+} . Il n'est donc pas en situation structurale stable dans la biotite et a donc tendance à en sortir par diffusion dès qu'il en a l'occasion. Le système biotite a donc peu de chance de rester fermé pour le couple $^{87}Rb - ^{87}Sr$, surtout s'il a été soumis au cours de son histoire à des réchauffements métamorphiques ou des altérations météoritiques qui fournissent les conditions favorables à la diffusion du ^{87}Sr hors de la biotite.

La **température de fermeture** définit la température à laquelle le système commence à retenir l'isotope radiogénique.

Minéral	Température de fermeture (°C)
Hornblende	685 ± 53
Biotite	373 ± 21
K-feldspath	230 ± 18
Plagioclase	176 ± 54
Microcline (K-feldspath pur)	132 ± 13

III. Corrélations biostratigraphiques entre formations sédimentaires.

Des fossiles d'Ammonites ont été retrouvés dans les strates horizontales de l'affleurement du document B. Les Ammonites sont des mollusques Céphalopodes marins n'existant plus à l'heure actuelle mais ayant composé des peuplements abondants, largement répartis et extrêmement diversifiés dans les mers épicontinentales du Jurassique et Crétacé. Sur le site de Thouars en Poitou (stratotype du Toarcien, étage du Jurassique inférieur de -186 Ma à -179 Ma), 40 espèces d'Ammonites fossiles ont été recensées (document C).

14. Est-il pertinent d'utiliser les Ammonites pour effectuer de la stratigraphie ? La résolution de cette approche biostratigraphique est-elle satisfaisante ?

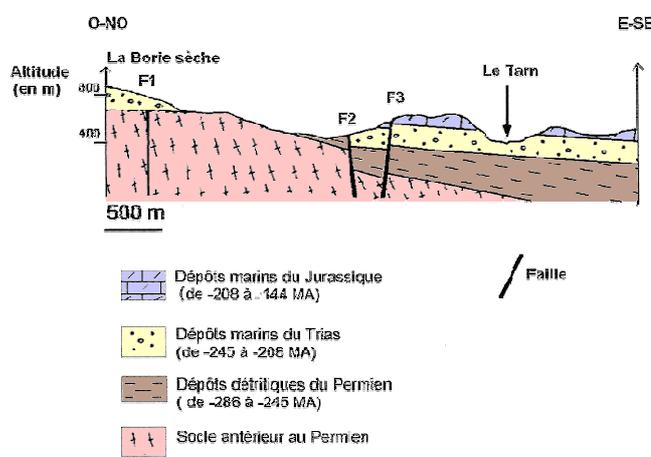
Des Ammonites ont été retrouvées en divers sites sur le pourtour du bassin parisien (document D).

15. Corréler et ordonner les 3 coupes proposées (Bayeux, Thouars, Lons-le-Saunier). Sur quel(s) principe(s) vous appuyez vous pour effectuer ces corrélations ?

IV. Exercices

Exercice 1 : Reconstitution d'une histoire régionale

Proposez une chronologie relative aux différents événements ayant affecté la région de La Borie Sèche (figure a), la région de la Sarre (figure b), la région de Lasserre (figure c) et la falaise (figure d) et le gabbro (e) – en justifiant chaque étape à l'aide des principes de la datation relative vus en cours. Précisez vos incertitudes.



D'après *Initiation aux cartes et aux coupes géologiques* - D. Sorel, P. Vergely - Ed. DUNOD

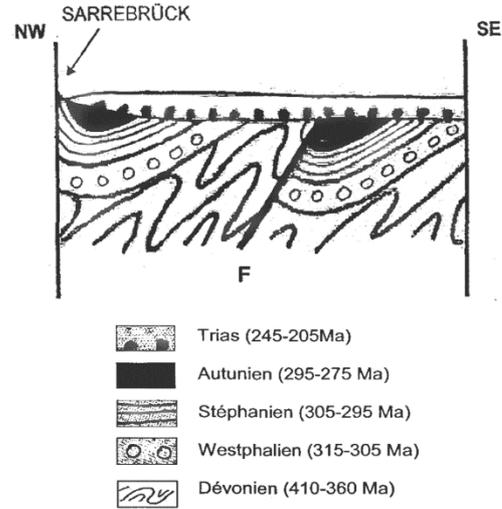


Figure a. Coupe simplifiée de La Borie Sèche **Figure b.** Coupe simplifiée du bassin houiller de la Sarre (Allemagne)

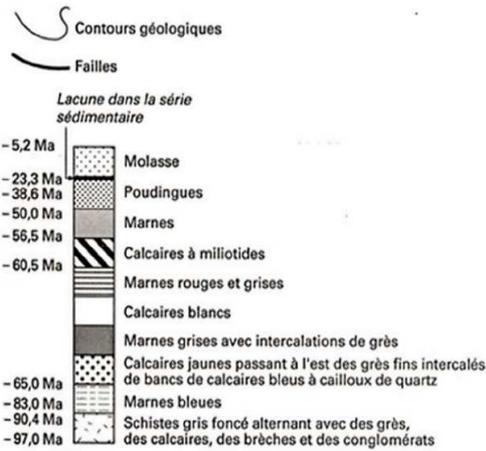
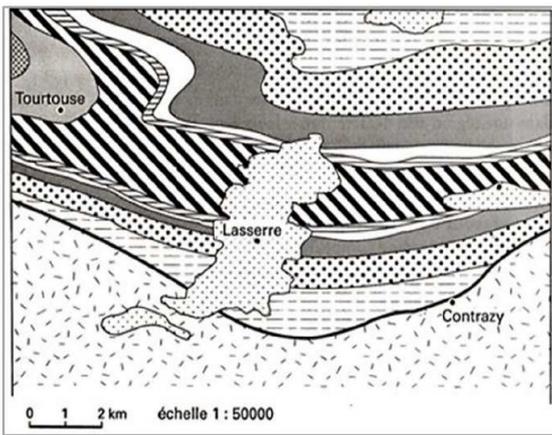


Figure c. Carte de la région de Lasserre.

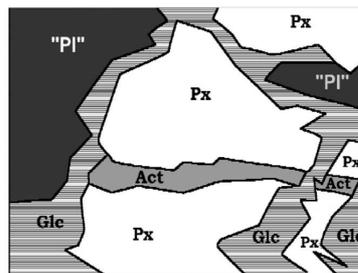
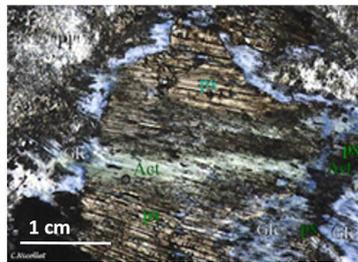
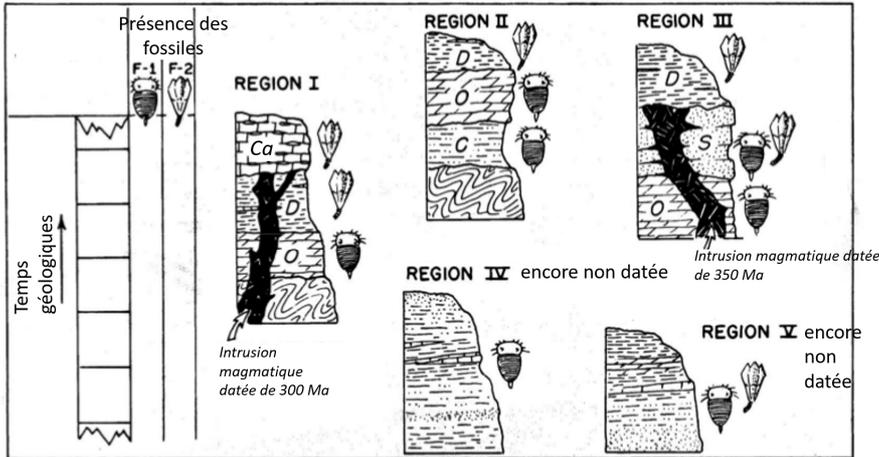


Figure d. Cabo de Sao Vicente, Portugal

Figure e. Un gabbro métamorphisé

Exercice 4 : Corrélations entre des terrains paléozoïques

Le document présente des logs (= carottages) de trois types de terrains paléozoïques datés et référencés (I, II et III) avec leur contenu fossilifère, ainsi que les logs et le contenu fossilifère de deux terrains non référencés (IV et V).



Légende par ordre alphabétique : C : Cambrien, Ca : Carbonifère, D : Dévonien, O : Ordovicien, S : Silurien

Figure f. Logs (= carottages) de terrains datant du Paléozoïque.

- 1) En vous aidant des logs des régions I à III, complétez l'échelle stratigraphique (« temps géologiques ») avec les noms des périodes successives.
- 2) Identifiez une ou des lacunes (= hiatus) dans les logs des régions I à III.
- 3) Sous quelles conditions les intrusions magmatiques permettent-elles de placer des âges absolus sur l'échelle stratigraphique ?
- 4) Coloriez les périodes d'existence des fossiles 1 et 2 dans les colonnes situées à côté de l'échelle. En justifiant, proposez un âge pour le log de la région IV, puis pour le log de la région V.

Exercice 5 : Utilisation d'ammonites pour établir des corrélations entre des terrains éloignés

Les ammonites sont de bons fossiles stratigraphiques pour les terrains mésozoïques. Elles peuvent être utilisées pour corréler des terrains géographiquement éloignés, comme ici les Deux-Sèvres, la Vendée et les Causses.

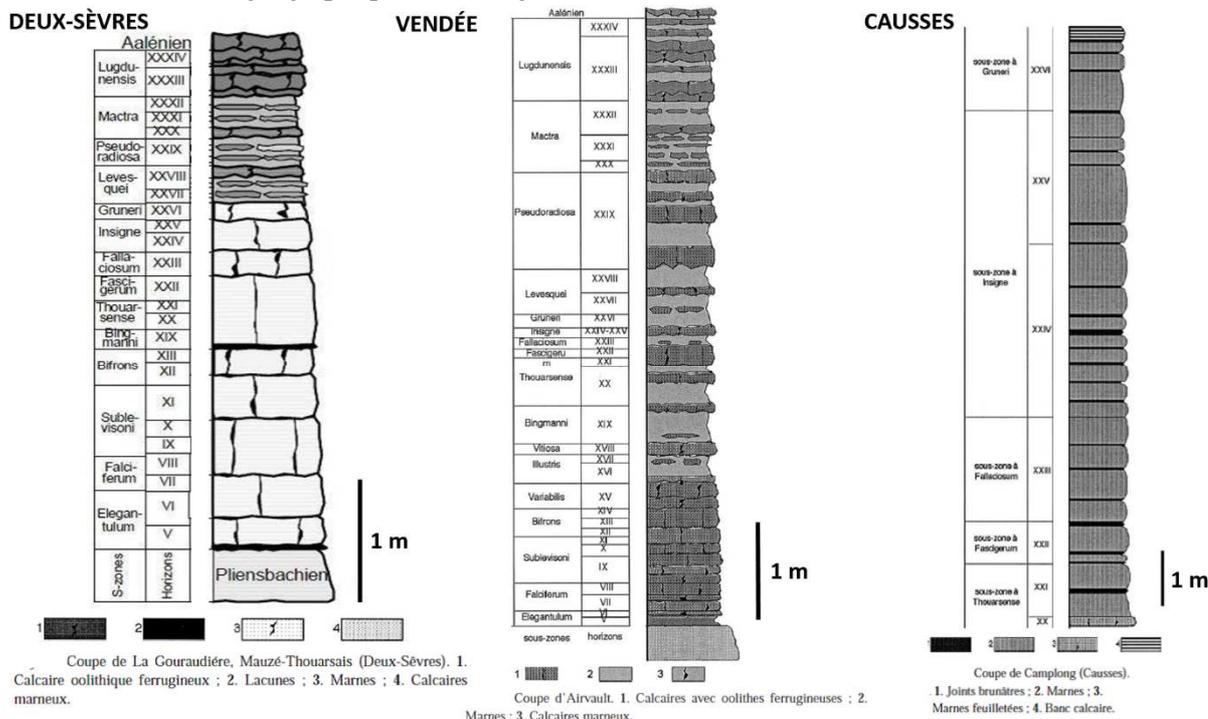


Figure g. Logs (= carottages) de terrains datant du Mésozoïque. Les sous-zones désignent des subdivisions plus courtes que l'étage et sont nommées d'après les espèces d'ammonites qui les caractérisent. Ces sous-zones sont elles-mêmes découpées en « horizons ».

- 1) En utilisant des ammonites judicieusement choisies, montrez qu'il est possible de corréler ces logs entre eux. Vous pouvez, par exemple, repérer les strates à *Gruneri*, à *Thouarsense* etc., puis les identifier sur les coupes en utilisant des couleurs différentes.

2) Le lithofaciès « oolithes ferrugineuses » est-il utilisable pour corrélérer les différents logs ?

Exercice 7 : Datation de roches magmatiques ou métamorphiques

Diverses mesures, sur roche totale (RT) et sur minéraux, ont été réalisées à partir de plusieurs échantillons de deux gisements distincts, l'un de gabbro en Ontario (figure 5.11a), l'autre d'orthogneiss (métagranite) dans la région de Baltimore, sur la côte est des États-Unis (figure 5.11b). Les isochrones ont été tracées dans chaque cas.

1. Quelle conclusion pouvez-vous tirer en ce qui concerne les résultats sur gabbro ?
2. En utilisant la constante de désintégration $\lambda_{Rb} = 1,42 \cdot 10^{-11} \cdot \text{an}^{-1}$ et les équations des isochrones relatives à l'orthogneiss, déterminez l'âge t de chaque lot de mesures.
3. Interprétez la disparité des résultats ; en vous inspirant de la figure 5.10, visualisez graphiquement l'évolution au cours du temps de l'isochrone des roches totales en figurant les variations des rapports isotopiques de RT2 uniquement ; procédez de même pour l'isochrone des minéraux de RT2 et leurs qualités isotopiques.

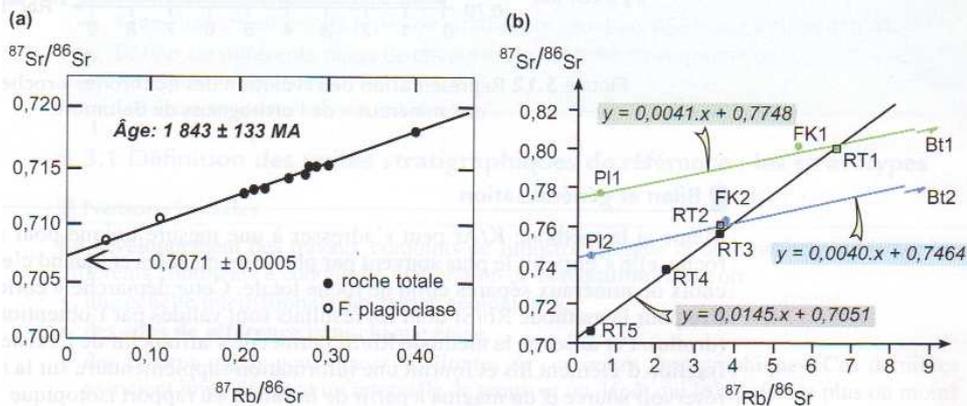


FIGURE 5.11 Deux exemples de datation absolue par la méthode Rb/Sr (d'après Principles of Isotopes Geology, G. Faure, 1986 2^e ed., Wiley).

(a) Gabbro de l'Ontario ; (b) orthogneiss (métagranite) de Baltimore.
Bt : biotite ; FK : feldspath potassique ; PI : plagioclase ; RT : roche totale.

Exercice 8 : L'âge de Lucy

Le squelette particulièrement bien conservé d'une Australopithèque a été découvert, en 1974, en Éthiopie. Celle-ci a été baptisée Lucy en référence à une chanson des Beatles. Ce squelette a été retrouvé dans une strate comprise entre une coulée de basalte et une couche de cendres volcaniques. La datation du gisement a été réalisée en utilisant la méthode K/Ar.

	Nombre d'atomes de ^{40}K par mg de roche	Nombre d'atomes de ^{40}Ar par mg de roche
Cendres volcaniques	$20,1 \cdot 10^{13}$	$3,27 \cdot 10^{10}$
Coulée de basalte	$19,9 \cdot 10^{13}$	$4,34 \cdot 10^{10}$

Le potassium 40 (^{40}K) se désintègre en deux nucléides fils : soit il donne du calcium 40 (^{40}Ca), avec une constante de désintégration λ_{Ca} , soit il donne de l'argon 40 (^{40}Ar) avec une constante de désintégration λ_{Ar} . On néglige les quantités initiales des radionucléides fils.

1. Utilisez la loi de désintégration radioactive pour démontrer que, à tout instant t :

$$\frac{{}^{40}\text{Ca}_t}{{}^{40}\text{Ar}_t} = \frac{\lambda_{Ca}}{\lambda_{Ar}}$$

2. Tout le potassium qui se désintègre donne soit du calcium 40, soit de l'argon 40 : utilisez cette donnée pour montrer que :

$${}^{40}\text{K}_t = {}^{40}\text{K}_0 \cdot e^{-(\lambda_{Ca} + \lambda_{Ar}) \cdot t}$$

3. À l'aide des réponses aux questions précédentes, démontrez que :

$${}^{40}\text{Ar}_t \cdot \left(\frac{\lambda_{Ca}}{\lambda_{Ar}} + 1 \right) = {}^{40}\text{K}_t \cdot (e^{(\lambda_{Ca} + \lambda_{Ar}) \cdot t} - 1)$$

4. On introduit une constante de désintégration apparente λ telle que : $\lambda = \lambda_{Ca} + \lambda_{Ar}$. Démontrez que la formule précédente peut s'écrire :

$${}^{40}\text{Ar}_t \approx \lambda \cdot t \cdot \frac{{}^{40}\text{K}_t}{\frac{\lambda_{Ca}}{\lambda_{Ar}} + 1}$$

5. Sachant que $\lambda_{Ar} = 5,8 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ et $\lambda_{Ca} = 4,96 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$, utilisez les données du tableau pour évaluer les âges des cendres et de la coulée de basalte puis estimez l'âge de Lucy.