

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° **SCIENCES DE LA TERRE** °°
>> Travaux pratiques <<

TP ST E1

Transferts de surface et paysages

SUPPORT COMPLÉTÉ

Objectifs du TP (programme)

Capacités exigibles

- Exploiter des données montrant le lien entre le contexte géodynamique et le type de bassin.
- Exploiter des données issues de documents complémentaires (cartes, données géophysiques et sédimentologiques) permettant de comprendre l'origine et l'histoire géodynamique (subsidence) d'un bassin sédimentaire intracratonique (le Bassin parisien).
- Exploiter une carte montrant des formations superficielles (moraines, formations fluviatiles, ...).
- Analyser des structures (ou figures) sédimentaires à partir de données expérimentales (diagramme d'Allen) et d'observations actuelles pour en identifier l'origine et la dynamique de mise en place
- Repérer cartographiquement des discordances.
- À partir de données cartographiques, relier la distribution de dépôts détritiques, au niveau d'un delta et d'un estuaire, et la dynamique de l'hydrosphère.

Activités et recherches de terrain

- S'orienter sur le terrain et se localiser sur une carte (topographique, géologique, de végétation, pédologique).
- Analyser un paysage : identifier et caractériser des unités dans le paysage, incluant la description des groupements végétaux, du substratum géologique, de la topographie et des usages par l'être humain ; déterminer les liens de causalité qui unissent ces différentes composantes ; expliquer la dynamique des unités paysagères, souvent liée à leur usage présent ou passé
- Observer, décrire, identifier des objets géologiques à différentes échelles (roche, affleurement et paysage) lors d'une étude de terrain.
- Proposer des hypothèses expliquant la mise en place de structures géologiques observées sur le terrain en mobilisant des concepts et des principes géologiques (actualisme, principes de la stratigraphie, tectonique).
- Observer, décrire, identifier des objets géologiques à différentes échelles (roche, affleurement et paysage) lors d'une étude de terrain.

- Reconstituer, analyser et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace lors d'une étude de terrain.
- Intégrer des données de terrain dans un système d'information géographique (SIG).
- Passer de la réalité complexe du terrain à des représentations simplifiées correspondant à des hypothèses explicatives.
- Mettre en relation des données de terrain avec un modèle pour l'infirmier, le conforter ou en dégager les limites.

Méthodes et techniques mises en œuvre

- Utiliser une carte géologique :
 - identification des principales structures tectoniques et des ensembles pétrologiques ;
 - reconstitution d'une histoire géologique régionale ;
 - reconstitution d'un paléoenvironnement ;
 - estimation de la vitesse d'ouverture d'un océan ;
 - identification des risques ou des ressources géologiques.
- Traduire l'exploitation d'une carte géologique sous la forme d'une coupe géologique (le profil topographique étant fourni) ou d'un schéma structural :
 - fidélité, mise en évidence pertinente des objets et structures géologiques et des roches, légendes, titre, échelle.
- Présenter de manière pertinente un objet géologique à toutes les échelles (dessin, schéma, description, identification, présentation comparative, ellipsoïde des déformations, échelle...).

Liens importants

- BCPST1. ST A. La carte géologique
- BCPST1. ST C. La dynamique des enveloppes internes
- BCPST1. ST E. Le phénomène sédimentaire
- BCPST1. TP ST A1. Carte géologique de la France au millionième
- BCPST1. TP ST A2. Roches (en lien avec la cartographie)
- BCPST1. TP ST E1. Transferts de surface et paysages
- BCPST1. TP ST E2. Roches sédimentaires
- BCPST1. BG-A-1. Le cycle du carbone
- BCPST1. BG-C. Le climat de la Terre
- BCPST1. BG-B. Les sols
- BCPST2. ST I-2. Les ressources géologiques
- BCPST2. ST J. Les grands ensembles géologiques
- BCPST2. TP SV J. Les grands ensembles géologiques français
- Activités de terrain

Activité 1. Modalités d'altération du granite en climat tempéré

D'après O. CHASSAING (BCPST2, Clermont-Ferrand)

À partir des échantillons et des documents (figure 1 + tableau I) à votre disposition :

- identifiez les minéraux qui subissent l'altération lors de l'altération du granite.
- proposez un lien entre composition chimique et altérabilité.



▲ FIGURE 1. **Altération d'un granite du Massif central.**
Document O. CHASSAING, source inconnue.

- 1) Granite sain, tel que celui que vous avez sur votre paillasse
- 2) Granite en cours d'altération, qui prend une couleur rouille et devient friable
- 3) Granite altéré, devenu un sable granitique ou arène granitique.

▼ TABLEAU I. **Analyses chimiques relativement à l'altération d'un granite du Massif central.**
Document O. CHASSAING, source des données inconnue.

Pour comprendre le processus d'altération du granite (qui conduit du granite sain à l'arène granitique), on décide d'analyser la composition chimique du granite sain et de l'arène granitique, ainsi que celle de l'eau de pluie et de l'eau du ruisseau qui passe à proximité d'un affleurement en cours d'altération.

	Masse (en g) dans 100 cm ³								
	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	H	O
Granite sain	85,0	21,0	5,2	1,8	2,9	7,5	10,6	0,3	125,6
Arène granitique	84,9	21,0	traces	traces	0,1	0,8	5,2	1,2	126,9

	Concentration (en mg/L)				
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻
Eau de pluie	1,9	0,3	1,4	0,3	traces
Eau du ruisseau	7,1	1,9	5,9	0,8	21,3

Données sur la composition des minéraux :

- Quartz : SiO₂
- Feldspath plagioclase : (Ba,Ca,Na,K,NH₄)(Al,B,Si)₄O₈
- Mica noir (biotite) : K(Mg,Fe)₃(OH,F)₂(Si₃AlO₁₀)

Minéraux subissant l'altération

- On observe une disparition progressive des micas et feldspaths
- Restent les grains de quartz
- ⇒ Ce sont les micas et les feldspaths qui subissent l'altération (lien possible avec le diagramme de GOLDISH)

Lien composition chimique / altérabilité

Éléments perdus dans l'arène granitique (par rapport au granite frais) et présents dans l'eau du ruisseau (par rapport à l'eau de pluie) : surtout cations alcalins
(!) Pas de silice !

Or : ces éléments sont surtout présents dans les feldspaths et les micas
⇒ Cela explique que ce soit ces minéraux qui s'altèrent (lien possible avec le diagramme de GOLDSCHMIDT)

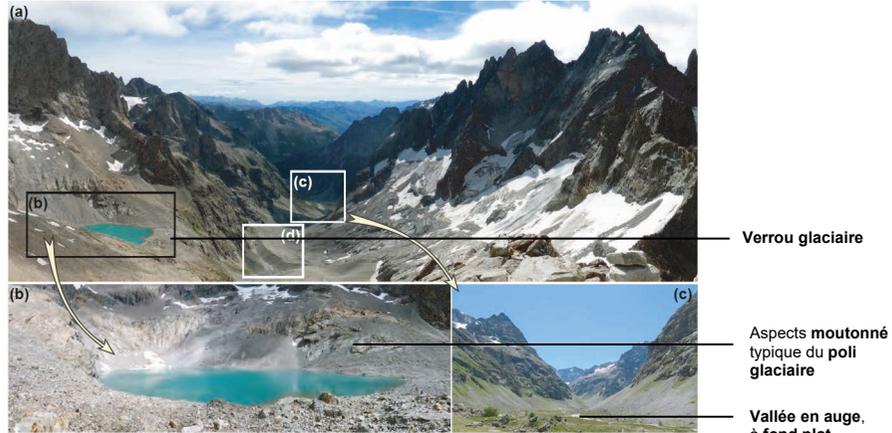
La silice demeurant, le quartz n'est pas atteint par l'hydrolyse du granite.

Activité 2. Modelé d'altération glaciaire : la vallée du Clot des Cavales (Isère)

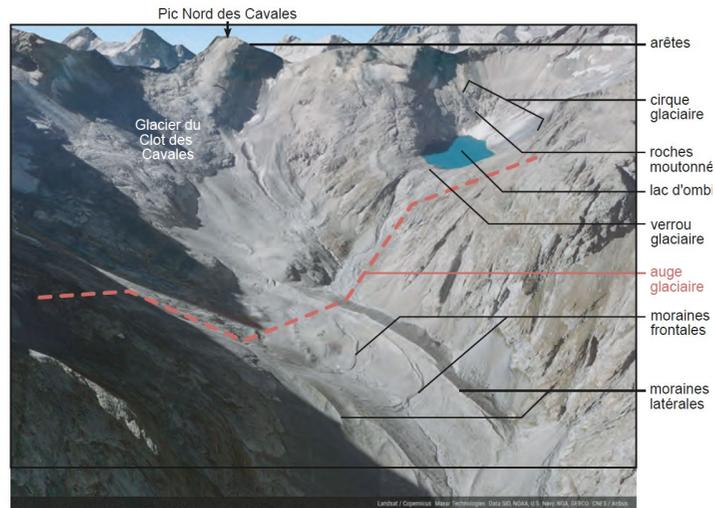
D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

Sur les clichés proposés (figure 2), légendez / annotez les indices témoignant de la présence d'un ancien glacier dans cette vallée.

(!) On ira aussi voir sur Google Earth la vallée du Clot des Cavales en 3D.



(a) Vue sur la vallée du Torrent du Clos des Cavales, depuis le Pic Nord des Cavales (Hautes-Alpes) ; (b) zoom sur le Lac du Pavé ; (c) zoom sur le plan de Valfourche ; (d) moraine.



Vue 3D © Google Earth, permettant d'apprécier les caractéristiques du modelé glaciaire visibles au niveau de la vallée du Clot des Cavales.

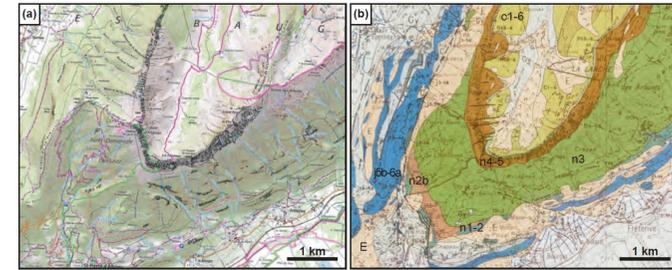
▲ FIGURE 2. Vallée du Clot des Cavales. D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

Activité 3. Modelé d'altération d'un paysage plissé (subalpin) : le synclinal perché de l'Arclusaz (Savoie)

D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

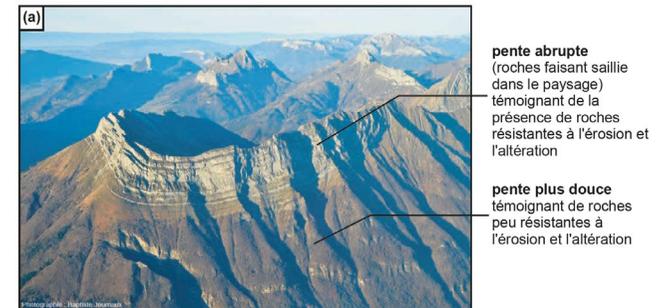
On cherche à comprendre l'influence des facteurs structuraux et lithologiques dans l'établissement de la morphologie du synclinal perché de l'Arclusaz (Savoie) typique des massifs subalpins.

Commentez les documents.

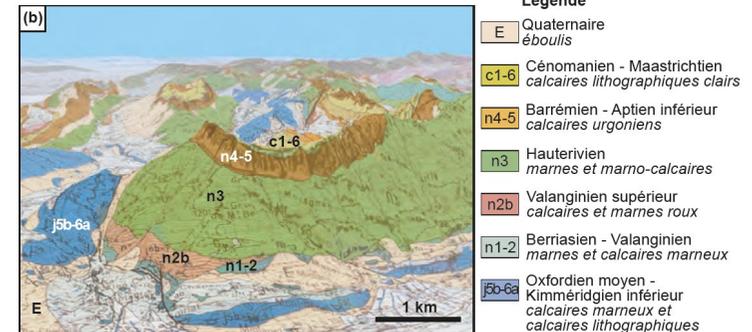


Synclinal perché de l'Arclusaz.

(a) Extrait de la carte topographique IGN au 1/25 000 (source : geoportail.gouv.fr) ; (b) extrait de la carte géologique du BRGM au 1/50 000 (source : infoterre.brgm.fr). La légende des couches géologiques est donnée figure TP20.6.



Légende



Synclinal perché de l'Arclusaz.

(a) Vue aérienne de la Dent d'Arclusaz (crédit photo : B. Journaux) ; (b) vue 3D de la carte géologique du BRGM (source : geoportail.gouv.fr).

▲ FIGURE 3. Synclinal perché de l'Arclusaz. D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

D'après PERRIER, BEAUX et al. (2023) :

On observe un **synclinal** (pli dont les couches les plus jeunes, datées du Crétacé supérieur c1-6, sont au centre) **perché** typique des **reliefs inverses**

Cette structure n'est pas commune. Lors de la formation d'un pli, on s'attend à observer des anticlinaux au niveau des monts, et des synclinaux au niveau des vallées. Ce relief inverse s'explique par différents processus géologiques :

- Les plis anticlinaux et synclinaux se sont formés lors de l'orogénèse alpine au cours du Paléogène (après le Crétacé supérieur) et affectent des strates résistantes et peu épaisses de calcaires d'une part et de strates épaisses et moins résistantes de marnes.
- L'érosion a principalement touché les anticlinaux, faisant disparaître les calcaires et mettant à l'affleurement les marnes. Celles-ci étant facilement érodables, les anticlinaux ont rapidement été transformés en vallées. Au contraire, les synclinaux au cœur desquels affleure encore le calcaire, difficilement érodable font saillie dans le paysage.

Activité 4. Étude cartographique de formations superficielles (moraines et terrasses) à Lourdes (Hautes-Pyrénées)

D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

Sur la carte géologique de Lourdes au 1/50000 (figure 4), on trouve des dépôts morainiques et alluviaux quaternaires mis en place au cours des cinq dernières glaciations : Donau, Günz, Mindel, Riss et Würm.

Proposez une coupe géologique en c (figure 3), en exagérant l'échelle verticale.

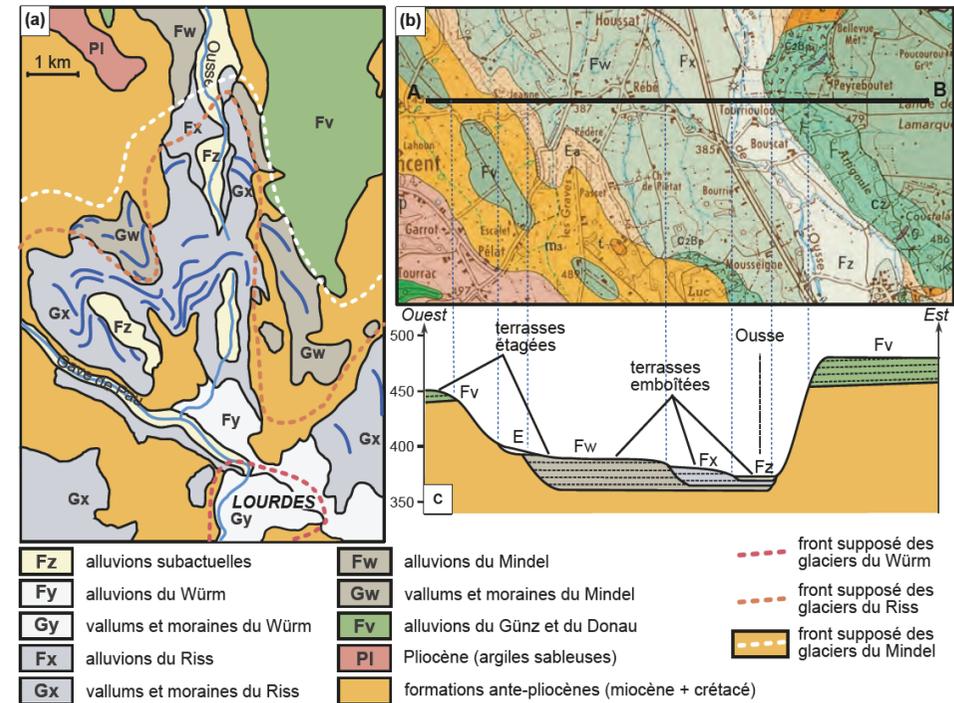
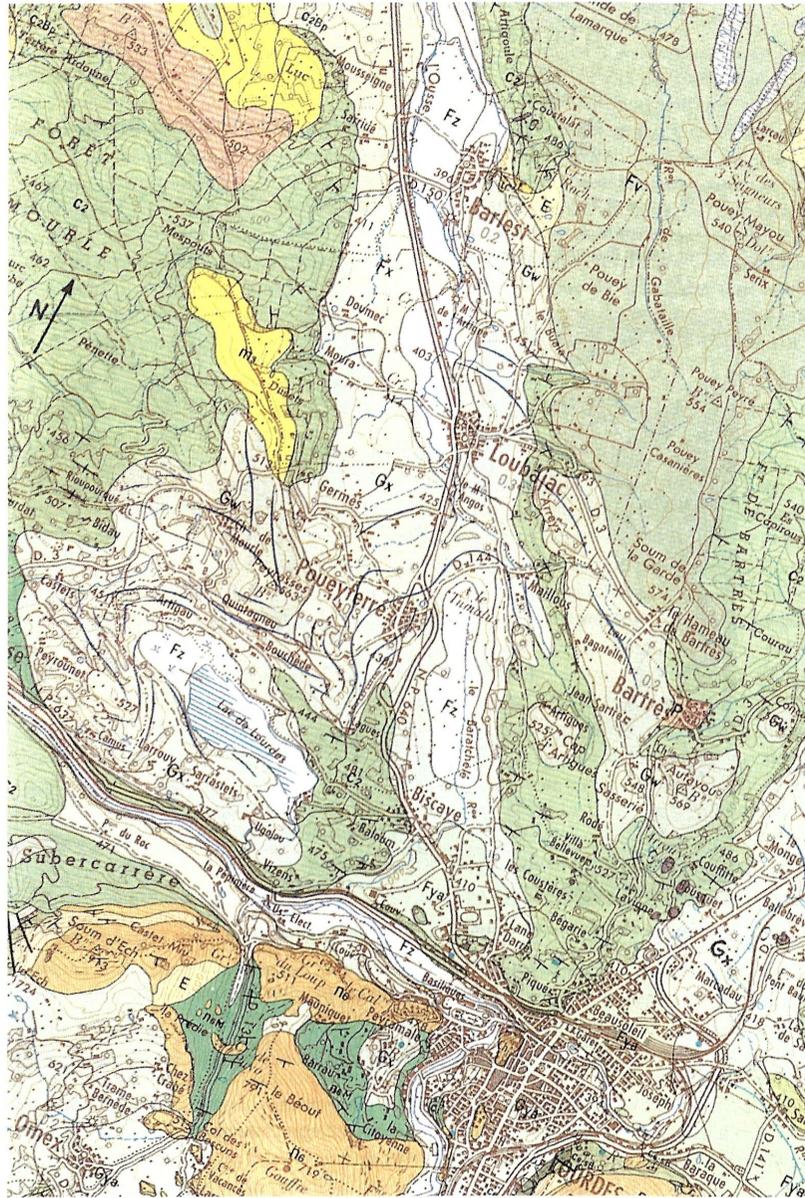


Figure 3. (a) Schéma structural de la carte de Lourdes indiquant la distribution des dépôts quaternaires et les limites supposées de l'extension des glaciers pour les 3 derniers stades glaciaires d'après la carte ; (b) extrait de la carte au 1/50 000 de Lourdes ; (c) coupe interprétative du système de terrasses selon le trait de coupe AB.

▲ FIGURE 3. Schéma structural et coupe géologique de la zone d'étude.
D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

FORMATIONS SUPERFICIELLES
PLIO-QUATÉRNAIRES

- E
 - Éboulis, dépôts de remaniement
 - Ea
 - Dépôts superficiels, souvent soliflués, limons et limons lessivés
 - Fz FzT
 - Alluvions subactuelles et holocènes
FzT - Tourbières
 - Fya
 - Alluvions du Würm I
 - Fx
 - Alluvions anciennes du Riss
 - Fw
 - Alluvions anciennes du Mindel
 - Fv
 - Alluvions anciennes du Günz et du Donau
 - Gya /
 - Vallum et moraines du Würm
 - Gx /
 - Vallum et moraines du Riss
 - Gw /
 - Vallum et moraines du Mindel
 - p
 - Pliocène. Argiles à galets
- FORMATION DU SUBSTRAT
ANTÉ-PLIOCÈNE AFFLEURANT
- m
 - Pontien. Argiles sableuses
 - e
 - Yprésien. Marnes et calcaires
 - c1 c2
 - Cénomannien. Flysch et brèches
 - c1 c2
 - Albien/Aptien. Marnes et calcaires
 - t
 - Marnes bariolées du Keuper



Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Lourdes (© BRGM, 1970).

▲ FIGURE 4. Extrait de la carte de Lourdes (65). D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2023) :

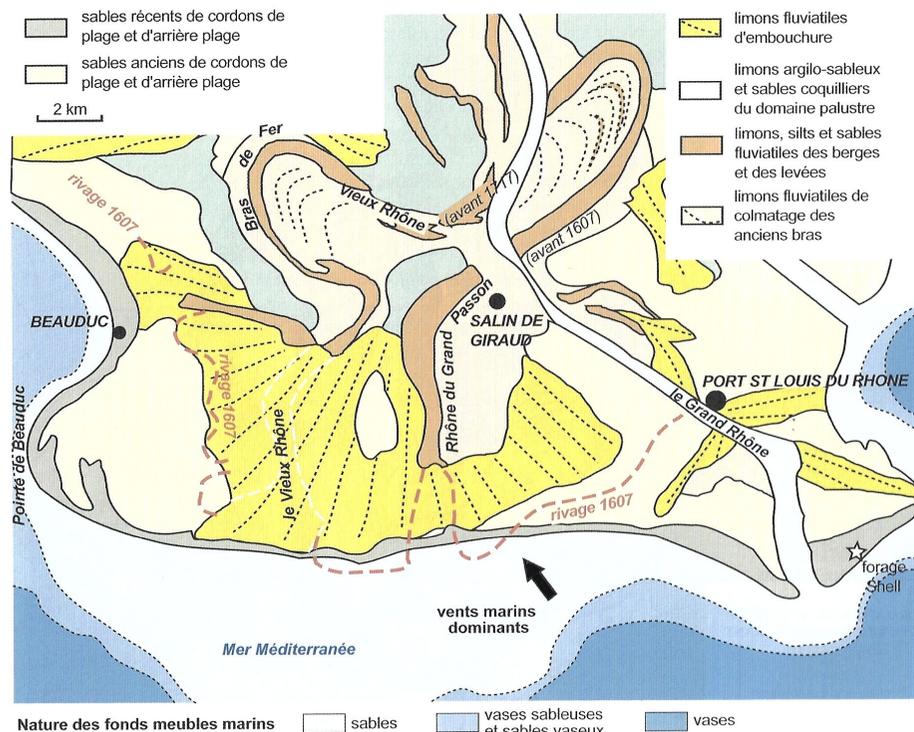
Dans cette activité on s'intéresse à la répartition cartographique de formations superficielles alluviales. Par leur étude, on cherche à reconstituer les variations climatiques ayant affecté la région des Pyrénées centrales.

- Compte tenu de la topographie, les glaciers s'écoulaient vers le nord. Les **moraines frontales** se déposent en aval des glaciers lors de leur fluage. La répartition de ces moraines nous permet de déduire l'extension maximale approximative des glaciers aux différentes périodes (figure a). L'**extension des glaciers** au stade Mindel a été plus importante que celle des glaciers du stade Riss, elle-même plus marquée que celle des glaciers du stade Würm. Ceci témoigne d'une **intensité décroissante des glaciations** du stade Mindel au stade Würm. Lors des stades Donau et Günz, l'absence de dépôts morainiques laisse à penser que ces 2 stades glaciaires ont été moins intenses que la glaciation Mindel et que leurs moraines frontales ont été totalement remaniées et intégrées aux moraines du stade Mindel.
- Une coupe à travers la vallée de l'Ousse permet d'observer la distribution des diverses **terrasses alluviales** (figure b et c). Le substratum anté-pliocène affleure largement entre les formations Fv et Fw. Les alluvions Fv (Donau-Günz) sont ainsi **étagées** par rapport aux alluvions Fw (Mindel) signifiant que l'intensité du stade Mindel a été plus grande que celle des stades Donau-Günz, confirmant notre hypothèse précédente. Les terrasses des stades Mindel (Fw), Riss (Fx) et subactuelles (Fz) sont **emboîtées** (pas d'affleurement du substratum entre elles), confirmant le fait qu'après le stade Mindel l'intensité des glaciations a été décroissante.

Activité 6. Analyse des sédiments détritiques et de la géométrie des dépôts du delta du Rhône

D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

La figure 5 montre la répartition des dépôts actuels de la portion orientale du delta du Rhône. Caractérissez la morphologie du delta et proposez des hypothèses expliquant sa géométrie.



Répartition des sédiments anciens à actuels de la portion orientale du delta du Rhône (d'après les cartes géologiques au 1/50 000 d'Istres et des Saintes-Maries-de-la-Mer - © BRGM - simplifié).

La position du rivage en 1607 ainsi que les anciennes positions du Rhône établies à partir de données historiques et d'analyses de sondages sont indiquées.

D'après PERRIER, BEAUX et al. (2023) :

Deux grands types d'environnements s'y opposent : un **environnement marin** générateur de cordons sableux littoraux et un **environnement fluviatile** à l'origine de dépôts de berges, de limons de colmatage des anciens bras, et de limons d'embouchure.

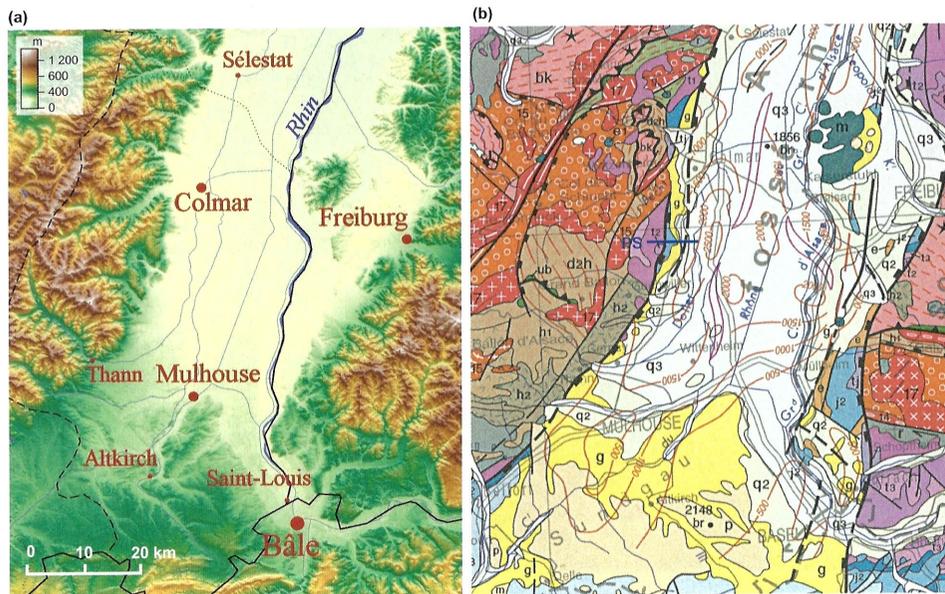
- La nature des fonds meubles marins montre le passage progressif de sables à des vases. Ceci témoigne que les dépôts actuels deviennent de plus en plus fins à mesure qu'on s'éloigne de l'embouchure du Rhône. Au niveau de ce front de delta, la **décroissance granulométrique** est principalement liée à la **décroissance de l'hydrodynamisme** à l'embouchure du fleuve.
- L'ensemble des dépôts détritiques fait saillie dans la mer Méditerranée. Ainsi l'embouchure du Rhône est un **delta** au sens strict (peu d'influence des phénomènes de marées).
- L'évolution du cours du Rhône et la position d'anciens rivages nous permettent de comprendre l'histoire du delta. La partie centrale montre que l'ancien cours du Rhône était plus à l'ouest que l'embouchure actuelle. Le cône deltaïque était relativement symétrique, repérable à la ligne de rivage 1607. Le cours actuel du Grand Rhône se met en place en direction du sud-est en recoupant toutes les formations fluviatiles précédentes à l'origine d'un nouveau lobe dans la portion orientale du delta. Alors que cette portion orientale paraît poursuivre sa croissance de nos jours (progression du rivage sur la mer), les anciens rivages (embouchure du Vieux Rhône) sont au contraire soumis à l'érosion. Les vents marins dominants entraînent une **dérive littorale** responsable de l'érosion de la zone centrale et du transfert des sédiments vers la flèche de Beauduc qui **progressive vers l'ouest**. L'histoire du delta se résume ainsi à la construction de lobes successifs dont les produits sont en partie remaniés par l'action des vagues et des courants marins ce qui est la caractéristique d'un **delta mixte, fluvio-marin**.

Activité 7. Étude d'un bassin sédimentaire : le fossé rhénan

D'après PEYCRU et al. (2015)

Le Fossé rhénan est un graben ou fossé d'effondrement d'orientation globalement NNE / SSW qui s'étend de la Suisse à l'Allemagne et où s'écoule le fleuve Rhin. Plus précisément, il est localisé sur une bande de 300 km pour une largeur maximale de 40 km, allant de Bâle (Suisse) à Francfort-sur-le-Main (Allemagne). Il appartient au système de grabens du rift ouest-européen, daté de l'Oligocène et est délimité par la Forêt-Noire et l'Odenwald à l'est, les Vosges et le Pfälzerwald à l'ouest, le massif du Jura au sud, et le Taunus au nord.

A. Identification des caractéristiques du bassin à partir de la carte au millionième



(a) Morphologie de la plaine d'Alsace et des massifs bordiers (source : « Alsace topo » par Generated by GMT; Uploaded by: Neuceu — Self-published work by Neuceu Générée avec GMT et des données issues du SRTM (précision de 90m). Sous licence CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons); (b) extrait de la carte géologique au 1/1 M (© BRGM, 2004), PS : position du profil sismique (en bleu foncé).

1. Identifiez les massifs montagneux représentés sur la carte de la figure TP9.1a. En vous basant sur les données topographiques, justifiez l'expression fossé rhénan et dégagez les caractéristiques d'un bassin illustrées par ce document.
2. À partir de la figure TP9.1b, dégagez les caractéristiques géologiques de ce bassin sédimentaire en vous basant sur les diverses données de la carte (stratigraphiques, sédimentologiques, tectoniques, volcaniques...). Déterminez le type de bassin en vous référant au § 11.3.1 du chapitre 11.
3. Dater le processus majeur à l'origine du fossé rhénan en portant votre analyse sur la partie Sud du fossé, dans la région de Mulhouse. Concluez.

D'après PEYCRU et al. (2015) :

■ Corrigé

1. La carte montre une vaste **dépression** (altitudes modestes, de moins de 200 m), à fond très plat, allongée globalement N-NE/S-SO, où coule le Rhin. Sa largeur est de l'ordre de 35-40 km. Elle est bordée latéralement par les massifs des Vosges (ouest) et de la Forêt Noire (est) dont les altitudes peuvent dépasser 1 200 m ; ces limites sont relativement rectilignes. Elle est fermée au sud, au niveau de Bâle (Basel), par les premiers contreforts septentrionaux du Jura. Cette dépression évoque ainsi un **réceptacle** de dépôts sédimentaires. S'y déposent actuellement les sédiments véhiculés par le Rhin et ceux issus de l'érosion des bordures.
2. L'extrait de carte géologique permet de constater que le bassin est délimité tant à l'ouest qu'à l'est par deux **failles normales majeures** N-NE/S-SO, parallèles à l'axe du bassin, et qu'il est encadré de deux massifs anciens (paléozoïques) qui ont valeur de compartiments soulevés. Ce dispositif est celui d'un bassin de type **rift continental** ou **fossé d'effondrement** issu d'une divergence est-ouest de la plaque européenne. Il vient buter au sud sur les affleurements mésozoïques du Jura (affleurements allongés d'est en ouest qui traduisent la présence de plis).

Le fossé rhénan est occupé par des **formations sédimentaires cénozoïques**, essentiellement d'âge Oligocène (g) et Pliocène (p), dont les contours sinueux (à observer vers le sud) traduisent une **structure tabulaire**. Il existe aussi de petits affleurements d'Éocène (e) sur la bordure sud-orientale. Tous ces terrains sont largement cachetés par des formations superficielles quaternaires essentiellement d'âge Holocène (q3).

Les **isobathes** de la base du Cénozoïque (traits oranges) indiquent des épaisseurs actuelles de ces dépôts de plusieurs centaines de mètres, dépassant localement 2 000 voire 2 500 m. Une telle épaisseur est un indice de **subsidence**. Certaines de ces isobathes dessinent des axes allongés globalement N-S qui suggèrent l'existence en profondeur de blocs plus effondrés que d'autres. La répartition des isobathes traduit également une dissymétrie E-O du remplissage du bassin avec davantage de sédiments à l'ouest qu'à l'est. Des diapirs et des rides salifères sont également observables (traits violets), toujours allongés selon l'axe du fossé. Ils témoignent du développement de dépôts évaporitiques réalisés sous faible tranche d'eau lors du remplissage du bassin.

Quelques **sondages** sont également reportés sur cette carte avec indication de la profondeur et du niveau atteints à savoir le Paléozoïque (br) à Bâle (2 148 m) et à Colmar (1 856 m). Ce dernier situé sur l'isobathe 1 500 m montre la disparité d'épaisseur entre les sédiments cénozoïques (1 500 m) et les dépôts mésozoïques (356 m), suggérant l'histoire récente du remplissage.

3. L'origine du fossé est à rechercher sur ses bords, tant au niveau de l'accident majeur (faille normale) que des accidents mineurs qui l'accompagnent. Tous ces accidents affectent les formations secondaires, du Trias au Jurassique moyen (j2) voire tertiaires (Éocène à Mullheim, au N-E de Mulhouse). Par contre, les affleurements oligocènes occupent le fossé et s'ils sont en général limités par ces failles, ils les cachètent toutefois très localement (ouest de Colmar). Le processus de rifting a donc eu lieu entre l'Éocène et l'Oligocène. Enfin, les dépôts d'âge Pliocène au S-O de Mulhouse (Sundgau) recouvrent la faille ouest. Le processus de rifting était donc achevé à cette époque. L'ensemble des formations sédimentaires du Trias à l'Éocène correspond aux **dépôts pré-rift** ; les dépôts de l'Oligocène au Pliocène ont valeur de **dépôts syn-rift** et ceux du Pliocène et du Quaternaire de **dépôts post-rift**.

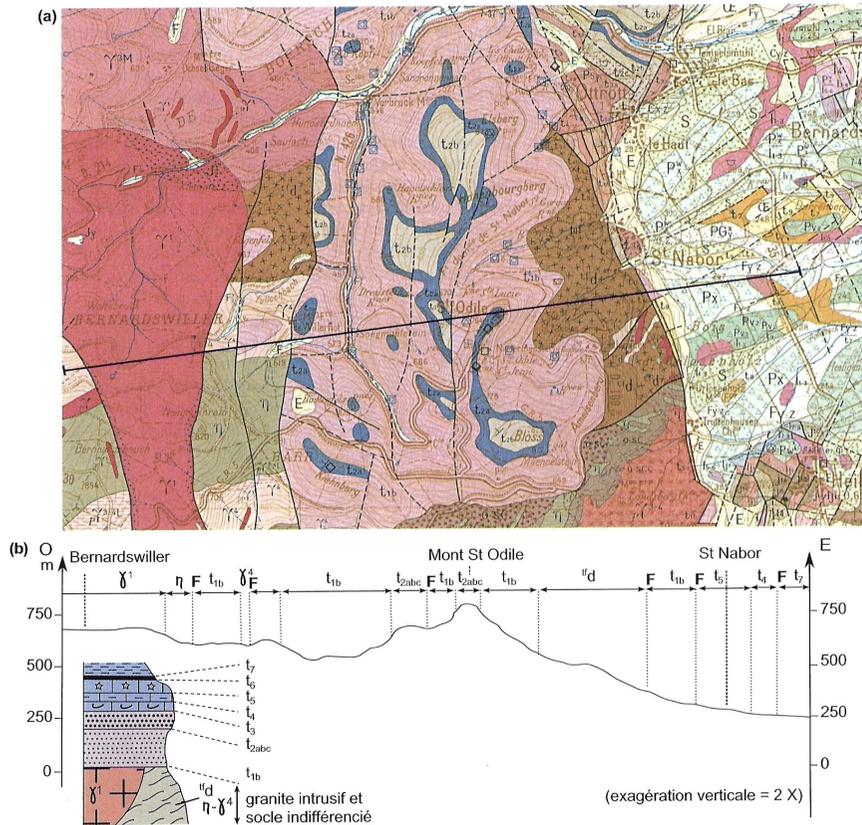
À l'est de Colmar, affleurent les roches magmatiques du Kaiserstuhl (vert sombre, m). L'âge miocène de ces vulcanites permet de les rapporter à l'épisode de rifting et suggère l'importance de l'amincissement de la lithosphère suite à la distension E-O. Leur mise en place tardive (Miocène) traduit le **caractère passif** du rifting.

Ainsi le fossé rhénan est un bassin sédimentaire de type fossé d'effondrement (graben), formé à la fin de l'Éocène et au cours de l'Oligocène lors d'un processus de **distension** de la partie occidentale de la plaque européenne. Une **subsidence tectonique** puis **thermique** a permis l'accumulation de sédiments cénozoïques.

Remarque : cet exemple a servi à Elie Beaumont pour définir la notion de graben (1827).

B. Structure du rebord occidental du bassin

L'extrait de la carte de Molsheim au 1/50 000 (figure TP9.2a) constitue le support de notre analyse. Elle se situe dans la partie septentrionale du fossé, sur sa bordure occidentale, au contact du massif vosgien.



Log lithostratigraphique à l'échelle

FIGURE TP9.2 (a) Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Molsheim (© BRGM, 1975) ;

(b) profil topographique de la coupe demandée (située sur la carte a) et log stratigraphique.

Terrains du socle paléozoïque : ^ud : Dévonien (tufs volcaniques) ; osc : schistes et cornéennes du Silurien ; ^γ·^γ·^γ^{MM} : granites ; ^η : diorite.
Terrains du Quaternaire : E : éboulis ; Fy-z : alluvions ; P_x, P_y, P_z, P_g, P_h : formations détritiques de piedmont ; S : coulées de solifluxion.

1. Décrivez les formations de ce secteur et analysez les failles qui les affectent.
2. Analysez les affleurements du secteur S-E pour dater la distension vue auparavant.
3. Effectuez la coupe selon le tracé figurant sur la carte ; le profil topographique avec la distribution des divers affleurements ainsi qu'un log sont fournis (figure TP9.2b).

D'après PEYCRU et al. (2015) :

1. Deux ensembles de terrains affleurent, des terrains sédimentaires, essentiellement triasiques, à valeur de couverture, et un socle constitué de terrains magmatiques (granites notés ^γ, diorites ^η, et volcaniques, ^ud), et métamorphiques (cornéennes, osc). Le premier étage du Trias t_{1b} repose indifféremment sur les divers termes du socle. Il est donc **discordant**. L'orogénèse **varisque** responsable de la mise en place du socle a été suivie d'une érosion. Sur les terrains paléozoïques pénéplanés se sont déposés les sédiments triasiques. Les contours sinueux des affleurements triasiques traduisent leur disposition horizontale ou subhorizontale.

Un réseau de failles, globalement N-S, découpe l'ensemble en divers compartiments. Leur tracé rectiligne dénote leur fort pendage. La faille qui borde à l'ouest les terrains triasiques présente au niveau de deux vallées des « V » très ouverts avec pointes dirigées vers l'est, indiquant un fort pendage de l'accident dans cette direction. Le compartiment est comportant les affleurements les plus récents a valeur de « toit affaissé » ; il s'agit d'une faille normale. Il en est de même pour la faille qui limite à l'est les terrains dévoniens ^ud ; elle montre au nord de St Nabor des « V » très ouverts dirigés vers l'est. Nous sommes en présence de **failles normales**, associées à la **distension** de ce secteur.

2. Le terrain le plus récent affecté par les failles est l'Eo-Oligocène (e7-g1 ; angle sud-est). Les formations quaternaires (Px et Pw, Fy et Fz) sont discordantes (non affectées par ces accidents). La distension est donc postérieure à l'Eo-Oligocène et antérieure au Quaternaire. Cela est conforme à la datation que l'on avait déduite de l'application précédente.

3. La figure TP9.3 consigne la coupe demandée. Elle souligne le passage par « marches » successives depuis le sommet du rebord vers la dépression, où affleurent des formations secondaires. Il s'agit des « collines sous-vosgiennes ». Elle illustre également le caractère conforme de la topographie, la partie ouest ayant valeur de horst par rapport à la dépression.

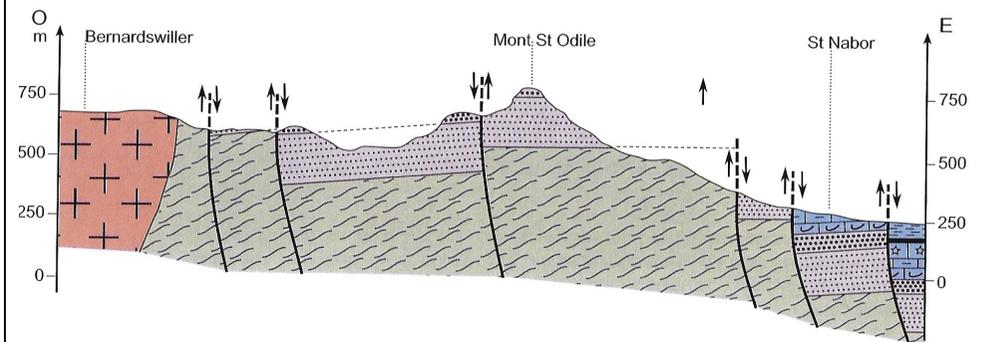


FIGURE TP9.3 Interprétation de la structure du rebord occidental du fossé rhénan dans la région de Molsheim.

C. Structure profonde du bassin : données géophysiques

Il a été possible dans le fossé rhénan de déterminer différentes profondeurs du MOHO suite à un séisme dont le foyer, proche de la surface, s'est produit au point S (figure TP9.4). Le tableau TP9.1 consigne les temps t d'arrivée des ondes P réfléchies par le MOHO, au niveau de 9 stations notées de A à I. La vitesse moyenne V des ondes P est de l'ordre de $5,9 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

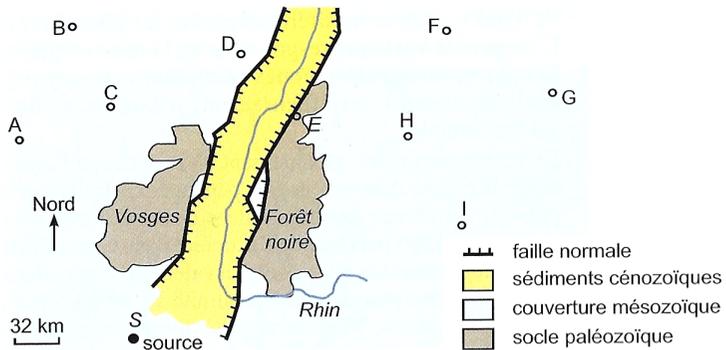


FIGURE TP9.4 Localisation du foyer du séisme et des stations d'enregistrement.

TABLEAU TP9.1 Temps d'arrivée aux différentes stations des ondes P réfléchies.

Stations	Temps d'arrivée des ondes P réfléchies en s	Distance d de la station à l'épicentre en km
A	29,9	81,7
B	41,0	112,9
C	30,3	81,8
D	38,3	106,7
E	34,2	97,8
F	54,8	156,4
G	60,7	174,2
H	42,4	121,8
I	43,3	124,4

1. Pour chaque station, reportez sur la carte de la figure TP9.4 le point R_s situé en surface à la verticale du point de réflexion R sur le MOHO.
2. Calculez la profondeur du MOHO à la verticale du point R_s soit au point de réflexion R pour chacune des stations. Reportez ces données sur la carte de la figure TP9.4. Vous utiliserez les symboles suivants : d pour la distance entre l'épicentre du séisme et le point R_s , x pour la distance SR et h pour la profondeur du MOHO.
3. Analysez de manière critique les valeurs obtenues en les comparant notamment à celles de la figure TP9.5a.

On dispose par ailleurs d'une cartographie des anomalies gravimétriques de Bouguer sur cette même région (figure TP9.5b).

4. Dans un cas général, quels enseignements est-il possible de déduire des anomalies positives et négatives de Bouguer ?
5. Dans le cas présent, quelles hypothèses pouvez-vous avancer pour interpréter les anomalies observées ?

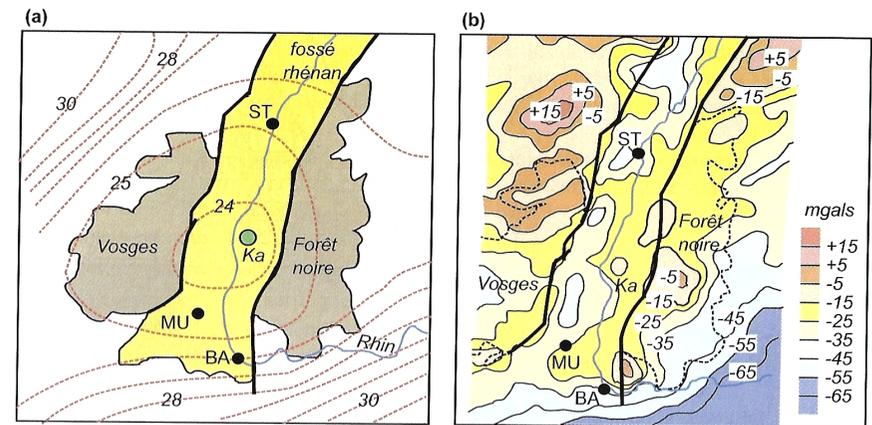


FIGURE TP9.5 (a) Carte de la profondeur du MOHO en km ; (b) distribution des anomalies gravimétriques de Bouguer dans la région du fossé rhénan.

BA : Bâle (Basel) ; Ka : Kayserstuhl ; MU : Mulhouse ; ST : Strasbourg.

Le tableau TP9.2 consigne les températures moyennes relevées au fond de divers puits de mines du bassin potassique au N-O de Mulhouse, puits aujourd'hui abandonnés.

TABLEAU TP9.2 Températures relevées au fond de puits de mines du fossé rhénan (d'après Lagneau-Hérengrer l., 1961).

Puits	Joseph Else			Amélie			Bollwiller			
Profondeur en m	466	535	576	643	675	707	917	926	959	986
Température en °C	33,8	37,5	38,5	40,7	42,1	43,2	50,3	50,8	52	53,6

- Calculez pour chacun d'eux les paramètres suivants : degré géothermique (distance en m à parcourir vers le bas pour obtenir une augmentation de 1 °C) et le gradient géothermique. Commentez ces résultats sachant que les valeurs de référence relatives aux premiers kilomètres d'une croûte continentale sont en moyenne de 33 m et de 30 °C.km⁻¹ pour le degré géothermique et le gradient géothermique.
- Depuis l'abandon de l'extraction de la potasse dans ces mines, quelle autre ressource serait susceptible d'être exploitée dans cette région ?

D'après PEYCRU et al. (2015) :

■ Corrigé

- Comme il s'agit d'ondes réfléchies, le point R_s se situe exactement à mi-distance entre l'épicentre et la station d'enregistrement (figure TP9.6a).
- Deux méthodes peuvent être utilisées :
 - la première s'appuie sur le théorème de Pythagore : $2x = V.t$ et $h^2 = x^2 - d^2$; $h = \sqrt{x^2 - d^2}$ (figure TP9.6a) ;
 - la seconde exploite les règles de trigonométrie : $2x = V.t$; $\sin \alpha = d/x$ et $h = x \times \cos \alpha$.

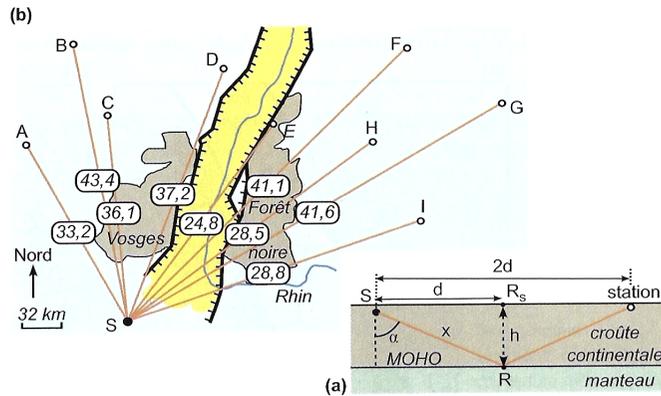


FIGURE TP9.6 (a) Construction géométrique permettant de calculer la profondeur du MOHO ; (b) carte consignant les profondeurs calculées.

Les profondeurs du Moho sont placées au niveau du point R_s de chaque trajet sismique.

- Les résultats obtenus (figure TP9.6b) font apparaître un amincissement de la croûte continentale à l'aplomb du fossé rhénan (trajet E : MOHO à 25 km de profondeur environ à la verticale du point R_s, le seul situé au niveau du fossé) par rapport aux deux massifs anciens qui le bordent. Ce résultat s'accorde avec le fait que le fossé rhénan résulte d'un amincissement crustal et lithosphérique plus généralement. Toutefois, si on compare les valeurs obtenues avec la valeur moyenne d'une croûte continentale « stable » qui oscille entre 30 et 35 km, on constate que le MOHO serait localement plus profond dans les Vosges du Nord et la partie septentrionale de la Forêt Noire (valeurs dépassant 40 km). Ces résultats sont donc à prendre avec précaution car fondés sur une vitesse moyenne des ondes P identique quelles que soient les directions des ondes. Or rien n'indique que la croûte soit homogène (voir les données gravimétriques).

La prise en compte de la figure TP9.5a confirme la réserve à avoir vis-à-vis des résultats précédents. L'amincissement crustal en lien avec le fossé se confirme ; il est d'ailleurs centré sur l'édifice volcanique du Kaysertuhl qui s'est mis en place là où la croûte était la plus mince. Cet amincissement paraît relativement symétrique et indépendant pour partie des deux familles de failles normales bordières ; il touche également les deux massifs anciens qui bordent le fossé ce qui invalide la plupart des résultats précédents.

Vers le sud, l'approfondissement du MOHO peut être relié à la subduction cénozoïque de la plaque européenne sous la plaque apulienne.

- Les anomalies gravimétriques de Bouguer sont obtenues après double correction des mesures, correction d'altitude et correction de masse de manière à éliminer l'effet gravitaire des masses situées au-dessus de l'ellipsoïde de référence pour ne conserver que l'effet gravitaire des masses sous cet ellipsoïde. Une anomalie positive traduit un excès de masse en profondeur, une anomalie négative un déficit. Excès et déficit peuvent relever de deux causes : 1- des variations de profondeur du MOHO (s'il est moins profond, il y a excès de masse car le manteau dense est plus proche de la surface et inversement pour un déficit) ; 2- des différences de masse et donc de densité au sein d'une même couche.
- Le fossé rhénan présente des anomalies gravimétriques modérément négatives (autour de -30 à -40 mgals) dans son ensemble (figure TP9.5b). Or, par suite de la distension crustale et du relèvement du MOHO, on pourrait au contraire s'attendre à des valeurs positives. Cela signifie que le facteur densité au sein de la croûte contrebalance le relèvement du MOHO. Le déficit de masse est à mettre en relation avec le remplissage sédimentaire ; les anomalies les plus négatives sont parfaitement corrélables aux isobathes 1 500 m ou 2 000 m du Cénozoïque de la figure TP9.1b et tout particulièrement aux niveaux d'évaporites dont la densité est notablement plus faible que celle des autres roches sédimentaires (2,2 à 2,3 contre 2,5) ; par ailleurs la légère dissymétrie est-ouest des anomalies de la partie méridionale du fossé corrobore le remplissage lui-même dissymétrique (figure TP9.1b). L'effet « MOHO » se repère par contre fort bien au sud du fossé rhénan où l'accroissement des anomalies négatives signe l'enfoncement de ce dernier. Quant aux anomalies positives des régions septentrionales des massifs anciens, il faut y voir l'effet densité de matériaux crustaux si on compare ce secteur à la région sud pour une même profondeur du MOHO.
- Les résultats attendus sont les suivants :
 - puits J. Else : degré géothermique de 23,4 m/°C et gradient géothermique de 42,7 °C/km ;
 - puits Amélie : degré géothermique de 25,6 m/°C et gradient géothermique de 39,1 °C/km ;
 - puits Bollwiller : degré géothermique de 20,9 m/°C et gradient géothermique de 47,8 °C/km.
 Les valeurs élevées du gradient géothermique du fossé rhénan, nettement supérieures à la moyenne de la croûte, sont en relation avec l'amincissement lithosphérique.
- Cette caractéristique géothermique constitue une ressource énergétique exploitable, au même titre que celle de Bouillante en Guadeloupe. Elle est utilisée dans la partie septentrionale du fossé, au niveau de la centrale électrique géothermique de Soultz-sous-Forêts.

D. Étude sédimentaire du bassin

De nombreux forages ont été réalisés dans le fossé rhénan, notamment pour déterminer l'extension des niveaux de potasse présents au sein de la série évaporitique cénozoïque. La figure TP9.7 est une version simplifiée de l'un d'entre eux.

1. À partir de l'analyse de la colonne stratigraphique, reconstituez les grandes étapes de la sédimentation dans la région Alsace. En prenant en compte les données paléontologiques, soulignez en particulier les conditions environnementales singulières à l'origine du dépôt des évaporites. Quelle hypothèse sur l'origine des sels êtes-vous amenés à formuler ?

Les prospections sismiques ont permis par ailleurs d'analyser la géométrie des sédiments sur la bordure du fossé et leurs relations avec le système de failles. Un de ces profils est porté sur la figure TP9.8 ; il a été réalisé au nord-ouest de Mulhouse, selon un transect ouest-est (position reportée sur la figure TP9.1b) ; certains réflecteurs majeurs comme la position du toit du socle cristallin et les principaux niveaux stratigraphiques sont signalés sur les bords gauche et droit du profil.

2. Réalisez un schéma interprétatif de la structure de ce secteur en reportant sur calque la position de la (des) faille(s) et la géométrie des divers horizons stratigraphiques. Identifiez par flèches le jeu de la faille majeure et soulignez son rejet vertical minimum. Quantifiez ce dernier en tenant compte de l'échelle verticale « temps double » en s et de la vitesse des ondes P dans les sédiments, estimée à 3 km/s.

3. À partir du profil interprété et des enseignements de la colonne stratigraphique, déterminez la chronologie des événements sédimentaires et tectoniques de manière à retracer l'histoire de ce bassin sédimentaire.

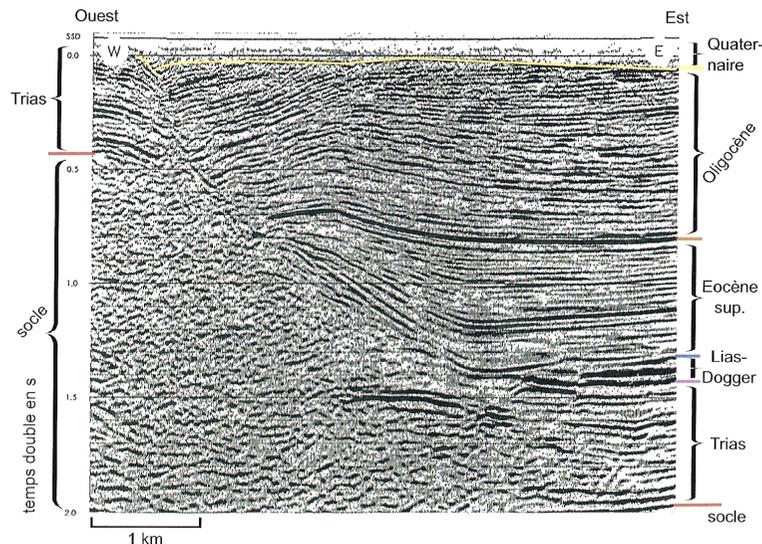


FIGURE TP9.8 Profil sismique de la bordure occidentale du fossé rhénan (d'après Nivière et al. – 1998 – d'après sujet G2E 2014 ; société Vermilion Energy).

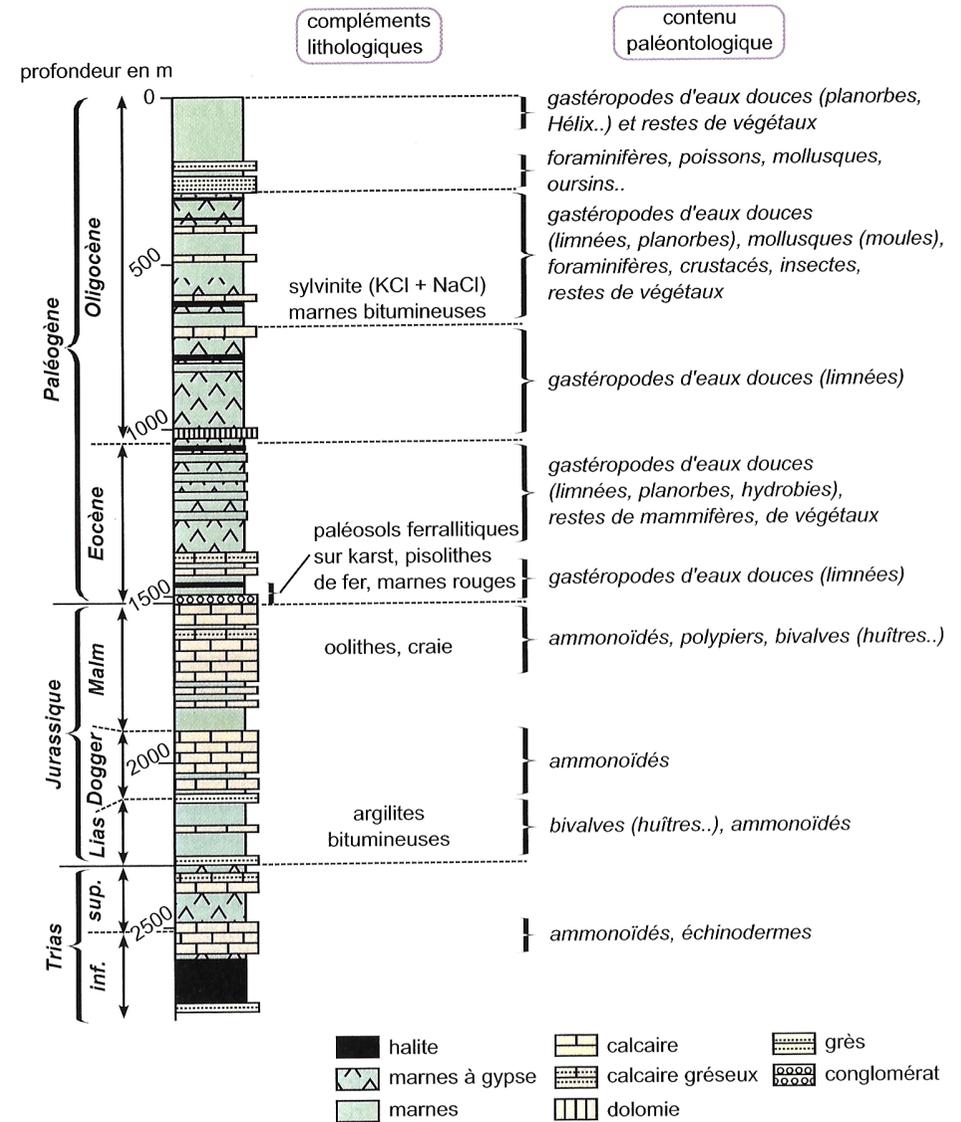


FIGURE TP9.7 Exemple de série sédimentaire au niveau du fossé rhénan (modifié et complété d'après sujet G2E 2014).

D'après PEYCRU et al. (2015) :

■ **Corrige**

1. L'analyse de l'ensemble de la colonne sédimentaire amène aux constatations suivantes :

- les dépôts mésozoïques dénotent une sédimentation marine (fossiles marins), littorale au Trias avec un développement important d'évaporites sous très faible tranche d'eau, qui se poursuit au Jurassique en milieu confiné (argilites bitumineuses) puis en domaine de plate-forme ouverte jusqu'au cours du Jurassique supérieur avec des faciès de plate-forme interne ;
- une lacune considérable concerne la fin du Jurassique et tout le Crétacé ; ce hiatus sédimentaire correspond pour partie au moins à une émergence et à l'érosion consécutive comme l'attestent les formations pédologiques du début de l'Éocène (conglomérats, surface karstique avec piégeage des produits de sols ferrallitiques du massif vosgien voisin très certainement) ; il est impossible de savoir s'il y a eu ou non dépôt de sédiments crétacés comme la craie présente dans le Bassin parisien non loin de là ;
- il y a un retour de la sédimentation à partir de l'Éocène, avec des conditions strictement lacustres si on se réfère aux fossiles ; or les dépôts d'évaporites apparaissent à cette époque ce qui suggère une origine autre que marine ; l'hypothèse la plus vraisemblable est de considérer qu'elles proviennent de l'érosion et de la nouvelle précipitation d'anciennes évaporites triasiques qui existent à la base de la colonne stratigraphique et qui devaient affleurer sur les bords du fossé en cours de formation (figure TP9.1b) ; la forte épaisseur de l'Éocène après la phase d'émergence suggère le développement à cette époque d'un processus de subsidence ;
- la sédimentation se poursuit en conditions mixtes cette fois-ci au cours de l'Oligocène ; des incursions marines sont à envisager d'après les fossiles rencontrés ; la forte évaporation conduit parfois au dépôt de sylvite (KCl) ; la sédimentation s'achève avant le Miocène par un retour à des conditions lacustres soit un retrait de la mer.

2. La figure TP9.9 est une interprétation du profil sismique. Y sont notées une faille majeure, de type normale, dont le rejet vertical minimum est de l'ordre de 2 100 m (trajet simple de 0,7 s environ à 3 km/s), quelques failles satellites à la base du fossé ainsi que la déformation des sédiments aux abords de la faille.

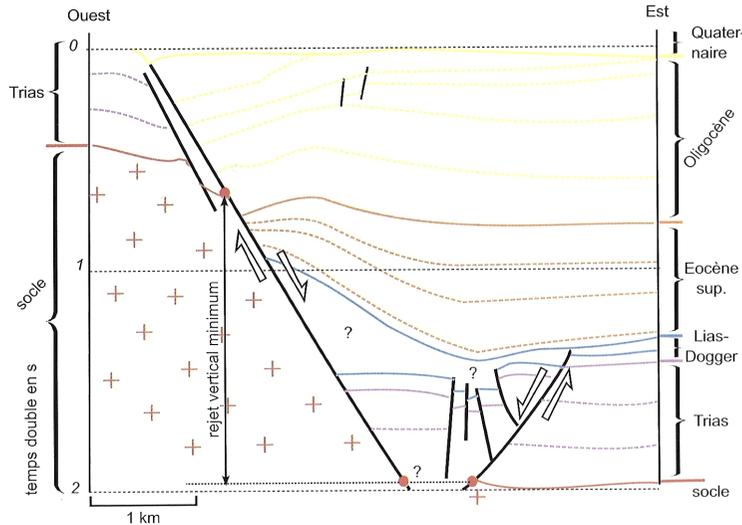


FIGURE TP9.9 Un exemple d'interprétation du profil sismique de la figure TP9.8.

3. Cette interprétation du profil conduit à classer les sédiments du fossé en trois catégories :

- les sédiments ante-rift comprenant les termes du Trias et du Jurassique inférieur et moyen ;
- les sédiments syn-rift allant de l'Éocène à l'Oligocène ; la faille normale la plus orientale n'affecte pas l'Éocène supérieur ce qui démontre son antériorité ; le rifting a donc débuté entre le Jurassique supérieur et le début de l'Éocène supérieur ; la lacune stratigraphique liée à l'émergence de la région ne permet pas de mieux encadrer cet épisode mais le log stratigraphique nous a amenés à situer le début de subsidence (tectonique) à l'Éocène ; en revanche, la faille majeure occidentale a connu une activité échelonnée sur l'Éocène supérieur et l'Oligocène puisque ces terrains viennent buter contre elle ;
- les sédiments du Quaternaire peuvent être considérés comme post-rift.

Les ondulations au sein des sédiments cénozoïques suggèrent soit un rejeu très local de la faille majeure, soit un épisode de compression qui pourrait être en lien avec la collision alpine (le caractère légèrement inverse des failles à la base du fossé en serait un témoignage).

L'histoire de ce bassin sédimentaire se révèle ainsi quelque peu singulière : la première phase de sédimentation s'est développée en domaine marin, sous une tranche d'eau de profondeur croissante mais assez modeste toutefois pour demeurer soumise aux variations du niveau marin ; s'ensuit une période d'émergence dont la cause pourrait être un événement précurseur du rifting (rifting passif) à savoir une augmentation locale de la température (installation d'un point chaud ?) entraînant une dilatation de la lithosphère et l'érosion des reliefs ainsi créés à partir des formations du Crétacé et du Jurassique supérieur (le Crétacé affleure plus à l'ouest, dans le Bassin parisien, où ses dépôts cumulent plusieurs centaines de m ainsi qu'au sud-ouest, dans le Jura où il est peu épais ; il est donc assez probable qu'il y eut des dépôts en Alsace). Le bombement thermique et l'amincissement de la lithosphère consécutive auraient dans ce cas induit la distension à partir de l'Éocène supérieur et durant tout l'Oligocène, distension ponctuellement contrebalancée par la collision alpine. La subsidence tectonique et thermique, en créant de l'espace disponible, a conduit à un comblement sédimentaire du fossé mais son altitude a freiné les incursions marines qui se sont révélées relativement rares. Aussi le dépôt d'évaporites cénozoïques est-il à rapporter pour une bonne partie, semble-t-il, à l'érosion d'évaporites plus anciennes, triasiques.

Références

- ARNDT, N., C. GANINO & S. KESLER (2015). *Ressources minérales. Origine, nature et exploitation*. 2^e édition (1^{er} édition 2010), Dunod, Paris.
- AUBOIN, J., J. DERCOURT & B. LABESSE (1970). *Manuel de travaux pratiques de cartographie. 1^{er} cycle et maîtrise*. Dunod, Paris.
- AUBOIN, J., R. BROUSSE & J.-P. LEHMAN (1978). *Précis de géologie. 2. Paléontologie, stratigraphie*. Dunod (Bordas), Paris, 3^e édition (1^{er} édition 1967).
- BABIN, C. (1991). *Principes de paléontologie*. Armand Colin, Paris.
- BARD, J.-P. (1990). *Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques*. Masson, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1980).
- BARBEY, P. & G. LIBOUREL (2003). *Les relations de phases et leurs applications. Des sciences de la Terre aux matériaux*. Gordon and Breach (Archives contemporaines), Paris.
- BARDINTZEFF, J.-M. (2006). *Volcanologie*. « Sciences Sup », Dunod, Paris, 3^e édition (1^{er} édition 1991).
- BAROIS, P. (2004). *Guide encyclopédique des volcans*. Delachaux et Niestlé, Paris.
- BEAUDOIN, G. (2006). *Géologie et métallogénie. Manuel de cours*. Géologie et génie géologique, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec, Canada.
- BEAUX, J.-F. & A. MAMECIER (2012). *Les sciences de la Terre*. Nathan, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 2010).
- BEAUX, J.-F., J.-F. FOGELGESANG, P. AGARD & V. BOUTIN, 2011. *Atlas de Géologie Pétrologie. BCPST 1^{er} et 2^e années*. Dunod, Paris.
- BERNARD, J.-J., D. CONTINI, G. GODET & G. GOHAU (1995). *Le Temps en géologie. Sciences de la Terre*. Hachette, Paris.
- BIJU-DUVAL, B. (1999). *Géologie sédimentaire. Bassins. Environnements de dépôts. Formation du pétrole*. Technip, Paris, Institut français du pétrole (École du Pétrole et des Moteurs), Rueil-Malmaison (92).
- BISHOP, A. C., W. R. HAMILTON, A. R. WOOLEY (2001). *Guide des minéraux, roches et fossiles*. « Les Guides du naturalistes », Delachaux et Niestlé, Paris, 336 pages.
- BORDI, C., F. SAINTPIERRE (dir.), M. ALGRAIN, R. BOUDJEMAI, H. CLAUCE, O. GUIPPONI & Y. KRAUSS (2018). *Mémento Géologie BCPST 1^{er} et 2^e années*. Vuibert, Paris.
- BOTTINELLI, L., A. BRAHIC, L. GOUGUENHEIN, J. RIPERT & J. SERT (1993). *La Terre et l'Univers. Sciences de l'Univers*. Hachette, Paris.
- BOULVAIN, F. (2014), en ligne. Diagenèse carbonatée. *Pétrologie sédimentaire*. Département de Géologie, Université de Liège (B).
URL : <http://www.geolsed.ulq.ac.be/sedim/diagenese.htm> (consultation août 2018)
- BOULVAIN, F. (2017a), en ligne. Éléments de sédimentologie et pétrologie sédimentaire. *Pétrologie sédimentaire*. Département de Géologie, Université de Liège (B).
URL : <http://www.geolsed.ulq.ac.be/sedim/sedimentologie.htm> (consultation août 2018)
- BOULVAIN, F. (2017b), en ligne. Identification microscopique des principaux constituants des roches sédimentaires (notes de travaux pratiques). *Pétrologie sédimentaire*. Département de Géologie, Université de Liège (B).
URL : <http://www.geolsed.ulq.ac.be/TP/TP.htm> (consultation août 2018)
- BOULVAIN, F. (2017c), en ligne. Dynamique des bassins sédimentaires. *Pétrologie sédimentaire*. Département de Géologie, Université de Liège (B).
URL : http://www.geolsed.ulq.ac.be/sedim/dyn_bassins.htm (consultation août 2018)
- BOULVAIN, F. (2018), en ligne. Une introduction aux processus sédimentaires. *Pétrologie sédimentaire*. Département de Géologie, Université de Liège (B).
URL : <http://www.geolsed.ulq.ac.be/processus/processus.htm> (consultation août 2018)
- BOULVAIN, F. & P. DUMONT (non daté), en ligne. Lexique de géologie sédimentaire. *Pétrologie sédimentaire*. Département de Géologie, Université de Liège (B).
URL : <http://www.geolsed.ulq.ac.be/sedim/lexique.htm> (consultation août 2018)
- BRUNET, F., D. ANDRAULT & G. CHAZOT (2007). *La Terre interne. Roches et matériaux en conditions extrêmes*. Vuibert, Paris.
- BUCHER, K. & M. FREY (2002). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer, Berlin – Heidelberg (D), 7^e édition.
- CARON, J.-M., A. GAUTHIER, J.-M. LARDEAUX, A. SCHAAF, J. ULYSSE & J. WOZNIAK (2003) (2^e édition, 1989). *Comprendre et enseigner la planète Terre*. Ophrys, Gap – Paris, 303 pages.
- CHAMLEY, H. (2000). *Bases de sédimentologie*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1987).
- CAMPY, M. & J.-J. MACAIRE (2003). *Géologie de la surface*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1989).
- CHANTRAINE, J., A. AUTRAN, C. CAVELIER (dir.) et collaborateurs (2003). *Carte géologique de la France à l'échelle du millionième*. Service géologique national, Bureau de Recherches géologiques et minières, Orléans, 6^e édition.
- CHAPUS, J.-L. (2006) (2^e). *Initiation à la géomorphologie*. « Universités Géographie », Ellipses, Paris, 172 pages.
- COJAN, I. & M. RENARD (2006). *Sédimentologie*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1999).
- COLLECTIF (1996). *Les Fossiles, témoins de l'Évolution*. Belin – Pour la Science, Paris.
- COMINS, N. F. (2011). *À la découverte de l'Univers. Introduction à l'astronomie et à l'astrophysique*. Traduction R. TAILLET et L. VILLAIN. De Boeck, Bruxelles (B).
- CORDIER, P. & H. LEROUX (2008). *Ce que disent les minéraux*. Belin, Paris.
- DANIEL, J.-Y., C. AUBOURG & P. DE WEVER (dir.) (2000). *Problèmes résolus de Sciences de la Terre et de l'Univers*. Vuibert, Paris.
- DANIEL, J.-Y. (dir.), A. BRAHIC, M. HOFFERT, R. MAURY, A. SCHAAF & M. TARDY (2006). *Sciences de la Terre et de l'Univers*. Vuibert, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1999).
- DE WEVER, P., L. LABROUSSE, D. RAYMOND & A. SCHAAF (2005). *La mesure du temps dans l'histoire de la Terre*. Vuibert, Paris.
- DE WEVER, P., B. DAVID & D. NÉRAUDEAU (Coll. J. BROUTIN) (2010). *Paléobiosphère. Regards croisés des Sciences de la Vie et de la Terre*. Vuibert, Paris.
- DEBELMAS, J., G. MASCLE & C. BASILE (2008). *Les grandes structures géologiques*. Dunod, Paris, 5^e édition (1^{er} édition 1991).
- DECONINCK, J.-F. (2006). *Paléoclimats. L'enregistrement des variations climatiques*. Société géologique de France – Vuibert, Paris.
- DELMAS, R., S. CHAUZY, J.-M. VERSTRAETE & H. FERRÉ (2007). *Atmosphère, océan et climat*. Belin, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1^{er} année*. Vuibert, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), C. BORDI, F. SAINTPIERRE, M. ALGRAIN-PITAVY, M. QUERTINIEZ, A. PROUST, M. VABRE A. HELME-GUIZON & B. MOLLIER (2019). *Biologie Géologie BCPST 2^e année*. Vuibert, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, B. MOLLIER, A. PROUST, M. QUERTINIEZ, F. SAINTPIERRE & M. VABRE (2021). *Prépas scientifiques BCPST 1^{er} année. Biologie Géologie. Tout-en-un*. Vuibert, Paris.
- DENÈUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2^e année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DENÈUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1^{er} année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DENÈUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2^e année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DERCOURT, J. (2002). *Géologie et géodynamique de la France. Outre-mer et européenne*. « Sciences Sup », Dunod, Paris, 3^e édition (1^{er} édition 1997), 330 pages.
- DERCOURT, J., J. PAQUET, P. THOMAS & C. LANGLOIS (2006). *Géologie. Objets, méthodes et modèles*. Dunod, Paris, 12^e édition (1^{er} édition 1974).
- DUBOIS, J. & M. DIAMENT (2005). *Géophysique*. « Sciences Sup », Dunod, Paris, 3^e édition (1^{er} édition 1997), x + 227 pages.
- DUCHAUFOUR, P. (2001). *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement*. Dunod, Paris, 6^e édition (1^{er} édition 1984, *Abrégé de pédologie*).
- EMMANUEL, L., M. DE RAFÉLIS & A. PASCO (2007). *Maxi fiches Géologie*. Dunod, Paris, 228 pages + VIII.
- FOUCAULT, A. & J.-F. RAOULT (2005). *Dictionnaire de Géologie*. Dunod, Paris, 6^e édition (1^{er} édition 1980).
- FOUCAULT, A., J.-F. RAOULT, F. CECCA & B. PLATEVOET (2014). *Dictionnaire de Géologie*. Dunod, Paris, 8^e édition (1^{er} édition 1980).
- GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1^{er} année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- JAUJARD, D. (2015). *Géologie. Géodynamique. Pétrologie. Études de terrain*. Maloine, Paris.
- JOLIVET, L. & H.-C. NATAF (1998). *Géodynamique*. Dunod, Paris.
- JUNG, J. (1958). *Précis de pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives*. Masson et Cie, Paris.
- JUPIN, H. (1996). *Le Cycle du carbone*. Hachette supérieur, Paris.
- JUTEAU, T. & R. MAURY (2008). *La croûte océanique. Pétrologie et dynamique endogènes*. Vuibert, Paris.
- KORNPROBST, J. (2001). *Métamorphisme et roches métamorphiques. Signification géodynamique*. Dunod, Paris, 3^e édition (1^{er} édition 1994).
- LAGABRIELLE, Y., S. LEROY (dir.), S. LALLEMAND, P. GENTE, J.-Y. COLLOT et collaborateurs (2005). *Le Visage sous-marin de la Terre*. Commission de la Carte géologique du Monde, Paris, 49 pages + 1 CD-Rom.
- LAGABRIELLE, Y., R. MAURY & M. RENARD (2013). *Mémo visuel de Géologie. L'essentiel en fiches. Licence. Prépas. CAPES*. Dunod, Paris.
- LALLEMAND, S. (1999). *La subduction océanique*. Overseas Publishers Association, Amsterdam (NL). Diffusion Gordon and Breach (Archives contemporaines), Paris.
- LALLEMAND, S., P. HUCHON, L. JOLIVET & G. PROUTEAU (2005). *Convergence lithosphérique*. Vuibert – Société géologique de France, Paris.
- LANGLOIS, C. (2011). *Mini manuel de Géologie – Géophysique*. Dunod, Paris.
- LARROQUE, C. & J. VIRIEUX (2001). *Physique de la Terre solide. Observations et théories*. Gordon and Breach – Archives contemporaines, Paris.

LEMOINE, M., P.-C. DE GRACIANSKY & P. TRICART (2000). *De l'océan à la chaîne de montagnes. Tectonique des plaques dans les Alpes*. Overseas Publishers Association, Amsterdam (NL). Diffusion Gordon and Breach (Archives contemporaines), Paris.

MACHETEL, P. (2008). *Les Pulsations de la Terre. Dynamique du manteau*. Vuibert, Paris.

MACKENZIE, W. S. & A. E. ADAMS (2005). *Initiation à la pétrographie*. Dunod, Paris, 3^e édition (1^{er} édition 1992), 192 pages.

MARSHAK, S. (2010). *Terre, portrait d'une planète*. Traduction O. ÉVRAD. De Boeck, Bruxelles (3^e édition américaine 2008).

MASCLE, G. (2008). *Les roches, mémoire du temps*. EDP Sciences, Les Ulis (91).

MATTAUER, M. (1998). *Ce que disent les pierres*. Belin – Pour la Science, Paris.

MEHIER, B. (1995). *Magmatisme et tectonique des plaques*. « Sciences de la Vie et de la Terre », Ellipses, Paris, 256 pages.

NOUGIER, P. (2000a). *Déformation des roches et transformation de leurs minéraux. Initiation à la tectonique*. Ellipses, Paris.

NOUGIER, P. (2000b). *Structure et évolution du globe terrestre*. Ellipses, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1993).

PERRIER, C. & J.-F. BEAUX (dir.), A. BOUFFIER, L. BOUGEOIS, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J. DÉMARET-NICOLAS, A. EMOND, S. MAURY, O. MONNIER, T. SOUBAYA, A. VERGNAUD & A. WOERHLÉ (2021). *Biologie-Géologie BCPST 1. Tout-en-un*. Dunod, Malakoff (F).

PEYCRU, P. (dir.), J.-M. DUPIN, J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, C. VAN DER REST, F. CARIOU, C. PERRIER & B. AUGÈRE (2008). *Géologie tout-en-un 1^{er} et 2^e années BCPST*. Dunod, Paris.

PEYCRU, P., J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, C. BECK, F. CARIOU, J.-M. DUPIN, J.-L. SCHNEIDER, M. TARDY & C. VAN DER REST (2015). *Géologie tout-en-un BCPST 1^{er} et 2^e années*. Dunod, Paris.

POMEROL, C., Y. LAGABRIELLE & M. RENARD (2003) (12^e édition, 1965). *Éléments de géologie*. « Masson Sciences », Dunod, Paris, 746 pages.

POMEROL, C., Y. LAGABRIELLE, M. RENARD & S. GUILLOT (2011). *Éléments de géologie*. Dunod, Paris, 14^e édition (1^{er} édition 1965).

PROVOST, A. & C. LANGLOIS (2011). *Mini manuel de Géologie – Roches et géochimie*. Dunod, Paris.

REY, J. (dir.) (1997). *Stratigraphie. Terminologie française. Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration-Production*, mémoire 19, Elf Aquitaine, Pau, 164 pages.

RENARD, M., Y. LAGABRIELLE, E. MARTIN & M. DE RAFÉLIS (2018). *Éléments de géologie. 16^e édition du « Pomerol »*. 1^{er} édition 1965 (Armand Colin). Dunod, Paris.

ROBERT, C. & R. BOUSQUET (2013). *Géosciences. La dynamique du système Terre*. Belin, Paris.

ROTARU, M., J. GAILLARDET, M. STEINBERG & J. TRICHET (2006). *Les climats passés de la Terre*. Société géologique de France – Vuibert, Paris.

SOREL, D. & P. VERGELY (1999). *Initiation aux cartes et aux coupes géologiques*. Dunod, Paris, 96 pages.

SOREL, D. & P. VERGELY (2010). *Atlas. Initiation aux cartes et aux coupes géologiques*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{er} édition 1999).

TROMPETTE, R. (2003). *La Terre. Une planète singulière*. Belin, Paris.

VIDAL, P. (1994). *Géochimie*. Dunod, Paris.

VRIELYNCK, B. & P. BOUYSSÉ (2003). *Le visage changeant de la Terre*. « Sciences de la Terre », UNESCO & Commission de la Carte géologique du Monde, Paris, 33 pages + 1 CD-Rom.

WESTPHAL, M., H. WHITECHURCH & M. MUNSCHY (2002). *La tectonique des plaques*. Gordon and Breach (Archives contemporaines), Paris.

Plan du TP

Objectifs du TP (programme)	1
Activité 1. Modalités d'altération du granite en climat tempéré	2
Activité 2. Modelé d'altération glaciaire : la vallée du Clot des Cavales (Isère)	3
Activité 3. Modelé d'altération d'un paysage plissé (subalpin) : le synclinal perché de l'Arclusaz (Savoie)	3
Activité 4. Étude cartographique de formations superficielles (moraines et terrasses) à Lourdes (Hautes-Pyrénées)	4
Activité 6. Analyse des sédiments détritiques et de la géométrie des dépôts du delta du Rhône	6
Activité 7. Étude d'un bassin sédimentaire : le fossé rhénan	7
A. Identification des caractéristiques du bassin à partir de la carte au millionième	7
B. Structure du rebord occidental du bassin	8
C. Structure profonde du bassin : données géophysiques	9
D. Étude sédimentaire du bassin	11
Références	13
Plan du TP	14

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en juin 2023 en l'état • Dernière actualisation : *idem*.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : <https://www.svt-tanguy-jean.com/>



Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.