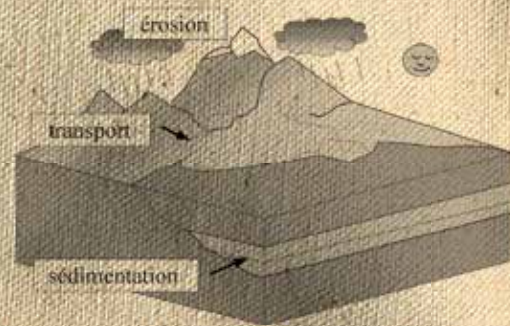




Parc naturel régional
des Marais du
Cotentin et
du Bessin

L'ÉCOLE BUISSONNIÈRE

cahier pédagogique sur la géologie



cahier n°6

Le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin a une mission d'éducation à l'environnement qu'il conduit en partenariat avec des associations et en relation avec l'Education Nationale.

Le Parc soutient les projets pédagogiques des enseignants à travers, notamment, d'outils comme les cahiers pédagogiques. Ceux-ci, destinés à l'enseignant, apportent des connaissances générales sur un thème, et présentent des outils et des pistes d'exploitation en classe.

Ils complètent ainsi les animations qui se déroulent avec les élèves. Ce cahier a été rédigé par Lionel Dupret, Maître de conférences au Département des Sciences de la Terre de l'Université de Caen avec le concours du CPIE du Cotentin et du CIEC.

La géologie fait partie des Sciences de la Terre. Elle cherche à expliquer le fonctionnement de notre planète depuis sa formation, il y a 4,6 milliards d'années, jusqu'à nos jours. Elle joue aussi un rôle majeur dans la vie quotidienne des hommes (matières premières, ressources énergétiques) et leur environnement (recherche et protection de l'eau, prévention des risques naturels).

La géologie est avant tout une science d'observation et d'analyse des parties accessibles de l'écorce terrestre. Elle conduit à la connaissance des matériaux qui forment la Terre (minéralogie et pétrographie), des êtres vivants qu'il ont peuplés (paléontologie), des processus géodynamiques internes (volcanisme tectonique, métamorphisme, ...) ou externes (altération, érosion, sédimentation) qui en font une planète vivante.

Toutes ces études permettent de reconstituer l'histoire des divers événements géologiques enregistrés dans une région. L'histoire géologique de la Basse Normandie est extraordinairement longue et variée. Son sous-sol garde l'empreinte de phénomènes géologiques qui se sont enchaînés pendant deux milliards d'années !

Les roches affleurant à Fresville (Manche) témoignent d'une petite tranche de cette histoire, lorsque la mer chaude du Jurassique venait lentement recouvrir les restes d'une ancienne chaîne de montagnes.



I Connaissances générales

p 4

I.1 La Terre... qu'y a-t-il à l'intérieur?

p 5

I.2 La Terre... une planète dynamique!

p 6

I.3 Comment se forment les roches?

p 9

I.4 Comment trouver l'âge d'une roche ou dater un événement géologique?

p 12

I.5 Comment se forment les océans et les chaînes de montagnes ?

p 13

I.6 Des continents à la dérive !

p 13

I.7 La déformation des roches, objet de la tectonique

p 15

I.8 L'histoire de la Vie

p 16

I.9 L'histoire géologique de la Basse-Normandie



II Le site de Fresville

p 19

II.1 Présentation

p 19

II.2 Observations géologiques

p 20

II.3 Reconstitution des événements géologiques



III Outils et exploitations pédagogiques

p 21

III.1 Le contexte géologique régional

p 22

III.2 Les roches sédimentaires

p 26

III.3 Les fossiles

p 27

III.4 L'échelle du temps

p 29

III.5 L'utilisation des roches

p 30

III.6 Les carrières

IV Pour en savoir plus !





I Connaissances générales

Origine de la Terre

Ilyaplusdequatremilliardsetdemid'années,auxconfinsdenotregalaxie, unimmensenuagedegazetdepoussièrescosmiquescommençaàsecontracter sousl'actiondesforcesdegravitationpourdevenirunenébuleuseàl'originedu système solaire.

Cenuageestalorsessentiellementconstituédepetitsatomesd'hydrogèneet d'hélium,issusdu«bigbang»,etd'élémentspluslourds(carbone,soufre,silicium, fer,or,uranium)apparulsorsdesréactionsdefusionaucœurd'anciennesétoiles.

Lenuagetournesurlui-mêmeetprendlaformed'undisque.Latempérature augmenteensoncentrejusqu'àatteindre15millionsde°C,cequidélanchelafusion de l'hydrogène en hélium à l'origine du soleil.

Autourdecetteétoile,desgrainsdematièrevonts'agglomérerpuisentrer encollisionpourformerlesplanètes.LaTerre,crééeainsi,subieunefusionetse différencieencouchesconcentriques,lesélémentslespluslourdsformantlenoyau central.

Peuaprèssaformation,unepetiteplanèteentreencollisionavecelle,générant un anneau de débris qui se rassembleront pour former la Lune.

I.1 La Terre... qu'y a-t-il à l'intérieur ?

LaplanèteTerreestconstituéed'élémentschimiquesrassemblésen 3ensembles:lagéosphère,principalementsolide,forméed'élémentslourds(silice, aluminium,fer,magnésium...);l'hydrosphèreliquide(H₂O);etl'atmosphèregazeuse renfermantlesélémentslespluslégers(oxygène,hydrogène,azote).C'estàl'interface deces3ensemblesques'estdéveloppéelavieformantunespécificitédelaTerre: labiosphère.

La géosphère a un rayon de 6370 km et se subdivise en 4 couches concentriques, de nature chimique et d'épaisseurs différentes (fig.1):

- lacroûte,composéesoitparlacroûteocéanique(faitedebasalteetde gabbro,épaissede10km),soitparlacroûtecontinentale(faitedegranite et de gneiss, épaisse de 30 à 70 km) ;
- lemanteaudepéridotitesolide,maisplusoumoinsrigide,s'étendantjusqu'à 2900 km de profondeur;
- lenoyauexternefluide,composédefer(90%)etdenickel(de2900à 5100 km);
- lenoyauinterne(ougraine)deferetdenickelsolidifiés(de5100à6300km).

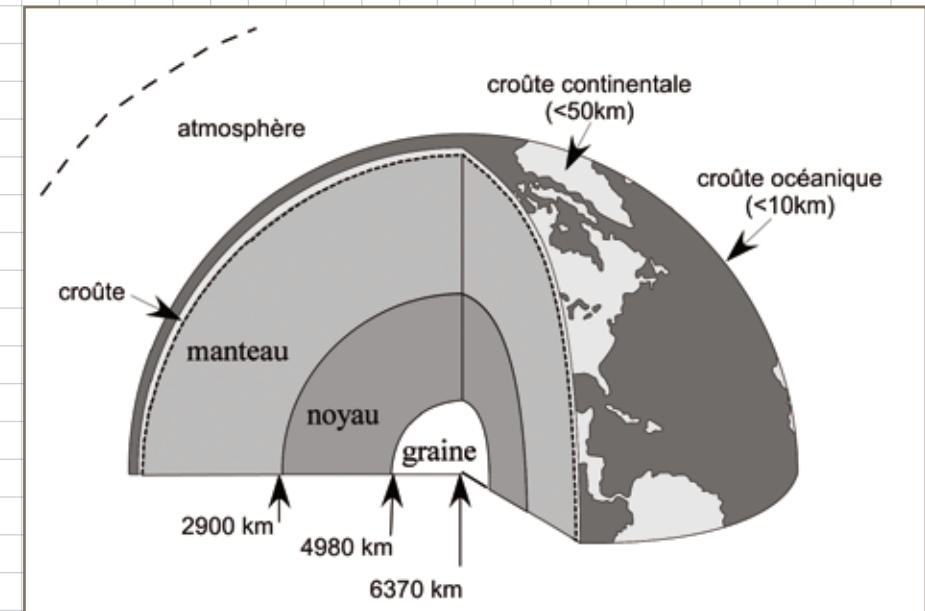


Fig.1 composition de la géosphère

1. Pour en savoir plus ! : la géosphère.

I.2 La Terre... une planète dynamique !

Les volcans cracheurs de laves, les tremblements de terre, les éboulements et glissements de terrains, ou bien les ouragans et les inondations catastrophiques, sont des phénomènes naturels qui modifient sans cesse la surface du globe. Ils font de la Terre une planète active du système solaire.

Cette activité puise son énergie à deux sources distinctes (fig.2) :

- la chaleur interne, issue principalement de la désintégration des minéraux radioactifs (uranium, thorium, potassium...) contenus dans les péridotites du manteau;
- la chaleur externe en provenance directe de notre étoile, le soleil.

En fonction de la source énergétique, on distingue donc deux grands types de phénomènes géologiques : ceux d'origine profonde, relevant de la géodynamique interne (volcanisme, séismes, érection des chaînes de montagnes) ; et ceux affectant la surface du globe, responsables de la géodynamique externe (érosion, sédimentation, variations climatiques).

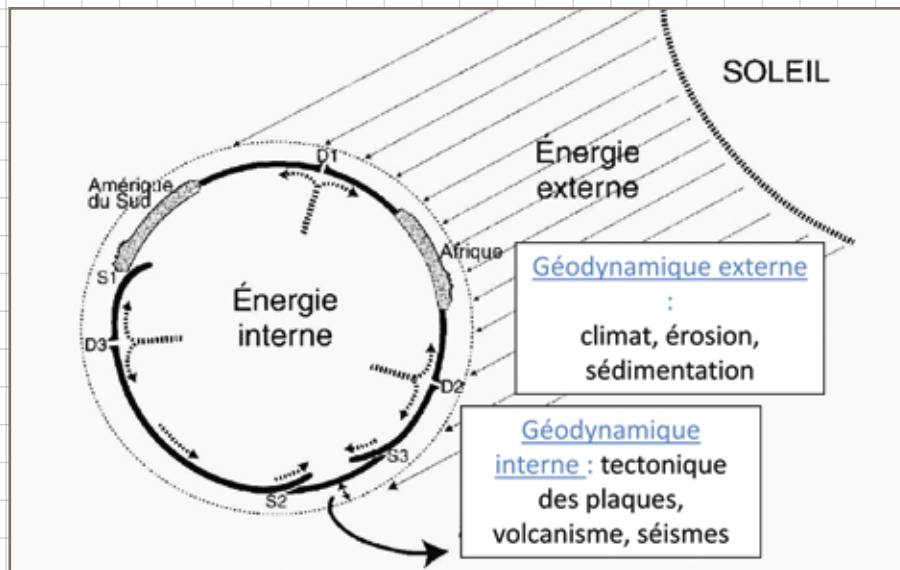


Fig.2 Les deux sources d'énergie responsables de la dynamique terrestre

La géodynamique interne :

La Terre est une formidable machine thermique : la température atteint 6000°C en son centre. La dissipation de cette chaleur vers la surface crée des forces et des transferts de matière qui régissent la tectonique des plaques. Cette théorie unificatrice, élaborée dans les années 60, permet d'expliquer la dynamique du globe à l'origine de nombreux phénomènes géologiques comme l'ouverture et la fermeture des océans, l'érection des chaînes de montagnes, l'apparition des volcans et des tremblements de Terre... Ces phénomènes sont tous liés au déplacement de plaques lithosphériques rigides qui migrent à vitesse très lente à la surface de notre planète. On dénombre actuellement sept grandes plaques lithosphériques et plusieurs petites (fig.3). La Normandie fait partie de la grande plaque euro-asiatique.

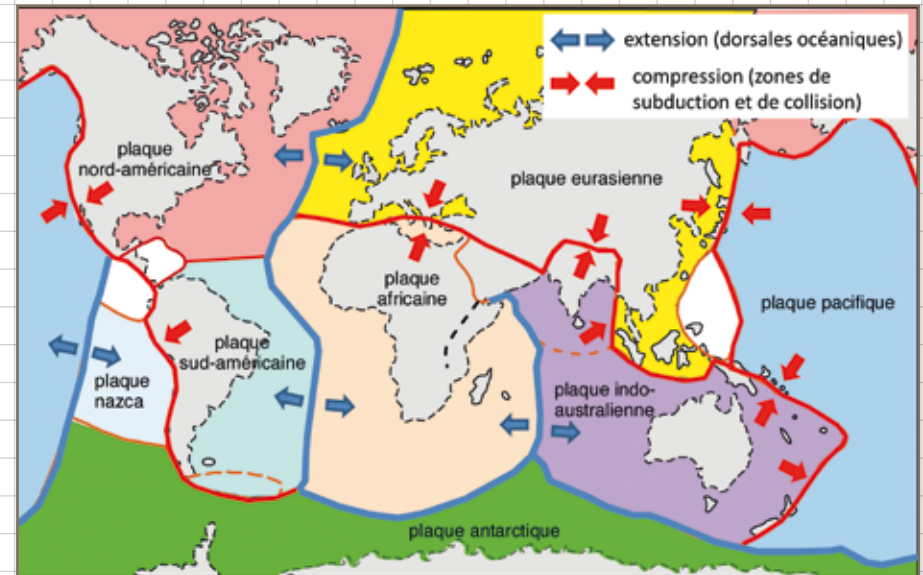


Fig.3 Les grandes plaques tectoniques

2. Pour en savoir plus !

Qu'est-ce qu'une plaque lithosphérique ?
Quel est le moteur de la tectonique des plaques ?



La géodynamique externe :

La surface de la Terre reçoit l'énergie solaire sous forme de rayonnement électromagnétique qui se répartit de façon inégale entre la zone équatoriale chaude et les pôles froids. Ce déséquilibre thermique est à l'origine des circulations atmosphériques et océaniques qui engendrent les climats. La pluie, le vent, le gel, qui en découlent, altèrent les roches et érodent les continents. Les produits de cette érosion (particules solides ou ioniques solubles) sont transportés par les rivières et les fleuves jusqu'à la mer où ils se sédimentent.

Erosion, transport et sédimentation sont les 3 phases du cycle géodynamique externe qui régissent l'évolution de la surface de la Terre (fig.4). Les deux premiers processus dominent sur les continents où ils aplanissent les chaînes de montagnes, le dernier concerne plus les mers et les océans.

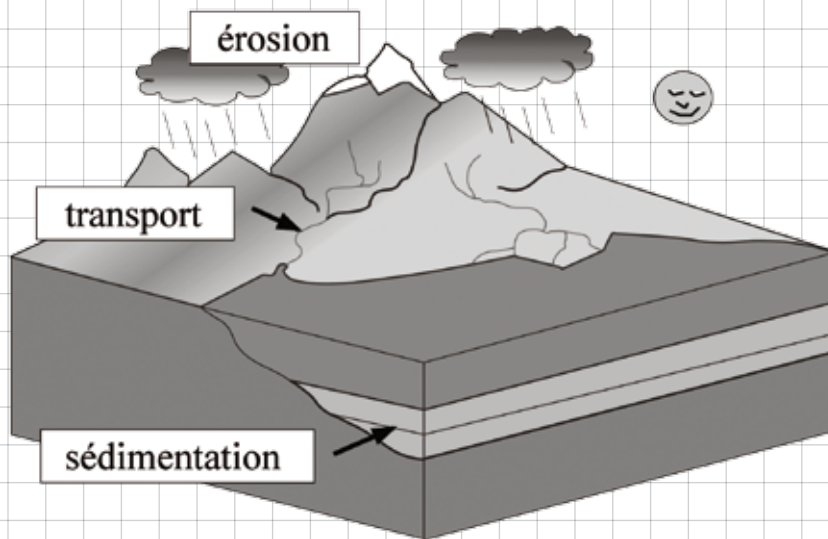


Fig.4 Les 3 phases de la géodynamique externe

Par son cycle « précipitation-ruissellement-évaporation », l'eau, sous ses 3 états (liquide, solide et gazeux), intervient dans toutes les étapes de la géodynamique externe. C'est le support essentiel des grands cycles biogéochimiques et tout changement climatique global se répercute sur son rôle de régulation et de transfert de l'énergie externe.

Au cours des temps géologiques, l'activité interne et externe de notre planète a permis d'élaborer les matériaux qui constituent les différentes roches de la croûte terrestre.

1.3 Comment se forment les roches ?

Les roches sont constituées par un assemblage de différents minéraux. Ces derniers résultent d'un arrangement géométrique d'atomes, organisés en réseau cristallin spécifique (cubique, hexagonal, rhomboédrique...).

Prenons un exemple : la roche appelée Granite est constituée par l'assemblage de 3 types de minéraux : le quartz, les feldspaths et les micas. Certaines roches peuvent être mono-minérales, comme le Sel Gemme qui est composé uniquement de cristaux de halite.

En fonction de leur condition de formation, on distingue trois grandes familles de roches : les roches sédimentaires, liées aux phénomènes géodynamiques externes ; les roches magmatiques et métamorphiques, qui tirent leur origine des phénomènes géodynamiques internes.

Les roches sédimentaires :

Elles se forment à la surface de l'écorce terrestre (roches exogènes) par sédimentation de petites particules minérales déposées dans l'eau, le plus souvent dans la mer.

Certaines roches sédimentaires restent meubles ou plastiques (sables, argiles), voire liquide (pétrole), mais la plupart sont consolidées lors de leur enfouissement par compaction et cimentation (processus de diagenèse). Leur densité est voisine de 2,5. La dureté de ces roches est très variable et peut servir de critère de reconnaissance : le gypse se raye à l'ongle ; le calcaire ne raye pas l'acier ; le grès, qui renferme du quartz, raye le verre.

Sur le terrain, les roches sédimentaires ont un aspect stratifié caractéristique. Ces bancs (ou strates) sont dus à l'empilement de différentes couches de sédiments qui se superposent avec le temps. En l'absence de déformation, les strates sont horizontales comme au moment de leur dépôt sur le fond de la mer.

Les roches sédimentaires sont les seules roches pouvant renfermer des fossiles d'animaux et de végétaux. Ceux-ci vont renseigner les géologues sur l'âge des terrains, les milieux de dépôt (paléoécologie) et l'histoire de la vie passée (Cf. § 1.4 et 1.8).

3. Pour en savoir plus ! : trois origines pour les roches sédimentaires

En fonction de la composition chimique, les roches sédimentaires sont classées en 6 familles (tableau 2 en annexes) :

- les roches siliceuses, formées essentiellement par la silice, sous forme de quartz (SiO_2) ou de calcédoine ;
- les roches carbonatées, renfermant des carbonates de calcium (calcaire), ou des carbonates de magnésium (dolomite) ;
- les roches argileuses, composées de minéraux argileux riches en aluminium (kaolinite, illite, chlorite...) ;
- les roches salines (ou évaporites), composées de sulfates (gypse) ou de chlorures (sel gemme) qui précipitent par évaporation de l'eau de mer ;
- les roches ferrugineuses, renfermant du fer sous la forme d'oxydes (hématite, magnétite), d'hydroxydes (goéthite) ou de sulfures (pyrite) ;
- les roches carbonées (tourbe, charbon, pétrole), contenant du carbone provenant des débris de plantes ou de bactéries.

Sur le site de Fresville : Les roches bien stratifiées de la carrière de Fresville sont des roches sédimentaires carbonatées et argileuses, d'origine biologique et détritique. Ils agissent d'alternances de bancs de calcaire, de couleur claire, et de marne, plus sombre. Au sommet de l'ancien front de taille situé à l'Est de la carrière, une roche siliceuse d'origine détritique est présente sous la forme d'un sable beige, riche en grains de glauconie verte et en microfossiles (Orbitolines).

Les roches magmatiques :

À l'opposé des roches sédimentaires, les roches magmatiques (encore appelées roches éruptives ou endogènes) naissent à l'intérieur de la croûte terrestre, à partir d'une anomalie thermique profonde qui donne naissance à un magma, c'est-à-dire un mélange de gaz, de liquide et de cristaux, porté à haute température (de 800 à 1200°C). Lorsque la température baisse, des minéraux cristallisent pour former, soit des roches plutoniques (granite, diorite, gabbro...) en profondeur, soit des roches volcaniques (rhyolite, andésite, basalte...) qui s'épanchent en surface. Le temps de refroidissement détermine la taille des cristaux : un refroidissement lent produit des gros cristaux (granite), un refroidissement rapide génère des petits cristaux, appelés microlites, caractéristiques des roches volcaniques (basalte) (fig.5).

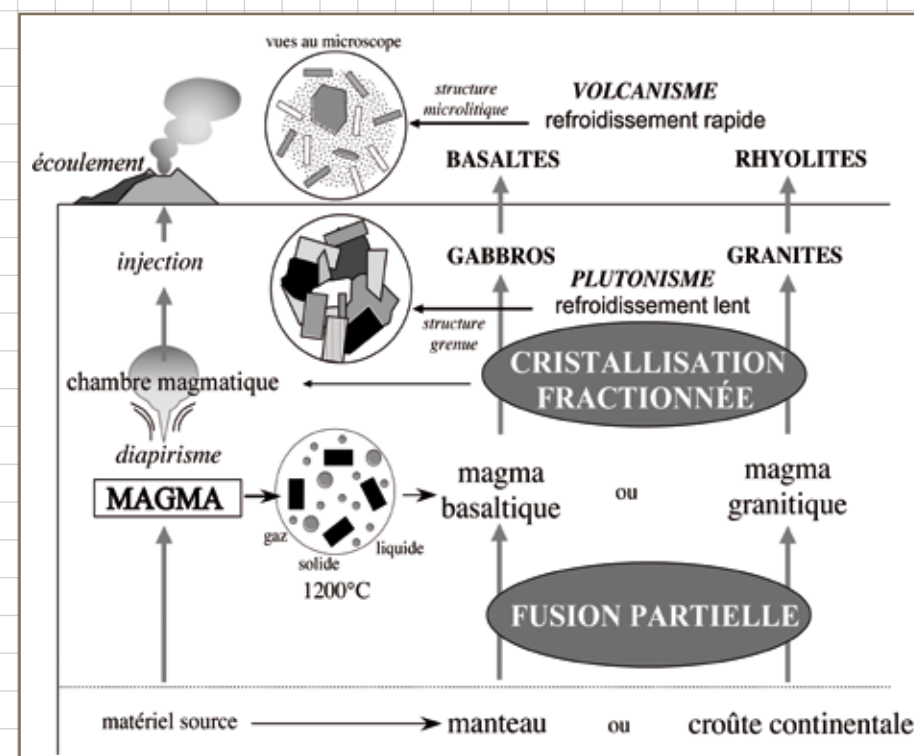


Fig.5 Origine des roches magmatiques

4. Pour en savoir plus ! : genèse des roches magmatiques



Comment classer les roches magmatiques ?

Les roches éruptives de la croûte terrestre se différencient par leur teneur en silice (SiO_2). On distingue : les roches acides, riches en silice ($>60\%$ de SiO_2) ; les roches intermédiaires (entre 52 et 60% de SiO_2) et les roches basiques, pauvres en silice (entre 45 et 52 % de SiO_2).

En fonction du chimisme et de leur minéralogie, les roches magmatiques se classent selon 4 grandes familles : les syénites, les granites, les diorites et les gabbros. Le mode de mise en place plus ou moins rapide conditionne leur aspect grenu (syénite, granite, diorite, gabbro), microgrenu (microsyénite, microgranite, microdiorite, dolérite) ou microlithique (trachyte, rhyolite, andésite, basalte).

5. Pour en savoir plus ! : la classification des roches magmatiques.

Où se forment les roches magmatiques ?

Les roches magmatiques naissent principalement aux frontières des plaques lithosphériques, soit dans les zones d'accrétion où les plaques s'écarternt (Islande), soit dans les zones de subduction où elles s'approchent (Japon, les Andes, les Antilles...). Il existe également des roches magmatiques qui se mettent en place en plein milieu des plaques lithosphériques (on parle alors de magmatisme intraplaque). Enfin, lorsque deux plaques lithosphériques continentales s'affrontent à un niveau des zones de collision, des roches de la croûte peuvent fondre et donner naissance à des magmas granitiques.

En Normandie : la figure 6 localise les roches magmatiques (plutoniques et volcaniques) du Cotentin. Elles appartiennent toutes au socle ancien du Massif armoricain, et sont d'âge précambrien (granites de la Hague, volcanites du Val de Saire et du Coutançais) ou paléozoïque (granites de Flamanville et de Barfleur, volcanites de St-Germain-le-Gaillard).

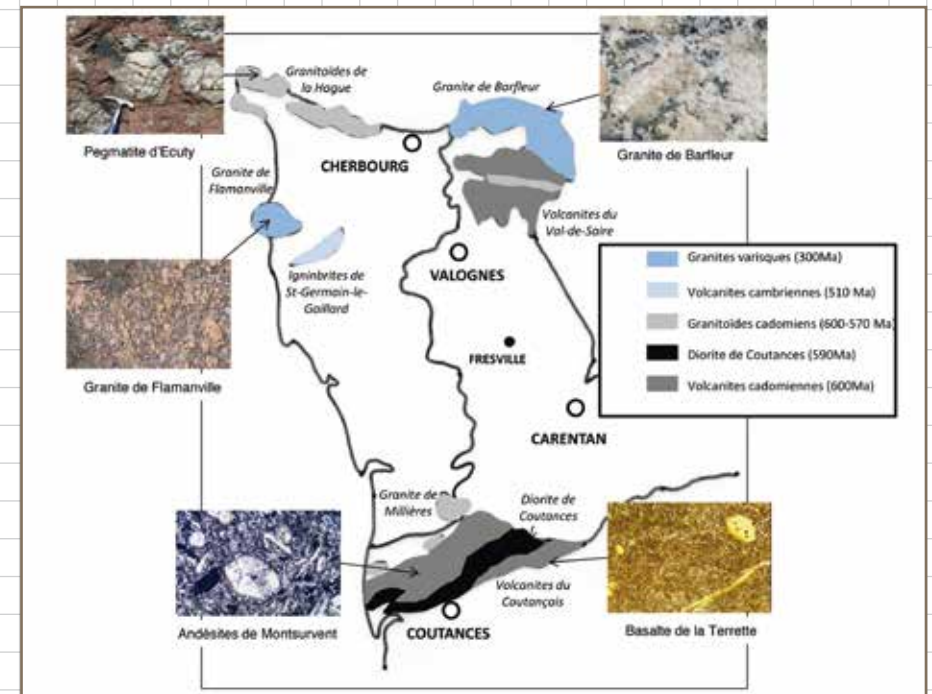


Fig.6 Les roches magmatiques du Cotentin

6. Pour en savoir plus ! : magmatisme et tectonique des plaques.

Les roches métamorphiques :

Sous l'effet d'une augmentation de température (T) et de pression (P), des roches magmatiques sous sédimentaires se transforment en roches métamorphiques. Des plans d'écroulement (foliation) apparaissent et de nouveaux minéraux (cordiérite, andalousite, grenat, sillimanite...) se forment au détriment des anciens. On distingue deux types de métamorphisme : le métamorphisme régional qui affecte de vastes zones où dominent les gneiss et les micaschistes ; le métamorphisme de contact limité à une aurole de cornéennes ou de schistes tachetés autour des massifs plutoniques.

En Normandie : les seules roches du métamorphisme régional sont les vieux gneiss cartiens, datés à 2 milliards d'années, affleurant dans la Hague (Nez de Jobourg). Dans le Cotentin, les roches du métamorphisme de contact sont présentes autour des granites de Flamanville (anse de Siotot) et de Barfleur (Bretteville-en-Saire).

7. Pour en savoir plus ! : métamorphisme et tectonique des plaques.

Conclusion : le cycle des roches (fig.7)

Toutes les roches de l'écorce terrestre participent à un cycle qui peut durer des millions d'années.

À la surface de la Terre, les agents atmosphériques provoquent une altération chimique et une érosion mécanique (1) des roches des continents. Les sédiments, produits de cette érosion, sont transportés jusqu'à la mer (2) où ils se déposent (3). Le lent enfouissement provoque une compaction et une cimentation (4) qui transforment les sédiments meubles en roches sédimentaires cohérentes (diagenèse). Dans les profondeurs de la Terre, les phénomènes géodynamiques internes (subduction, collision), transforment une partie des roches sédimentaires en roches métamorphiques (5). La fusion des roches du manteau et de la croûte produit des magmas qui donnent naissance aux roches plutoniques en profondeur (7) et volcaniques en surface (8).

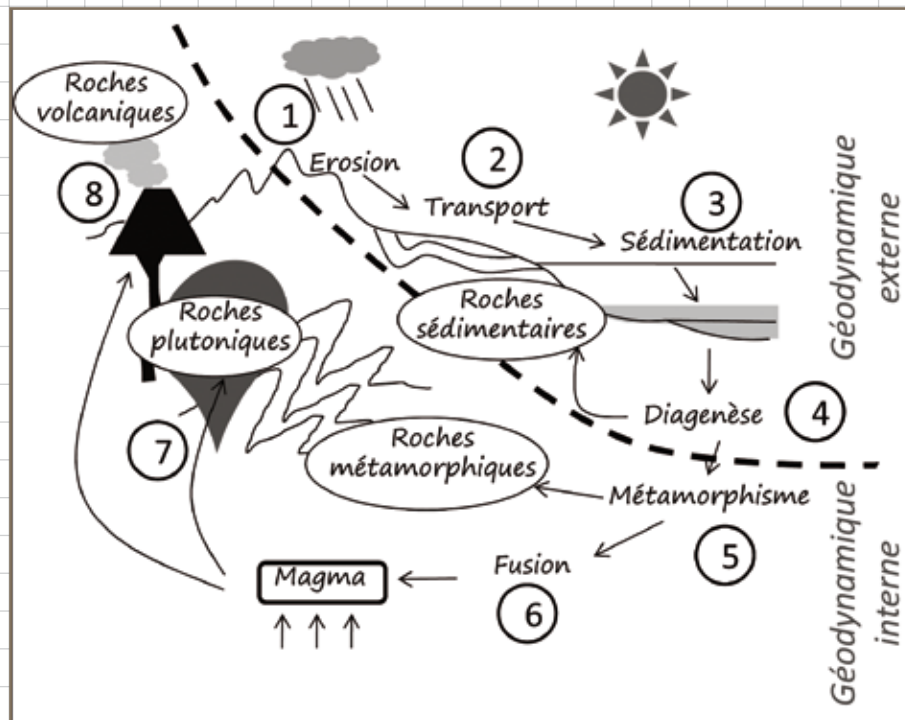


Fig.7 Le cycle des roches

Au cours de la formation des chaînes de montagnes, les roches sédimentaires, magmatiques ou métamorphiques pourront atteindre la surface où elles subiront une érosion qui engendrera de nouveaux sédiments. Un nouveau cycle peut commencer.

Depuis la formation de la Terre, il y a 4,6 milliards d'années, de nombreux événements géologiques sont apparus au cours de cycles géologiques successifs. Mais comment établir le calendrier de ces événements ?

I.4 Comment trouver l'âge d'une roche ou dater un événement géologique ?

Deux grands types de méthodes sont utilisés par les géologues pour connaître l'âge des roches et des événements géologiques : la datation relative, qui permet de classer les événements les uns par rapport aux autres, et la datation absolue qui indique l'âge des roches en millions d'années (Ma). Ces méthodes ont conduit à l'élaboration d'une échelle internationale des temps géologiques.

Les méthodes de datation relative :

Les roches et les événements géologiques sont d'abord datés de manière relative, d'une part grâce à la disposition géométrique des terrains et, d'autre part, grâce à l'étude de leur contenu fossilifère.

Observations stratigraphiques (fig. 8) :

Le géologue analyse la disposition des terrains, les uns par rapport aux autres, en utilisant trois principes fondamentaux de la stratigraphie : le principe de superposition, de recoupement et d'inclusion.

- le principe de superposition : une couche de terrain est plus récente que celle qu'elle recouvre ;
- le principe de recoupement : toute entité qui recoupe une autre lui est postérieure ;
- le principe d'inclusion : les morceaux de roches inclus dans une autre couche sont plus anciens que leur contenant.

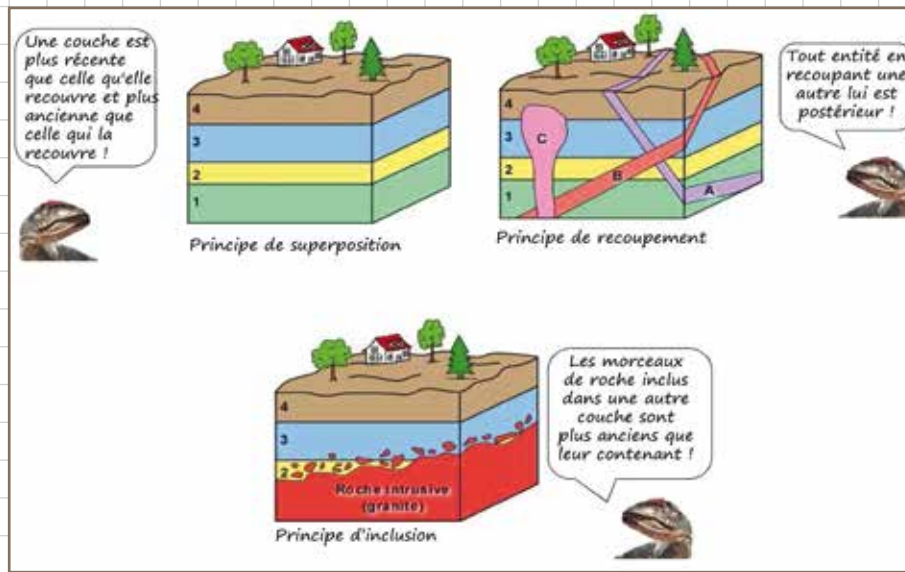


Fig.8 Principes fondamentaux de la stratigraphie

Utilisation des fossiles :

L'étude des fossiles permet de connaître la composition et l'évolution de la faune et de la flore au cours des différentes époques géologiques. Ainsi, les Trilobites vivaient sur les fonds marins durant l'ère paléozoïque (entre 540 et 240 Ma), tandis que les Ammonites et les Dinosaures habitaient respectivement les mers et les continents de l'ère mésozoïque (entre 240 et 65 Ma). Les premiers végétaux terrestres sont apparus au Dévonien, tandis que les premières plantes à fleurs se sont développées à partir du Crétacé.

Mais, certaines espèces d'animaux ou de végétaux n'ont vécu qu'un laps de temps très court à l'échelle géologique (de un à quelques millions d'années!). On les appelle les fossiles stratigraphiques. Leur présence dans une roche atteste donc d'une époque précise de formation de cette roche. Si on les retrouve dans les terrains de régions différentes, on peut supposer que ceux-ci ont le même âge.

Les fossiles stratigraphiques datent donc la couche dans laquelle ils sont fossilisés. Ce sont des repères de temps à partir desquels on peut comparer les terrains et établir une chronologie.

En Normandie : la figure 9 présente quelques exemples de fossiles stratigraphiques présents dans les terrains du Cotentin :

Ajacyathus, archéocyathes du Cambrien inférieur de Barneville-Carteret (Manche)

Trinucleus, trilobites de l'Ordovicien supérieur de la baie d'Ecalegrain (Manche)

Stromatopores, coraux primitifs du Dévonien de Baubigny (Manche)

Lophostropheus, dinosaure du Trias supérieur d'Airel (Calvados)

Gryphaea arcuata, huîtres du Sinémurien de Fresville (Manche)

Parkinsonia parkisoni, ammonites du Bajocien de St-Honorine-des-Pertes (Calvados).

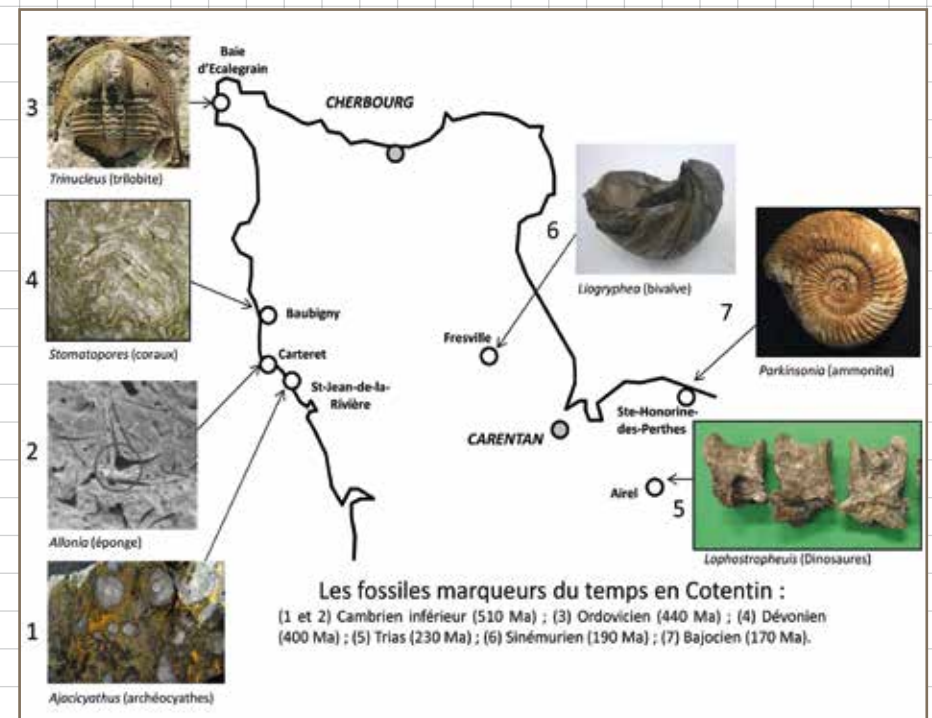


Fig.9 Les fossiles marqueurs du temps en Cotentin

La datation absolue :

L'âge réel d'un rocher est difficile à évaluer. La découverte de la radioactivité naturelle a permis d'élaborer une méthode de datation absolue (la radiométrie) pour estimer l'âge des événements géologiques en millions d'années. En analysant des éléments radioactifs contenus dans un rocher, les géologues disposent d'un chronomètre qui permet de calculer l'âge de cette roche (ou des événements métamorphiques ultérieurs). C'est grâce à l'utilisation de ces méthodes de datation absolue que l'on peut dire, en Normandie, que les anciens granites cartiens de la Hague ont 2000 Ma, que la diorite de Coutances est vieille de 584 Ma ou que les granites de Flamanville et de Barfleur se sont mis en place vers 300 Ma.

8. Pour en savoir plus ! : la radiométrie

L'échelle des temps géologiques (fig.10) :

En se basant sur des connaissances rassemblées depuis plus d'un siècle, les géologues ont établi une échelle des temps géologiques qui découpe les 4,6 milliards d'années de l'histoire de la Terre en quatre ères géologiques de durée très variable :

- l'ère précambrienne, représente les 7/8 de l'histoire de la Terre, depuis la naissance de la Terre jusqu'à -540 Ma ;
- l'ère paléozoïque (ou primaire), de -540 à -240 Ma ;
- l'ère mésozoïque (ou secondaire), de -240 à -65 Ma ;
- l'ère cénozoïque (regroupant tertiaire et quaternaire), de -65 Ma à aujourd'hui.

AGES	ERES	PERIODES	EPOQUES
65Ma	CENOZOÏQUE	QUATERNAIRE	Holocène Pléistocène
		TERTIAIRE	Pliocène Miocène Oligocène Eocène Paléocène
240Ma	MESOZOÏQUE	CRETACE	
		JURASSIQUE	
		TRIAS	
540Ma	PALEOZOÏQUE	PERMIEN	
		CARBONIFERE	
		DEVONIEN	
		SILURIEN	
		ORDOVICIEN	
4,6Ga	PRECAMBRIEN	CAMBRIEN	
		PROTEROZOÏQUE	
		2,5Ga	ARCHEEN
		4Ga	HADEEN

Fig.10 Echelle stratigraphique

Les limites de ces ères coïncident avec des événements majeurs qui ont marqué l'histoire de la vie sur Terre. Le Paléozoïque commence avec l'apparition de la première coquille et se termine par un très important événement biologique qui fit disparaître 90% des espèces. La fin du Mésozoïque, vers -65 Ma, se marque également par une crise biologique qui provoqua l'extinction des Dinosaures et des reptiles volants sur les continents, celle des reptiles marins et de nombreux invertébrés, comme les Ammonites et les Bélemnites, dans les mers.

Sur le site de Fresville : par la présence du fossile stratigraphique *Gryphaea arcuata*, les alternances marno-calcaires de Fresville appartiennent à l'étage SINEMURIEN du système JURASSIQUE de l'ère MESOZOÏQUE.

9. Pour en savoir plus ! : les ères géologiques



I.5 Comment se forment les océans et les chaînes de montagnes ?

Naissance d'un océan :

Lorsquedelachaleur,venantdumanteau,monteets'accumulesousun continent,lalithosphèrecontinentalesubitunétirementets'amincitauniveau d'unfosséd'effondrement,appelérift(dunomdelavalléedu Rift,auKenya). Sil'étirementsepoursuit,laplaquecontinentalepeutserompre.Cetterupture provoqueneremontéedumanteausthénosphériquequientrelocalementenfusion. Unmagnabasaltiquesemetalorsenplacepourformerdelacroûteocéanique.Une aireocéaniqueestnée,séparantdeuxplaqueslithosphériquesquis'écartentl'une de l'autreets'accroissentàpartird'une«zoned'accrétion»,appeléedorsale.Cette aireocéaniquepeutresteraustaded'unocéanétroit(exemplede laMerrouge),ou bienatteindreplusieursmilliersdekmdelarge(océanatlantique).Auseindechaque plaque,lazonedetcontactentrelavieillecroûtecontinentaleetlanouvellecroûte océaniqueconstitueunemargedite«passive»oùs'accumulerontlessédimentsissus de l'érosion du continent.

Naissance des chaînes de montagnes :

CommelasurfacedelaTerren'augmentepas,lesmouvementsd'expansion océaniquedoiventêtrerecompenséspardesmouvementsdeconvergencequidétruiront lalithosphère.Ceszonesdedestructiondeplaquesselocalisentdansleszonesde subductionetdecollision,deuxlieuxoùnaissentleschaînesdemontagnes.

Ens'écartantdeladorsale,lalithosphèreocéaniquerefroidit;elledevientplus épaisseetplusdense.C'estauniveauidesmargesquese produitundécouplagedela croûteocéanique Lourde($d=2,9$)quis'enfoncesubductionsouslacroûtecontinentale pluslégère($d=2,5$).Lamargedevient«active»,soulignéepardestremblements deterreetdesvolcans.Eneffet,cetteconvergencecréedesfrictionsàl'originede séismesdontlesfoyersserépartissenttoutdulongdelaplaquequis'enfonce(plan deBénioff).Lemétamorphismedelaplaqueensubductionentraînelafusiondu manteausus-jacent.Cettefusionalimenteensusurfaceunvolcanismeandésitique très explosifetdévastateur.Lacompressionaffectelesrochesetprovoquedesplis etdes faillesquiconduisentàl'érectiond'unechaînedemontagnes(orogène),dite«chaîne desubduction»(exemplesdelacordillèredesAndesoudesRocheuses).

Danscertainscas,lalithosphèreocéaniquepeutdisparaîtreentièrementpar subduction.L'océanoriginelsefermeetleslithosphèrescontinentales's'affrontent. Ellessecassentenplusieursmorceauxquisechevauchentlesunslesautres.II secréaalorsune«chaînedecollision»intracontinentale(exemplesdesAlpesou del'Himalaya).Lesrochessubissentuneimportantecompressionquilesplisse etlesfracture.Certainesd'entreellesontentraînéesenprofondeur(jusqu'à 100 km)etsubissentdestransformationsparélévationdetempératureetdepression (métamorphisme).Ellespeuventfondrepartiellementpourdonnerdenouvelles roches magmatiques (granites).

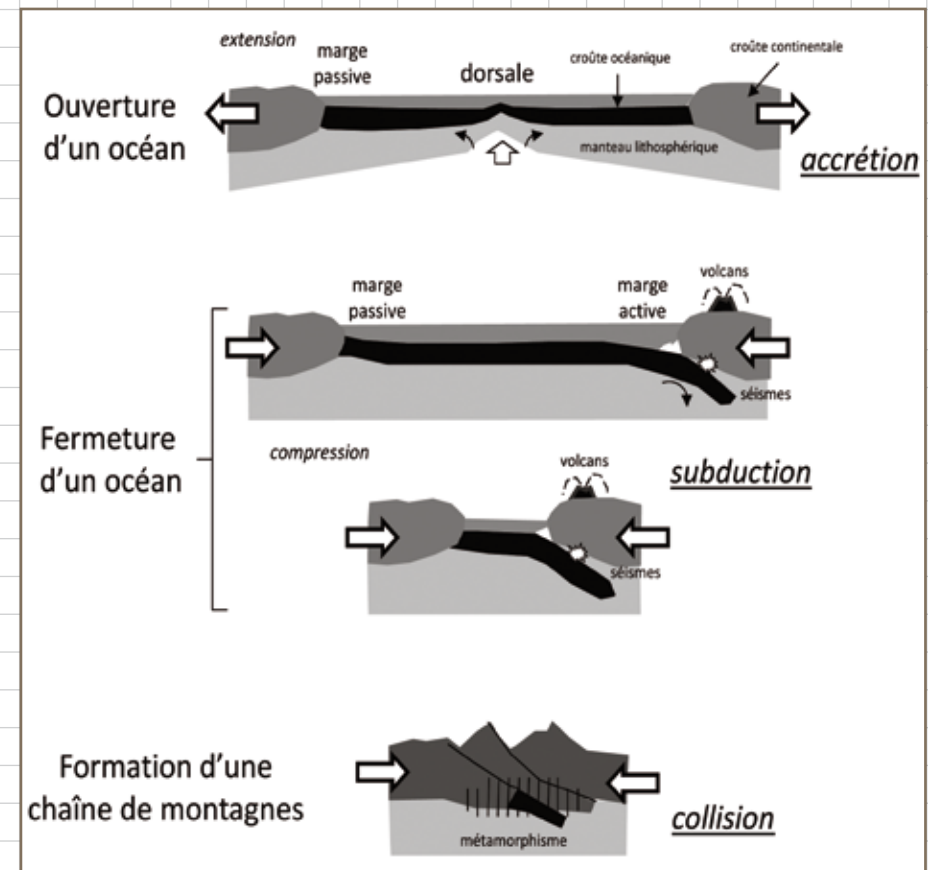


Fig.11 Naissance d'un océan et d'une chaîne de montagne

Ainsi, la tectonique des plaques modèle sans cesse la surface de la Terre, créant l'ouverture puis la fermeture d'aires océaniques, et l'érection de chaînes de montagnes sur les continents. La lithosphère océanique est perpétuellement recyclée dans l'asthénosphère, ce qui explique l'âge relativement récent des plus vieilles roches du plancher océanique qui n'excède pas 200 millions d'années (jurassique). A l'opposé, la lithosphère continentale reste en surface et garde la mémoire des différents événements géologiques qui ont affecté la Terre depuis 3 milliards d'années.

1.6 Des continents à la dérive !

Après les cartographies du XVII^e siècle, un météorologue et géophysicien allemand, Wegener, remarqua la complémentarité des côtes de l'Amérique du Sud et l'Afrique, de part et d'autre de l'Atlantique. Sur la base d'autres arguments géologiques et paléontologiques, il proposa (en 1912) sa théorie de la « dérive des continents » : tous les continents sont des fragments d'un bloc unique (la Pangée) qui dérivent en s'éloignant les uns des autres. Un cinquantaine d'années plus tard, les océanographes datèrent les fonds des océans et démontrèrent la réalité de l'expansion océanique. La théorie de la « tectonique des plaques » explique aujourd'hui la dynamique de la lithosphère qui se marque en surface par l'ouverture et la fermeture des océans. Cette dernière entraîne des subductions, puis des collisions continentales d'où naissent les chaînes de montagnes.

La présence de roches basiques d'origine océanique (ophiolites) au cœur des chaînes de montagnes intracontinentales permet de localiser les zones de suture des anciens océans. Grâce aux études paléo-magnétiques, les géologues peuvent reconstituer la position géographique et le trajet des anciens continents depuis plusieurs centaines de millions d'années (fig. 12). Ces reconstitutions montrent que, tous les 400 millions d'années environ, tous les continents de la planète sont rassemblés en un supercontinent (comme la « Rodinia » à la fin du Précambrien ou la « Pangée » à la fin du Paléozoïque). Dès le début de l'ère Secondaire, la Pangée a commencé à se fragmenter grâce à l'ouverture de l'océan Atlantique au nord, au Jurassique, puis de l'Atlantique sud et de l'océan indien, au Crétacé. Ces ouvertures seront compensées par la fermeture d'une aire océanique, la Téthys, qui entraînera, au Tertiaire, l'édification de la Chaîne alpine.

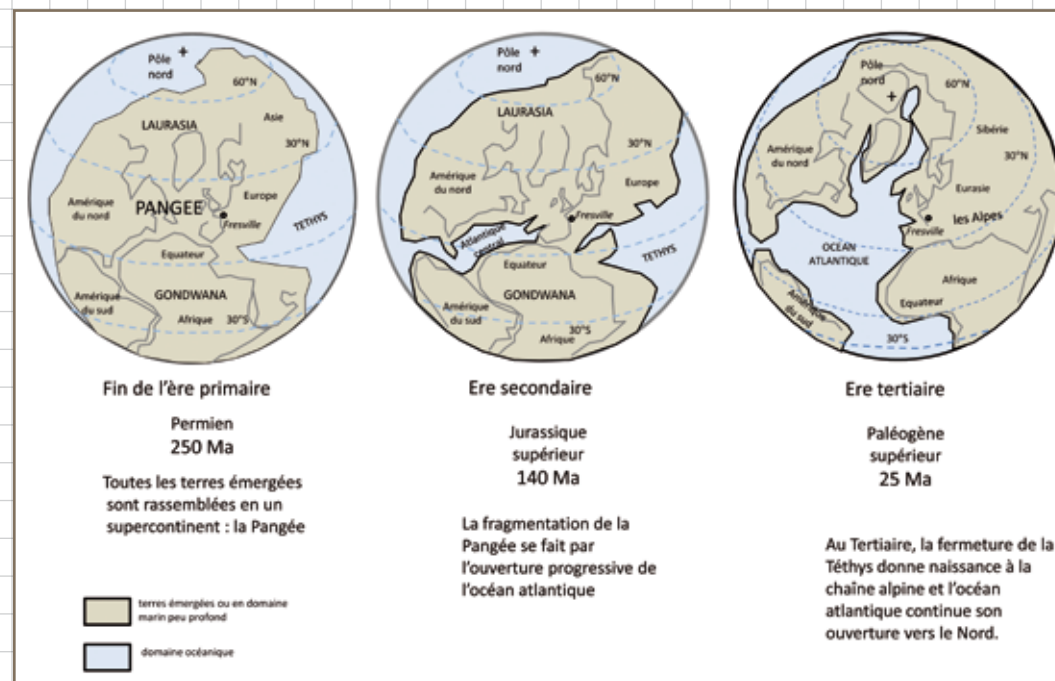


Fig.12 Reconstitution paléogéographique

1.7 La déformation des roches, objet de la tectonique

Le déplacement des plaques lithosphériques à la surface de la Terre provoque des forces, appelées contraintes tectoniques, qui déforment les roches selon deux grands types de structures : les failles et les plis.

Les failles sont des cassures de l'écorce terrestre qui décalent deux compartiments de part et d'autre d'un plan de rupture (fig. 13). Celui-ci est souvent appelé « miroir de faille » à cause du polissage des roches sous l'effet du frottement qui laisse également son empreinte sous la forme de stries de friction parallèles. Le sens de déplacement relatif des blocs est connu grâce aux « petites marches » de recristallisations qui se forment pendant le jeu de la faille. Le rejet de faille mesure le décalage des blocs, l'un par rapport à l'autre.

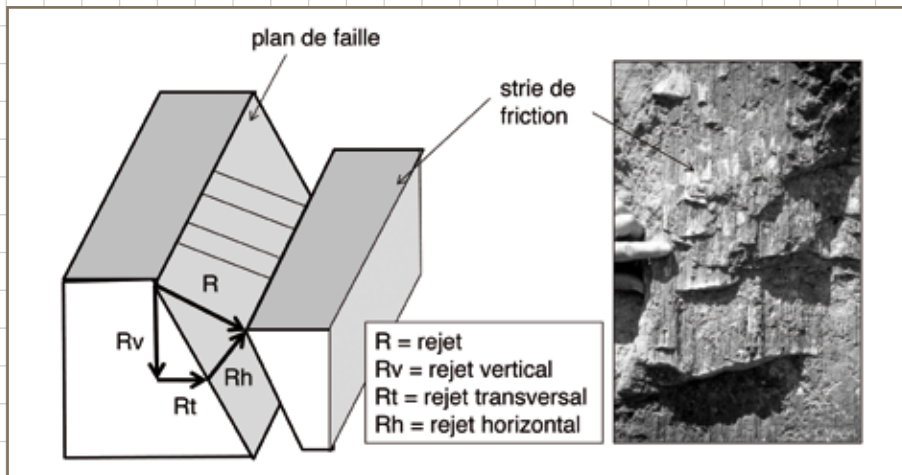


Fig.13 Schéma d'une faille normale

10. Pour en savoir plus ! : les types de failles

Les plis correspondent à des ondulations des couches de terrain qui subissent un raccourcissement horizontal. Chaque pli présente une zone de courbure maximale, appelée la charnière du pli, de part et d'autre de laquelle se développent les flancs (fig.14). Lorsque la charnière a une concavité tournée vers le bas (en forme de tunnel), le pli est appelé anticlinal; lorsque la concavité est tournée vers le haut (en forme de gouttière), il s'agit d'un synclinal. Le plan virtuel qui contient les charnières de toutes les couches est dénommé plan axial (PA) du pli.

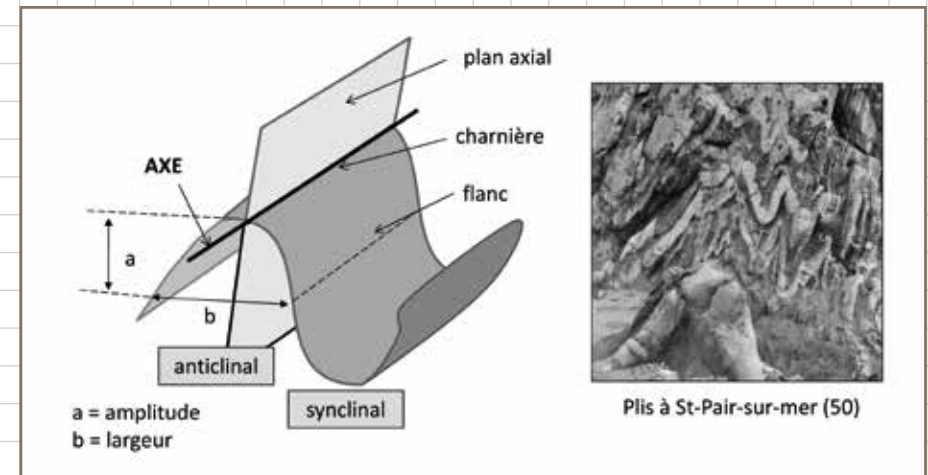


Fig.14 Schéma d'un pli

En Normandie: les terrains précambriens, impliqués dans l'histoire de deux chaînes de montagnes (cadomienne et varisque) sont intensément plissés (photo). Les terrains du Paléozoïque n'ont subi qu'une seule phase de plissement (chaîne varisque). Ils sont conservés dans le cœur de grands plis synclinaux plurikilométriques, déversés vers le Sud (synclinaux de Jobourg, de Siouville, de Montmartin-sur-Mer, de la Zone bocaine...).

Sur les sites de Fresville: les terrains du Mésozoïque normand, comme ceux du site de Fresville, ne sont pas plissés. Ils sont toutefois légèrement inclinés vers l'Est lors de la formation du Bassin de Paris. Les serrages nord-sud, qui ont provoqué l'érection des Pyrénées et des Alpes dans le Sud de la France, se marquent localement dans le Jurassique de Normandie par l'existence de failles inverses. À Fresville, une de ces failles décale les alternances marno-calcaires (fig.15).

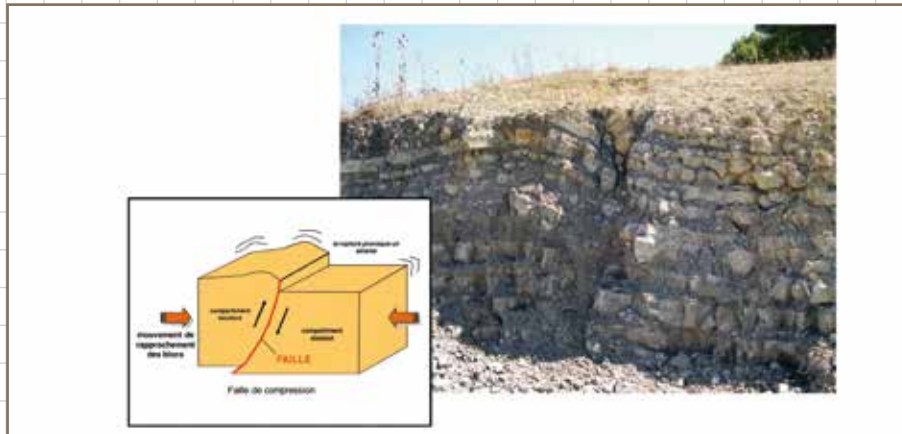


Fig.15 Une faille inverse à Fresville

I.8 L'histoire de la vie

Depuis 3,8 milliards d'années, les êtres vivants se succèdent à la surface de la Terre. Des espèces animales et végétales apparaissent, se diversifient en occupant toutes les niches écologiques disponibles, puis disparaissent et sont remplacées par d'autres espèces mieux adaptées aux évolutions des conditions de milieu.

Pour reconstituer l'histoire de ces êtres vivants qui peuplèrent la Terre, les géologues utilisent les données fournies par l'étude des fossiles, objet de la Paléontologie.

Qu'est-ce qu'un fossile ?

Les fossiles sont les restes d'animaux et de végétaux conservés dans les roches sédimentaires. Ils correspondent le plus souvent aux parties dures de ces organismes (coquilles, os, dents, bois, graines, ...) qui ont été rapidement enfouies dans les sédiments et se sont minéralisées lentement au cours de la fossilisation qui peut durer des milliers d'années (fig.16). Les parties molles ou non minéralisées peuvent être exceptionnellement conservées sous forme d'empreintes, ou grâce à des conditions particulières (Insectes englués dans la résine fossile, Mammouths congelés). Certaines traces laissées par leurs activités (pistes, terriers, ...) peuvent également être fossilisées.

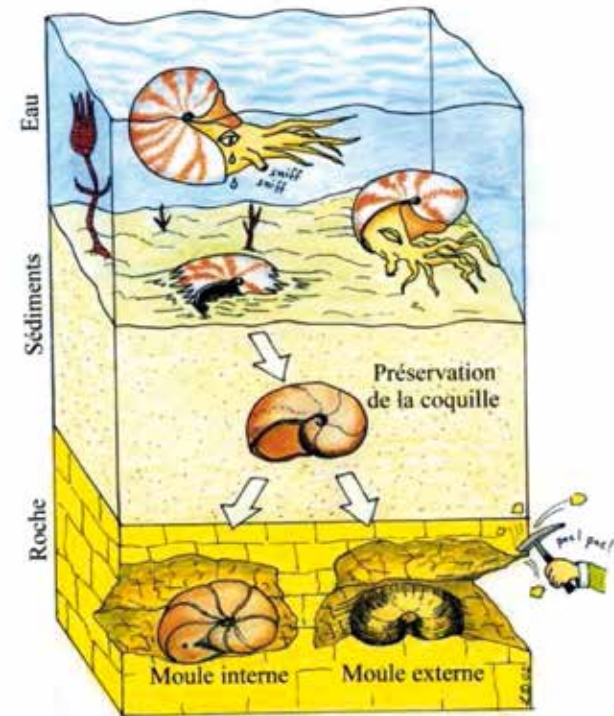


Fig.16 La fossilisation

Les débuts de la vie.

La vie est apparue sur Terre il y a 3,8 milliards d'années. C'est dans la « soupe primitive » que les molécules organiques (composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote) auraient progressivement évolué vers les molécules caractéristiques de la vie (acides aminés, sucres et bases azotées). Ces molécules terrestres, avec peut-être celles venues de l'espace par les comètes, ont donné naissance aux premières molécules porteuses d'information génétique (ADN), caractéristiques de la vie. Les premiers êtres vivants étaient des micro-organismes unicellulaires, vivant sans oxygène.

La vie au Précambrien.

Les premiers fossiles connus vivaient dans la mer archéenne, il y a 2500 millions d'années. Ce sont des Cyanobactéries (algues bleues) capables d'effectuer la photosynthèse et de provoquer la précipitation de calcaire à l'origine de constructions en lamelles, disposées en masses arrondies les stromatolites. Le grand développement de ces algues va, peu à peu, modifier la composition de l'atmosphère primitive en l'enrichissant progressivement en oxygène. Le début de la vie animale apparaît vers 600 millions d'années avec la faune à corps mou d'Ediacara (Méduses, Annélides, ...).



La vie au Paléozoïque.

AudébutduPaléozoïque, laviesecantonneaumilieu marin. Dans les mers chaudes et peu profondes, les Algues et les Invertébrés abondent. Ces derniers ont renforcé la défense de leur organisme en développant une partie minéralisée (coquille, carapace...). Cette bio-minéralisation va favoriser la conservation de nombreux fossiles de Coraux, de Brachiopodes, d'Arthropodes (Trilobites) et d'Echinodermes (Crinoïdes). Puis, apparaissent les premiers vertébrés sous la forme de Poissons cuirassés (-450 Ma). La conquête du milieu terrestre par le monde vivants est effectuée au Dévonien (vers -400 Ma) avec les premiers Végétaux terrestres et les Insectes. A cette époque, la teneur en ozone de l'atmosphère permettait d'arrêter les rayonnements ultra-violet si néfastes à la vie aérienne. Au Carbonifère, la faune et la flore s'installent définitivement sur les continents. Les forêts de Fougères arborescentes et de Prêles géantes se développent avec une faune nouvellement apparue d'Amphibiens (-350 Ma) et de Reptiles (-290 Ma). A la fin du Paléozoïque, au Permien, une crise biologique sans précédent causera l'extinction de 90% des espèces vivantes.

La vie au Mésozoïque (l'ère des Reptiles).

Audébut de l'ère secondaire, de nouvelles espèces apparaissent et se diversifient. Le climat global est particulièrement chaud, faisant disparaître les glaces polaires. La vie abonde dans les mers sous forme de Brachiopodes (Térébratules, Rhynchonelles), de Coraux, d'Oursins mais surtout de Céphalopodes (Ammonites, Bélemnites) et de Foraminifères à l'origine de la craie (Globigérines et Coccolithophoridés). Les reptiles marins (Ichtyosaures) prolifèrent. Les continents se peuplent de Reptiles terrestres (Dinosaures) ou volants (Ptérosaures), puis les premiers oiseaux font leur apparition (Archéoptéryx). Les Ginkgos et les Conifères se développent, tandis qu'au Crétacé apparaissent les premières Plantes à fleurs (Angiospermes).

La fin du Mésozoïque se marque également par une crise biologique majeure qui entraîne la disparition, en quelques dizaines de millions d'années, de nombreux invertébrés marins (Ammonites et Bélemnites) et mettra un terme à l'hégémonie des

grands Reptiles.

La vie au Cénozoïque (l'ère des Mammifères).

Dans les mers du Cénozoïque, se développent les Mollusques (surtout les Gastéropodes et les Bivalves) et les Poissons. Sur les continents, on assiste à l'épanouissement des Plantes à fleurs (en particulier des Graminées) et à la forte diversification des Mammifères. Apparue au début du secondaire, ce groupe d'animaux à température constante (homéothermes) était mieux adapté pour survivre à la crise climatique de la fin du Crétacé. Au Quaternaire, une nouvelle évolution du climat global conduira à l'installation de périodes froides (glaciations) qui feront varier le niveau des mers. C'est à cette époque que, sur le continent africain, les premiers Hommes naîtront de l'évolution d'un groupe de mammifères Primates.

I.9 L'histoire géologique de la Basse-Normandie

La Basse-Normandie se situe à la frontière de deux grandes entités géologiques de la France : le Massif armoricain à l'Ouest, pays de collines et de bocage au relief accidenté, et le Bassin de Paris à l'Est, au paysage de plaines et de plateaux. Le sous-sol du Massif armoricain est constitué de terrains anciens (précambriens et paléozoïques) d'architecture plissée ; celui du Bassin de Paris comporte des terrains plus jeunes (mésozoïques et cénozoïques) de structure monoclinale ou tabulaire. Les 500 km de côtes permettent l'observation d'affleurements de bonne qualité (falaises des Vaches noires, du Bessin, de la Hague, des caps de Flamanville, Carteret, Granville, ...).

L'histoire géologique de la Basse-Normandie se déroule sur une durée de 2 milliards d'années, avec surrection et érosions successives de trois chaînes de montagnes : deux d'entre elles (chaînes cartennaise et cado-mienne) se sont formées pendant l'ère précambrienne, la dernière (chaîne varisque) à la fin de l'ère primaire. Les terrains sub-horizontaux du secondaire, tertiaire et quaternaire tirent leur origine des variations du niveau des mers (eustatisme) et des mouvements verticaux

de la surface continentale (épirogenèse).

L'histoire précambrienne (l'cartien et Briovérien)

En Normandie, les témoins les plus anciens de l'ère précambrienne appartiennent au cycle cartien et sont représentés par des roches métamorphiques (gneiss et migmatites) visibles dans la Hague et les îles anglo-normandes (pointe d'Icart à Guernesey). Des orthogneiss granitiques ont été datés à 2083 millions d'années (méthode U/Pb sur zircon), ce qui rapporte les terrains cartiens au Protérozoïque inférieur. Un épisode métamorphique majeur affecte ultérieurement ces terrains vers 600 millions d'années.

L'histoire géologique du Briovérien (de Briovera, ancien nom celtique de St-Lô) se déroule entre 650 et 540 millions d'années et appartient au Précambrien terminal. À cette époque, la plaque tectonique armoricaine se situait dans la zone tropicale de l'hémisphère sud, en frontière nord du grand continent Proto-Gondwana. La fermeture d'un océan en subduction provoqua la mise en place d'un arc insulaire volcanique et d'un bassin arrière-arc.

L'histoire du Briovérien se scinde en deux grands cycles séparés par la mise en place d'une cordillère (arc constantien) :

- le Briovérien inférieur débute par l'épanchement de paléovolcanites de type arc insulaire (Monsurvent) ou de lavessous-marines (la Terrette). Ceux-ci sont recouverts par des sédiments fins (schistes de St-Lô, de Saint-Pair) qui renferment les plus anciennes formes de vie (algues bleues). Un plutonisme dioritique (diorite de Coutances) daté à 584 millions d'années se met en place pendant une première phase de déformation..
- le Briovérien supérieur est constitué d'une épaisse série de schistes, grès et conglomérats (flysch de la Laize).

Vers 540 millions d'années, une phase de serrage provoque la surrection de la chaîne cadomienne (de Cadomus = Caen). Des plissements et des granites se mettent en place (massifs de Vire, Avranches, Athys, Chausey, la Hague...). Cette phase de plissement est responsable de la discordance angulaire majeure (discordance cadomienne) visible entre les terrains précambriens et ceux plus récents qui les recouvrent (Jacob-Mesnil).

L'histoire paléozoïque (540-245 millions d'années)

Sur la vieille chaîne cadomienne érodée, des sédiments sont déposés, en milieu continental puis marin, plusieurs milliers de mètres (3500 à 5000 m) de séries sédimentaires schisteuses, carbonatées et surtout gréseuses avec leur cortège de fossiles (stromatolithes, coraux, trilobites, brachiopodes, graptolites, ...).

Au Cambrien (540-495 millions d'années), la plaque armoricaine se situe au sud de la zone tropicale de l'hémisphère sud. Des conglomérats fluviaux (Clécy) précèdent le retour de la mer dans laquelle se déposent des schistes et des calcaires (Carteret, le Rozel, Laize-la-Ville, ...). Ceux-ci renferment des récifs algaires (stromatolithes), la première faune à squelettes (spongiaires, trilobites) et de nombreuses traces fossiles.

À l'Ordovicien (495-425 millions d'années), un grand océan (océan Rhéic) s'ouvre au nord de la plaque armoricaine qui a atteint les 60° de latitude sud. Des grès quartziques blancs (Grès armoricain) se déposent sous l'action des tempêtes (Falaise, Mortain, Cherbourg, ...), suivis des schistes à trilobites (Schistes à Neseuretus) renfermant un minerai de fer (May/Orne, Soumont, Potigny, ...), puis des grès quartzeux (Grès de May). La série ordovicienne s'achève par un épisode glacio-marin (Tillite de Feuguerolles) qui atteste de la position très proche du pôle sud de l'époque.

Le Silurien (425-400 millions d'années) est constitué de schistes noirs et d'ampélites renfermant des graptolites (Feuguerolles/Orne).

Au Dévonien (400-360 millions d'années), la plaque armoricaine s'élève largement et s'élève dans la zone tropicale de l'hémisphère sud, comme en témoignent les calcaires récifaux (Baubigny) qui s'intercalent dans des schistes et grès.

Au Carbonifère (360-290 millions d'années), la plaque armoricaine est dans la zone équatoriale et bénéficie d'un climat chaud et humide propice au développement des forêts houillères. Au carbonifère inférieur, des grès et des calcaires (Montmartin/Mer) se déposent puis, vers 340-300 millions d'années, à la suite d'une collision continentale entre l'Armorica et la Baltica, tous les terrains seront plissés et faillés lors de l'érection d'une nouvelle chaîne de montagnes : la chaîne varisque. La surrection de cette chaîne s'accompagne d'une activité magmatique représentée notamment par l'injection de granites (Flamanville, Barfleur et Alençon). Au carbonifère supérieur, de petits bassins houillers se formeront (Le Molay-Littry) dans lesquels s'accumuleront les débris végétaux à l'origine des charbons.

Le Permien (290-245 millions d'années) correspond à une période d'émersion continentale caractérisée par le dépôt d'argiles sableuses rouges marquant le début de l'arasement de la chaîne varisque.



L'histoire mésozoïque (245-65 millions d'années)

À la fin du Paléozoïque, tous les continents étaient rassemblés en un super-continent appelé la Pangée. C'est la fragmentation de cette Pangée, avec ouverture d'aires océaniques (Atlantique, Téthys), qui va orienter l'évolution géodynamique du mésozoïque. Le domaine armoricain se situe à présent dans l'hémisphère nord, dans la zone tropicale durant l'ère secondaire (ère des reptiles), puis vers les moyennes latitudes jusqu'à la position qu'il occupe aujourd'hui.

Pendant le Trias (245-200 millions d'années), des conglomérats, des sables et des argiles rouges (Noron-la-Poterie, Airel, Carentan, la Pernelle), d'origine fluviale, marquent la fin d'une longue période d'évolution continentale sous climat aride qui conduisit à l'érosion de la chaîne varisque.

À début du Jurassique (200-130 millions d'années), les bordures du Massif armoricain (aire continentale émergée où vivaient les dinosaures) sont progressivement envahies par la mer qui abandonne des sédiments carbonatés et argilo-calcaires (Lias à Gryphées de Fresville). Puis, au Jurassique moyen, un mer peu profonde et chaude permet l'installation d'une plate-forme carbonatée où se déposent, entre autres, les calcaires oolithiques du Bajocien (Ste-Honorine) riches en fossiles d'invertébrés marins (Ammonites, Nautilus, Brachiopodes, ...). Au Jurassique supérieur, l'approfondissement du milieu se marque par le dépôt de vases plus ou moins calcaires à l'origine des marnes oxfordiennes des Vaches Noires (Villers-sur-Mer) célèbres pour leur contenu paléontologique (ammonites, oursins, bivalves, ...). À la fin du Jurassique, la mer se retire du domaine normand.

Le Crétacé (130-65 millions d'années) commence par une longue période d'émersion et d'altération continentale. Au Crétacé supérieur, la mer revient en transgression. C'est au fond de cette mer que se sont accumulés les restes de coquilles carbonatées microscopiques (globigérines, coccolites) à l'origine de la craie à silex qui constitue aujourd'hui le substrat géologique du Pays d'Auge et de la Haute Normandie.

L'histoire tertiaire (65-2,8 millions d'années)

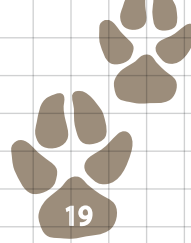
En Basse-Normandie, il reste peu de témoignages de transgressions marines qui ont rempli des petits bassins où se sont déposés des calcaires, des faluns et des sables (Bayeux). Cette période correspond principalement à une phase d'érosion et d'altération continentale, sous climat tropical, à l'origine des argiles à silex.

L'histoire quaternaire (de 2,8 millions d'années à aujourd'hui)

Il y a 2,8 millions d'années, un refroidissement climatique global provoque le stockage de glaces sur les continents et une baisse du niveau marin (glacio-eustatisme). Le Pléistocène, première époque du Quaternaire, se caractérise dans le nord de la France par un environnement périglaciaire, fait d'alternances de périodes froides (stades glaciaires) et de périodes plus tempérées (stades interglaciaires) pendant lesquelles se déposent respectivement des limons éoliens (loess) et des coulées boueuses à blocs (heads). La variation du niveau de la mer, couplée au relèvement lent des plateaux, a provoqué un étagement de terrasses alluviales et des plages fossiles (ans du Brick). En Normandie, le dernier stade glaciaire (le Weichsélien) entraîne une régression marine de 120 m qui assèche la mer de la Manche. Il y a 10 000 ans, la remontée des eaux marque le début de l'Holocène, un stade interglaciaire qui se prolonge jusqu'à aujourd'hui.



Lieux de références géologiques en Basse-Normandie



II Le site de Fresville

II.1 Présentation

À l'lieu-dit «le Goulet», sur la commune de Fresville, une ancienne carrière des «Ciments français», abandonnée en 1986, laisse aujourd'hui une excavation partiellement inondée de plus de 20 hectares. En 1999, un projet de sauvegarde du site fut proposé. Il aboutit, en 2007, à la création du «géosite de Fresville», lieu de découverte et de mise en valeur du patrimoine géologique et environnemental du Cotentin. Un sentier d'interprétation en fait le tour avec plusieurs panneaux explicatifs (5 panneaux sur la géologie, 1 panneau sur la flore et 1 panneau sur l'avifaune). Deux bâtiments ont été construits : une salle d'exposition pour le Club de Géologie du Cotentin «Fresville-Fossiles», et une salle d'accueil pour les scolaires. Les observations géologiques réalisables sur ce site permettent d'illustrer les principaux thèmes à traiter du programme de la classe de 5^{ème} du cycle central.

À la fois proche de terrains anciens (précambriens et primaires) du Massif armoricain et de terrains du Secondaire du Bassin Parisien, le géosite de Fresville présente une situation privilégiée pour reconstituer une partie de l'histoire géologique de la Basse-Normandie (voir panneau «Contexte géologique du site»). Il permet d'observer des terrains de l'ère secondaire, appartenant pour l'essentiel au Jurassique inférieur (formation des Marnes et calcaires à Gryphées).

II.2 Observations géologiques

Les roches du géosite de Fresville sont constituées par des alternances décimétriques de marnes (bancs gris sombre) et de calcaires argileux (bancs gris clair) remarquablement stratifiées (fig. A). Coupe stratigraphique du Lias inférieur de Fresville

Il s'agit donc de roches sédimentaires qui tirent leur origine des sédiments meubles (vases et boues carbonatées) déposés sur le fond de la mer. Chaque doublet, constitué à la base par un banc argileux sombre recouvert d'un banc calcaire clair, correspond à une séquence élémentaire de dépôt qui dure au minimum 10 000 ans. La répétition verticale de ces séquences sur plus de 20 m de hauteur est due à plusieurs phénomènes cycliques qui contrôlaient les apports sédimentaires dans le bassin (variations du niveau marin, climat, tectonique...).

La présence de nombreux fossiles de mollusques marins (huîtres et ammonites) confirme l'origine marine de ces dépôts (voir le panneau «La vie dans la mer jurassique») et leur appartenance aux terrains de l'ère Secondaire (Mésozoïque). L'existence de fossiles stratigraphiques, comme *Liogryphaea arcuata*, permet de les dater plus précisément du Sinémurien, un étage du Jurassique inférieur (Lias), compris entre -196 et -189 Ma.





Dans la partie sud-est du gisement, une ancienne surface d'érosion tronquée au sommet des alternances marno-calcaires. Elle est recouverte par de 2 m d'argile gris-rosé, à concrétion de calcite, d'origine continentale. Ils agitent un paléosol, révélateur d'une phase d'émersion régionale qui dure de la fin du Jurassique jusqu'à la fin du Crétacé inférieur (fig. B). Coupe stratigraphique du Crétacé de Fresville

Dessables ferrugineux et glauconieux (1, 10 m), reposent sur le paléosol. Dans ces sables verts, la présence de bivalves marins (Exogyres) et de foraminifères (Orbitolines), caractéristiques du Cénomani, témoigne d'un retour de la mer dans la région au Crétacé supérieur, il y a 95 millions d'années (voir panneau « Crétacé »).

L'examen de l'ancien front de faille Est permet de visualiser la faible inclinaison des couches (pendage de 3 à 5 degrés) vers le SE. Ce basculement est dû à un plissement à grand rayon de courbure qui a déformé les couches sédimentaires du Bassin de Paris à la fin du Secondaire. Les alternances marno-calcaires sont également affectées par des failles en distension (failles normales) et en compression (failles inverses et décrochements) qui décalent et arquent les bancs. Une de ces grandes cassures compressives est visible derrière le bâtiment d'accueil (voir panneau « Les déformations tectoniques dans le Cotentin ») : les strates du compartiment Est de la faille sont soulevées de 2 mètres environ, en s'employant (crochons de faille). C'est la rupture brutale des roches à un niveau des plans de faille qui provoque les tremblements de Terre.

**Le site
de Fresville**

II.3 Reconstitution des événements géologiques

À la fin de l'ère Primaire, il y a 300 millions d'années, le site de Fresville est émergé à la suite de l'érection de la Chaîne varisque (ou hercynienne) qui affecte tout l'Europe moyenne. Une intense érosion de cette chaîne commence au Permien et se poursuit au début de l'ère secondaire (Trias). Des fleuves torrentiels apportent alors des sables et des galets, puis des argiles, qui se déposent sous un climat tropical chaud et aride (voir panneau « Evolution des paysages de Normandie »).

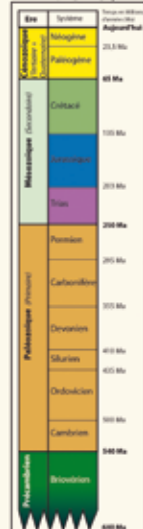
À début du Jurassique, dans un contexte d'une montée globale du niveau marin, la mer va progressivement s'engouffrer dans le golfe du Cotentin pour y déposer des calcaires (Calcaires de Valognes) et des marnes (Marnes et calcaires à Gryphées de Fresville). La vie sous-marine explose dans cette mer chaude et peu profonde : les céphalopodes (Ammonites et Bélemnites) pullulent, les huîtres (Gryphées) et autres bivalves colonisent les fonds vaseux, les reptiles marins (Ichtyosaures) se nourrissent de poissons et de céphalopodes (voir panneau « La vie dans la mer jurassique »).

À la fin du Jurassique et pendant tout le Crétacé inférieur, la région est à nouveau émergée et des paléosols argileux seront localement conservés. La mer reviendra en Cotentin au Crétacé supérieur pour y laisser des sables riches en glauconie (Cénomani) et des calcaires à ammonites déroulées (Maëstrichtien). À la fin du Secondaire, les terrains du site de Fresville subissent une faible déformation compressive qui provoque l'inclinaison des couches vers l'Est et des fractures. Ces déformations sont dues au contre-coup de la collision des plaques continentales à l'origine des chaînes de montagnes du sud de la France (Pyrénées et Alpes).

Enfin, une longue période d'émersion sous climat chaud va durer pendant pratiquement tout le Tertiaire avant le retour sporadique de la mer (faluns et sables) et le refroidissement climatique du Quaternaire.

III.1 Le contexte géologique régional

Les temps géologiques

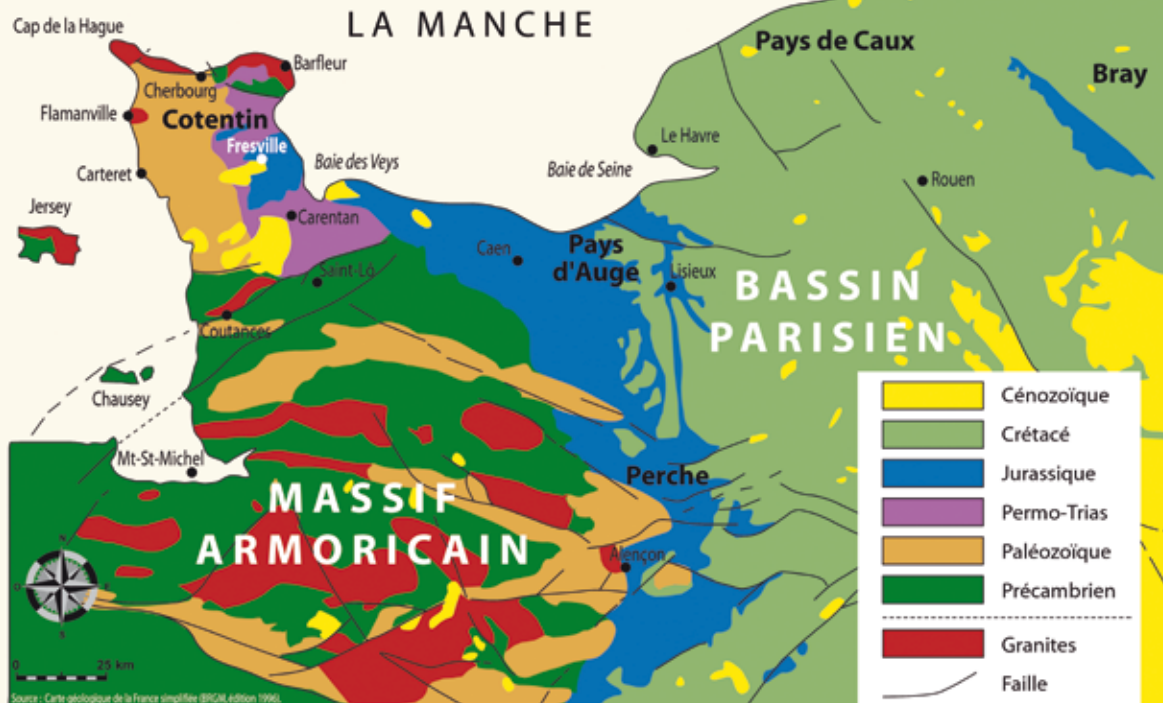


Contexte géologique du site

La Normandie se situe à la frontière de deux grandes entités géologiques de la France :
Le **Massif armoricain** à l'Ouest, pays de collines et de bocages au relief accidenté
et le **Bassin parisien** à l'Est, au paysage de plaines et plateaux.

Le sous-sol du Massif armoricain est constitué de terrains anciens, *précambriens* et *paléozoïques*, d'architecture plissée (terrains plusieurs fois déformés).
Celui du Bassin parisien comporte des terrains plus jeunes, *cénozoïques* et *mésozoïques* (*crétacé*, *jurassique*, *trias*) de structure monoclinale (une seule inclinaison des couches de terrain).
La limite entre les deux entités géologiques est une limite d'érosion.

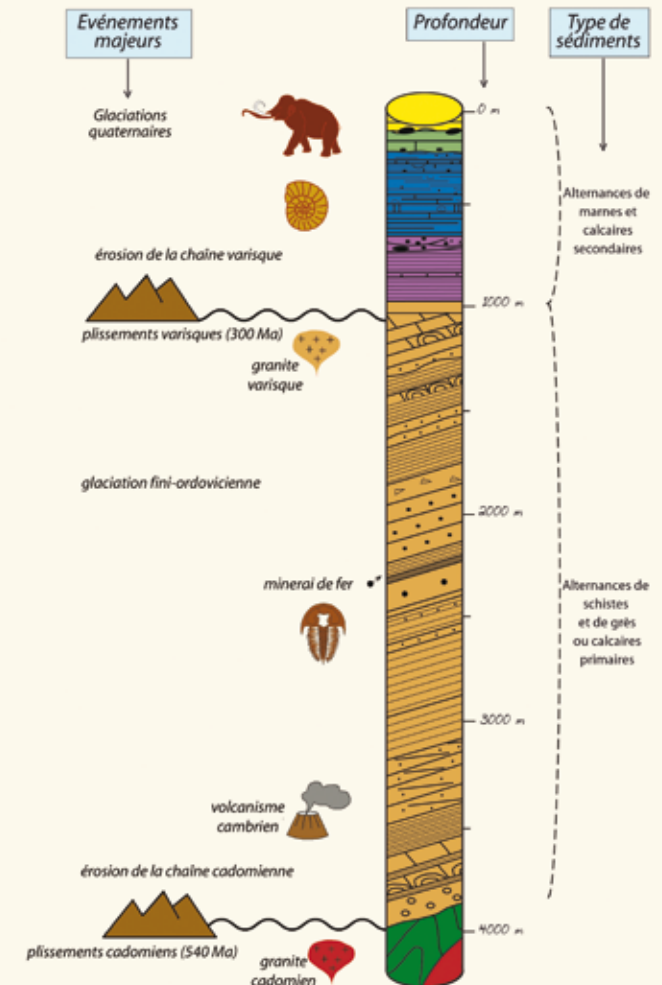
A la fois proche du Massif armoricain et du Bassin Parisien le site géologique de **Fresville** présente une situation privilégiée



La profondeur du sous-sol

Si un forage profond était réalisé au droit du Cotentin, une carotte longue de 4000 m serait sortie du sous-sol.

Avec plus de 3000 m d'alternances de schistes et de grès ou de calcaires primaires, et moins de 1000 m de marnes et de calcaires secondaires, une telle série a enregistré plusieurs événements : tectoniques, climatiques, biologiques et variations du niveau marin.



III.2 Les roches sédimentaires

Roches sédimentaires : comment les reconnaître ?

Les roches sédimentaires sont formées de débris d'autres roches qui sont accumulées pendant des millions d'années. Ces débris le plus souvent se superposent en couches (=strates). Celles-ci sont visibles dans les roches sédimentaires.

Parmi les photos suivantes, lesquelles correspondent à des roches sédimentaires ?

n°

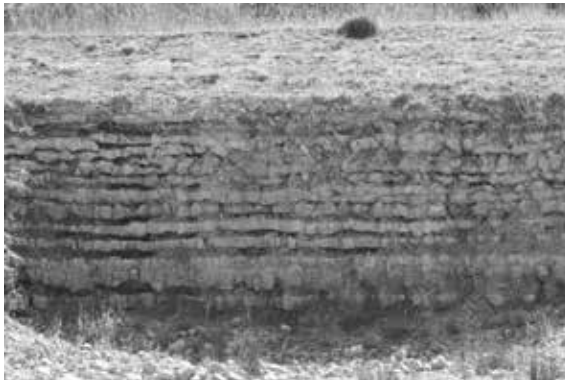


Photo 1



Photo 2



Photo 3



Photo 4



Photo 5



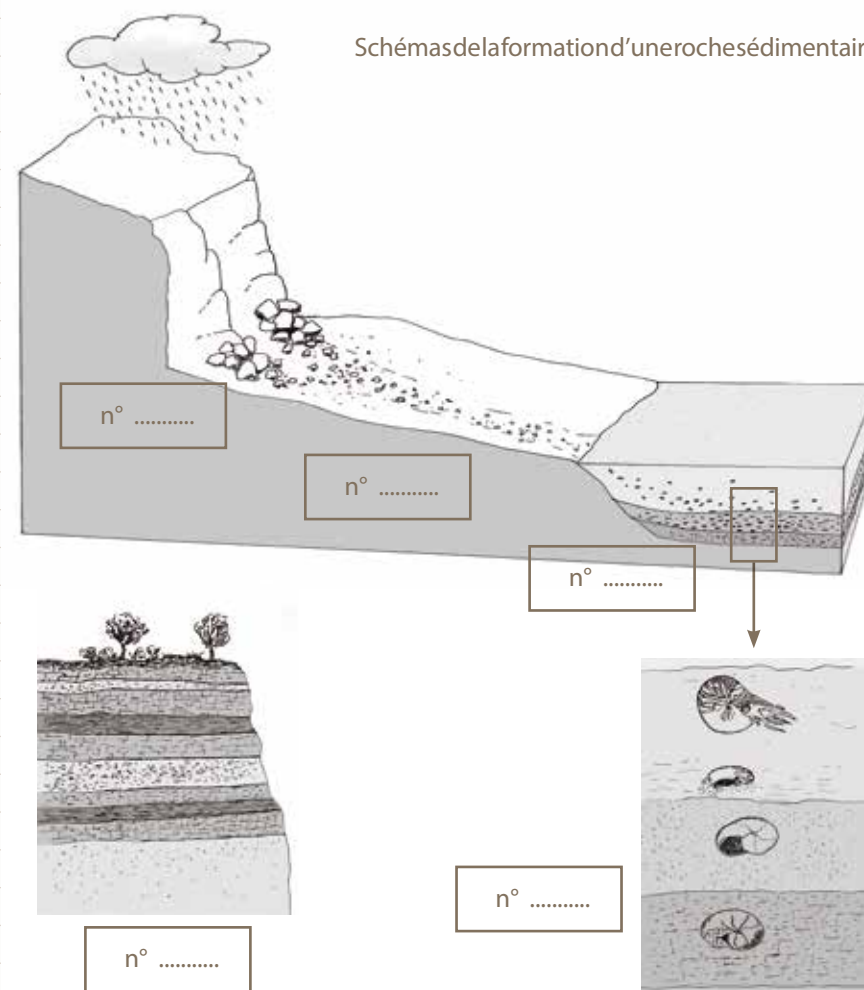
Photo 6

Formation d'une roche sédimentaire

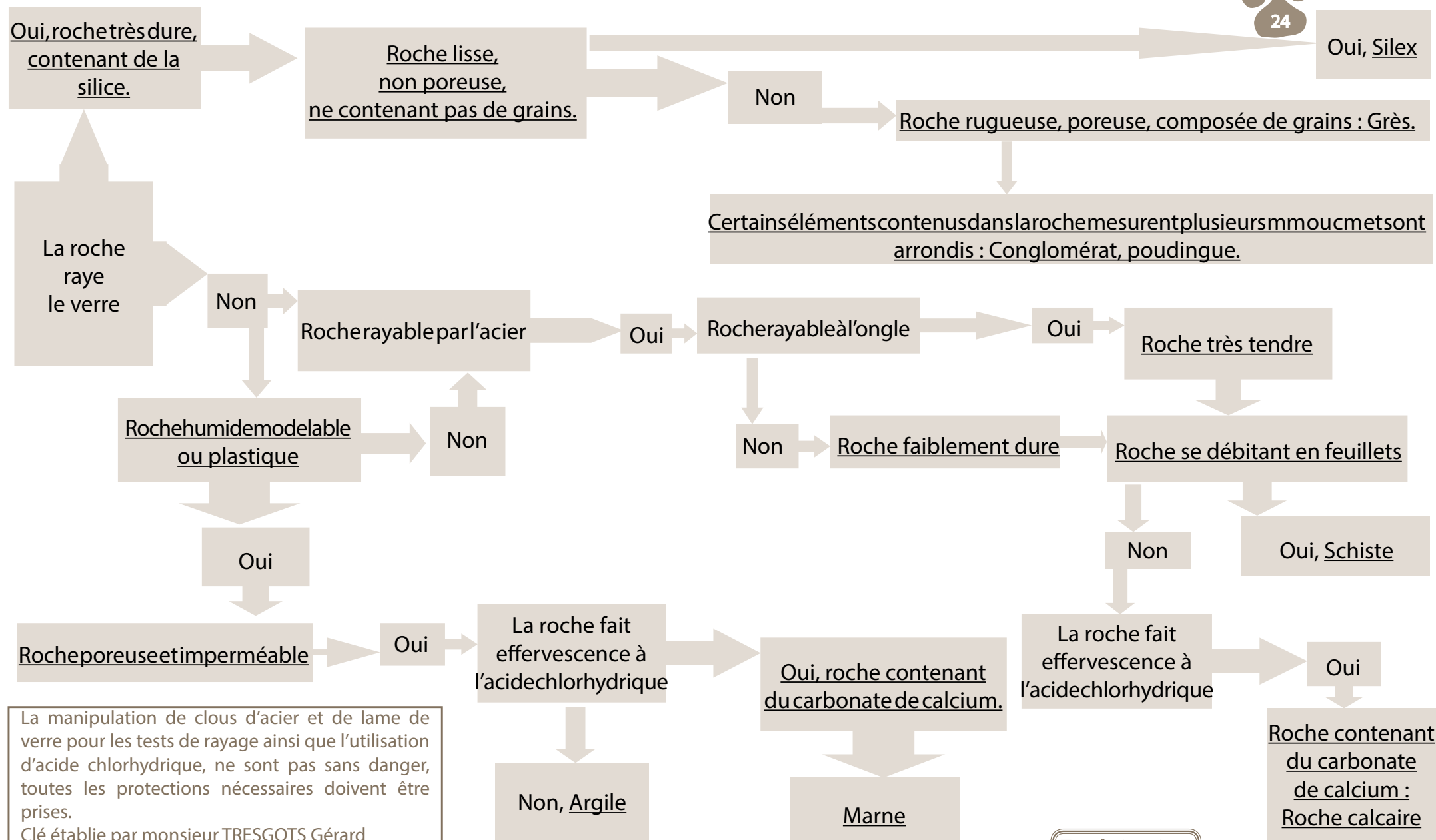
Voici les étapes de la formation d'une roche sédimentaire.

1. Sous l'action de l'eau, du gel, du vent, la roche s'abîme/s'use elle libère des fragments de roche, petits ou gros : c'est l'érosion
2. Les fragments de roche sont transportés par l'eau des rivières et des fleuves : les plus gros sont déposés rapidement tandis que les plus fins peuvent être transportés jusqu'à la mer. Ces ondes qui troublent l'eau parfois quand il pleut. Le vent transporte aussi des fragments de roches. C'est le transport.
3. Les matériaux se déposent au fond de seaux calmes (mers/lacs) : ils s'accumulent en couches horizontales qui se superposent : c'est la sédimentation. Les couches des sédiments s'accumulent pendant des millions d'années et se transforment, se consolident. Une roche sédimentaire se forme. Par exemple, les sables se transforment en grès, roche consolidée.
4. Des restes d'animaux ou de végétaux sont parfois piégés durant la sédimentation. Ils deviennent des fossiles.
5. Quand le lac s'assèche ou quand la mer se retire, les roches sédimentaires forment le sous-sol des continents/des zones terrestres

Sur le schéma suivant, remplace les numéros et noms des étapes correspondantes :
1 érosion - 2 transport - 3 sédimentation - 4 fossilisation - 5 roche sédimentaire.



Clé de détermination de quelques roches sédimentaires (Numéro 1)

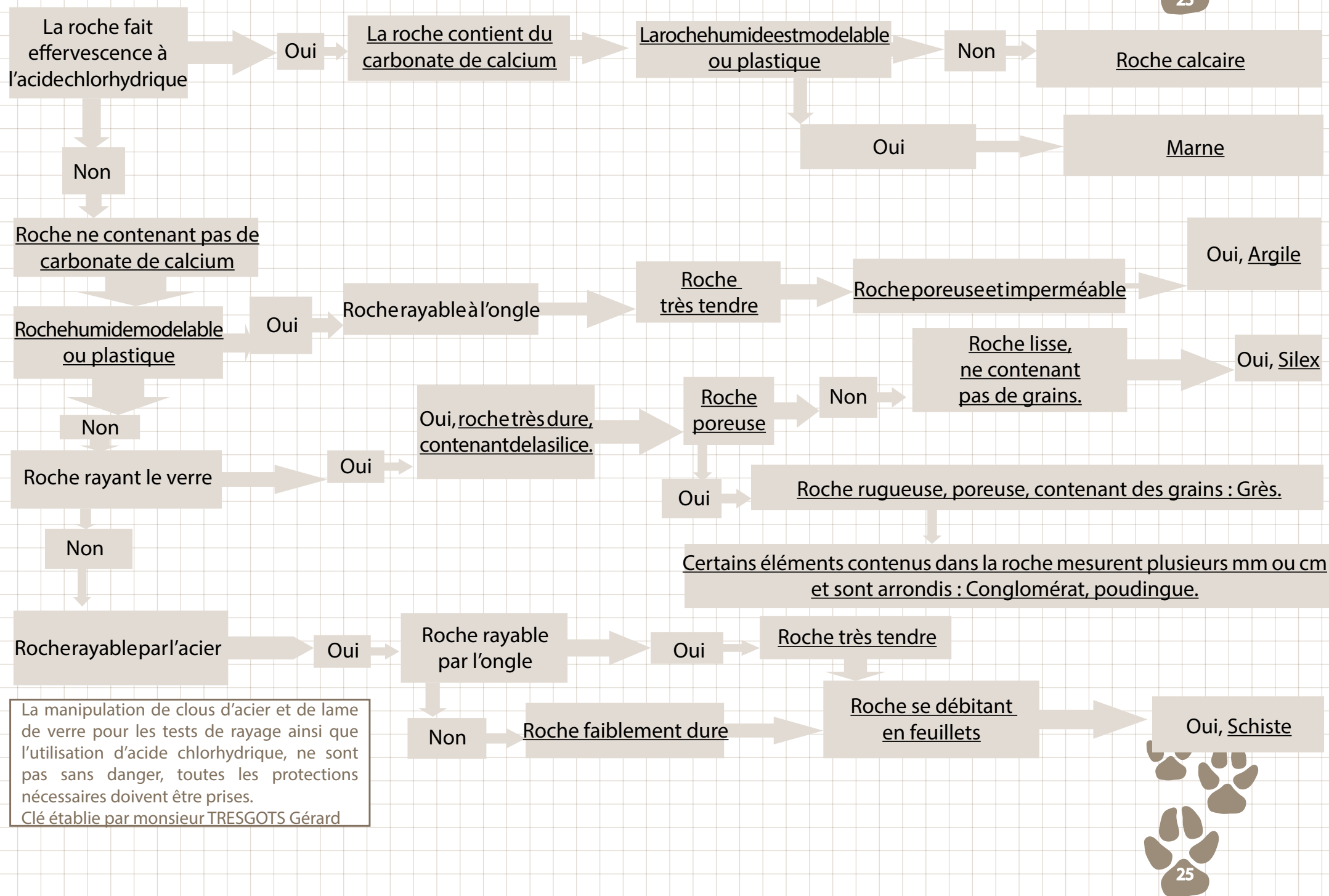


La manipulation de clous d'acier et de lame de verre pour les tests de rayage ainsi que l'utilisation d'acide chlorhydrique, ne sont pas sans danger, toutes les protections nécessaires doivent être prises.

Clé établie par monsieur TRESGOTS Gérard

Exploitation
pédagogique

Clé de détermination de quelques roches sédimentaires (Numéro 2)



III.3 Les fossiles

Relier les fossiles à leur description

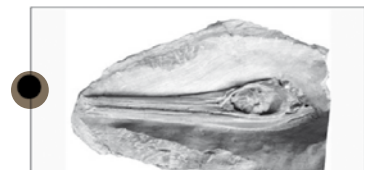
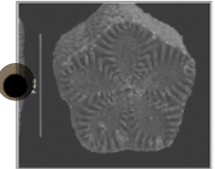
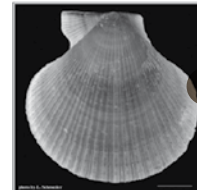
Je m'appelle Ammonite.
Mon nom vient du dieu Ammon,
car les cornes enroulées qu'il portait
rappellent la forme de ma coquille...

Je m'appelle Bélemnite.
Je ressemble à l'extrémité d'une lance,
de forme allongée et pointue.

Je m'appelle Gryphea.
Je suis facile à trouver à Fresville.
Je ressemble à une huitre qui essaie
de s'enrouler sur elle-même...

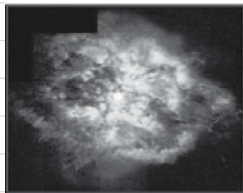
Je m'appelle Brachiopode.
J'ai l'apparence d'un petit coquillage
à deux coquilles. Quand on me regarde
de face, on dirait que j'ai de grandes
dents...

Je m'appelle Mactromya.
J'ai une coquille en deux parties.
Je suis d'une forme plutôt ovale et
assez rondouillarde. Je ressemble
à une palourde.



III.4 L'échelle du temps

Relie les images à la bonne période



Il y a 4.5 milliards d'années :
la naissance de la Terre.

Il y a 3.5 milliards d'années :
apparition des premières
bactéries.

Il y a 550 millions d'années :
apparition des premiers
coquillages et des crustacés.

Il y a 500 millions d'années :
apparition des premiers
poissons.

Il y a 400 millions d'années :
apparition des premiers
poissons hors de l'eau.

Il y a 380 millions d'années :
apparition des premières forêts.

Il y a 250 millions d'années :
apparition des premiers
dinosauriens et des mammifères.

Il y a 65 millions d'années :
disparition des dinosauriens.

Il y a 7 millions d'années :
apparition des premiers pré-
homininiens.

Il y a 400 000 ans :
les hommes maîtrisent le feu.

Il y a 250 000 ans :
apparition de l'homme de
Néanderthal.

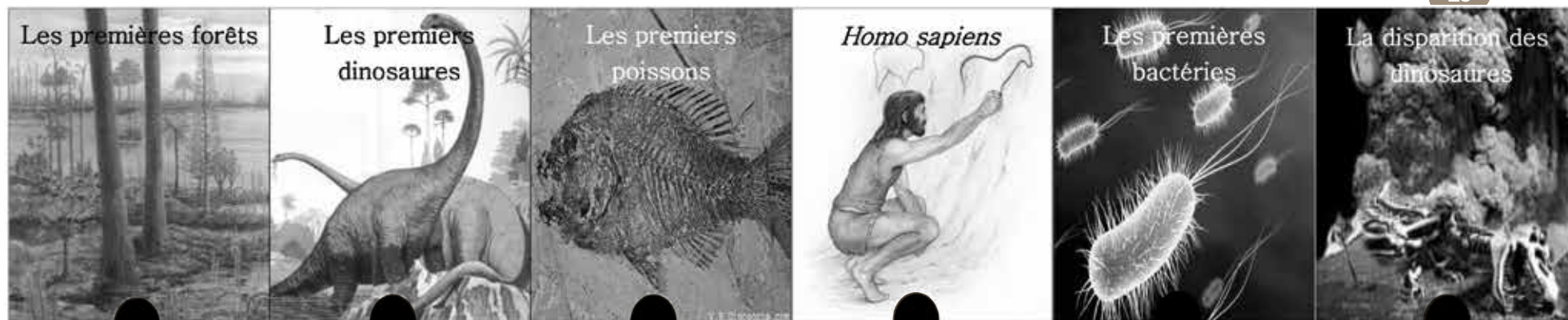
Il y a 200 000 ans :
apparition d'Homo sapiens.

Il y a 6000 ans :
les premières écritures.





Sur l'échelle du temps, replace ces grandes étapes de la vie sur Terre aux bonnes périodes.



Ilya 4,5 milliards d'année...
la naissance de la Terre.

Aujourd'hui



Ilya 3,5 milliards d'années...

Ilya 500 millions d'années...

Ilya 360 millions d'années...

Ilya 200 000 ans...

Ilya 65 millions d'années...

Ilya 250 millions d'années...



A quelle époque vivait Gryphea, l'huître de Fresville ?

III.5 L'utilisation des roches

Observer le minéral dans les villes et villages

L'importance des roches dans notre vie quotidienne ne peut aussi être découverte à travers l'observation des constructions. Le poids des matériaux a de tous temps limité leurs déplacements ; aussi, reflètent-ils le plus souvent la géologie locale excepté pour quelques constructions plus prestigieuses.

Le long d'un circuit, proposer de retrouver tous les éléments minéraux visibles dans le paysage, soit peut-être transformés (moellons des maisons, toits en schiste, en ardoise, murs en terre, bord de trottoirs en granite, statue...), soit issus d'un processus de fabrication (béton, briques, tuile, bitume...).

Recherche d'informations

Rechercher les utilisations principales des roches comme le calcaire, le granite, le grès, le schiste, le sable, l'argile, la marne...

Devinettes

Les roches sont très utiles aux hommes. Elles permettent de fabriquer de nombreux objets ou aménagements visibles dans les paysages de ville ou de campagne.

Retrouve les à partir de ces devinettes.

- 1 Je suis surtout fabriqué à partir de sable mais aussi avec un peu de calcaire (et de soude).
Pour me transformer en un matériau transparent, solide mais cassable, il faut cuire ce mélange de roches à 1300°C !
On m'utilise beaucoup comme emballage pour conserver et transporter des boissons.
On m'utilise aussi dans les bâtiments pour laisser passer la lumière.
Qui suis-je ?
- 2 Je suis construite avec une énorme quantité de graviers de différentes tailles appelés granulats.
Le plus souvent, ces granulats proviennent de roches comme le grès, le calcaire, le schiste que l'on casse en petits morceaux dans des machines spéciales à côté des carrières.
Sur ma surface, on rajoute aussi du goudron.
Je suis utilisé tous les jours pour le déplacement des gens.
Je dois régulièrement être refaite car je m'abîme.
Qui suis-je ?

- 3 Je suis fait avec de l'eau, du ciment, du sable et des graviers de différentes tailles appelés granulats.
Le plus souvent, ces granulats proviennent de roches comme le grès, le calcaire, le schiste que l'on casse en petits morceaux dans des machines spéciales à côté des carrières.
Au début de ce mélange, je suis un peu liquide puis je sèche et durcis en quelques heures ou plusieurs jours : on me met dans des sortes de moules (= coffrages) pour que je prenne la forme voulue.
Je sers à fabriquer des immeubles, des ponts, des maisons.
Je suis souvent gris, et très solide.
Qui suis-je ?
- 4 Je suis un mélange d'argile et de calcaire, ou bien de marne.
Je suis cuit en usine à 1450°C !
Je deviens une poudre mise dans des gros sachets.
Je sers aussi à fabriquer du béton
On me met entre les pierres pour les faire tenir ensemble.
Qui suis-je ?
- 5 Je suis utilisée dans la construction des maisons.
Je suis faite à partir d'argile surtout, que l'on cuit à 800°C
Je prends des formes un peu différentes selon les régions.
Je peux être orange, rouge, rose-orangé selon l'argile utilisée.
On peut me remplacer par des ardoises.
Qui suis-je ?
- 6 Je suis souvent faite en granite
Je suis taillée et souvent polie.
On peut graver un nom, une inscription sur moi
On ne me trouve que dans les cimetières
Qui suis-je ?
- 7 Je suis fait à partir d'une roche dure comme le granite ou le grès
Je suis taillé en forme de cube.
Je suis aujourd'hui utilisé dans des centres villes pour embellir les petites rues, des places.
Je remplace alors le bitume de la rue.
Qui suis-je ?

III.6 Les carrières

Des points de vue sur les carrières

Les carrières sont des sites industriels où se confrontent de façon marquante les trois piliers du développement durable : l'économie avec la création d'emplois et les réponses à des besoins de construction ; le social avec les problématiques de bien-être du voisinage, l'environnement avec des impacts sur la biodiversité locale et l'eau en particulier.

Les textes suivants présentent différents points de vue sur l'activité des carrières. Cet outil peut être utilisé en différents temps :

Après lecture de l'introduction puis des différents propos, demanderaux élèves d'en retrouver l'auteur.

Proposer un temps pour que les élèves échangent leur avis sur l'ouverture d'une carrière

Demanderaux élèves de retrouver pour chaque pilier du développement durable les propos qui s'y rapportent

Intro :

Il existe plus de 3000 carrières installées un peu partout en France. La majorité produisent des granulats c'est-à-dire des sables et des graviers. Souvent, ceux-ci sont produits à partir de roches compactes comme le calcaire, le grès, le schiste... Parfois, ils sont directement prélevés près des grandes rivières ou des fleuves. Dans d'autres carrières, on scie, on taille des roches comme le granite pour faire des bords de trottoirs, des pavés...

L'ouverture d'une carrière dans une commune pose souvent des problèmes pour le voisinage et l'environnement. A-t-on raison de les ouvrir ? Voici différents avis. A toi de retrouver leur auteur.

un carrier / un voisin / un voisin pêcheur / le maire / un militant écologiste / un chargé d'études naturaliste

1 Les carrières sont nécessaires à la vie des hommes. Ainsi, les granulats permettent de construire des routes, des bâtiments, des maisons. Par exemple, il en faut 100 à 300 tonnes pour construire une maison en parpaings ! Certaines roches entrent aussi dans la fabrication du verre, du papier, de la peinture...

2 Les poussières produites par la carrière peuvent être entraînées par la pluie dans les rivières : en se déposant dans le lit des rivières, elles polluent l'eau et abiment les frayères des poissons, ces endroits où ils pondent leurs œufs !

3 Pour obtenir des granulats à partir de calcaire ou de grès, je suis obligé d'utiliser des explosifs, de très gros camions pour le transport et des machines spéciales pour casser la roche en petits morceaux.

4 Avant d'ouvrir une carrière, je fais des études pour savoir s'il y a, sur le site prévu, des plantes ou des animaux rares et protégés qui y vivent. Si c'est le cas, la loi réglemente l'ouverture de la carrière.

5 Bien sûr, qu'une carrière refait du bruit ! Mais la loi nous oblige à limiter la gêne pour le voisinage et les ouvriers du site. Par exemple, on n'installe certaines de nos machines dans le fond de la carrière. On ne s'installe pas loin des habitations. Et contre les poussières, on prend des mesures pour éviter leur dispersion (arrosage...) et la pollution des eaux.

6 La carrière peut être un atout pour la commune : elle crée de l'emploi et apporte de l'argent à la commune grâce aux taxes. Cela nous aide à développer des services pour la population.

7 Avant, il y avait des prairies, des haies, une belle nature. Maintenant, la carrière a changé tout cela : il n'y a qu'un grand trou. Les plantes et animaux qui vivaient là sont partis ou ont disparu. Il n'est plus possible de se promener par là. Quel dommage !

8 La carrière produit beaucoup de poussière qui se dépose partout aux alentours ! Et puis, tout ce qui vient de camions : c'est bruyant et c'est dangereux. En plus, ils abîment les routes !

9 Quand on extrait des roches d'une carrière, on crée des milieux artificiels : falaises, plans d'eau, zones de remblais... Des oiseaux peu communs arrivent à nicher comme par exemple le petit gravelot. Des amphibiens comme le crapaud calamite pondent dans les points d'eau temporaires...

10 A bout de 20 ou 30 ans environ, quand l'exploitation de la carrière sera terminée, je serai obligé de remettre en état le site : cela signifie que l'endroit deviendra un site de loisirs (voile, pêche, sentier de découverte), en particulier quand le fond sera rempli d'eau, ou un site pour la nature, l'agriculture...

11 Bien sûr, qu'il faut des carrières ! Mais vu les nuisances qu'elles créent, on devrait aussi agir pour éviter la forte consommation de roches et donc l'ouverture de nouvelles carrières. Pensons au recyclage... Des bétons issus de la démolition de bâtiments sont cassés en granulats pour servir dans la construction des routes. Et n'oublions pas de recycler le verre ou les emballages en métal : il faut des roches pour les fabriquer (sable, bauxite...) !

12 Les anciennes carrières peuvent être des zones très intéressantes pour la faune et la flore sauvages, si elles ont été bien réaménagées : laisser des pentes douces sur les bords des plans d'eau, créer des îlots, des mares, laisser la végétation naturelle coloniser les milieux, limiter la fréquentation du public en certains endroits...

Histoire de la carrière

La carrière de Fresville a beaucoup évolué depuis sa création. Essaie de remettre les images dans le bon ordre et relie les aux petits textes.

1. Avant le creusement de la carrière, le paysage est composé de haies et de collines, c'est le bocage.

2. Au début de l'exploitation, le calcaire est sorti de la carrière à l'aide de chevaux.

3. Plus tard, les chevaux seront remplacés par des trains.

4. Pendant l'exploitation, on pompe l'eau du ruisseau. Le fond de la carrière est sec.

5. Après l'exploitation, l'eau du ruisseau n'est plus pompée. La carrière se remplit d'eau, elle ressemble à un étang.

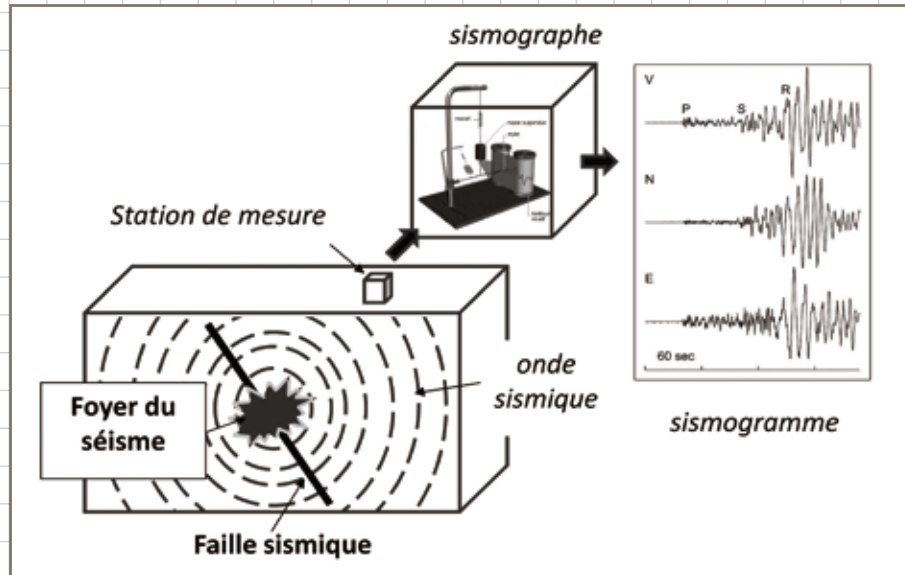


IV - Pour en savoir plus !

1. Pour en savoir plus ! : la géosphère

La géosphère a un rayon de 6370 km et les forages les plus profonds atteignent seulement une dizaine de km (record du monde : 12,2 km). Alors... comment les géologues font-ils pour connaître les constituants de l'intérieur du globe terrestre ?

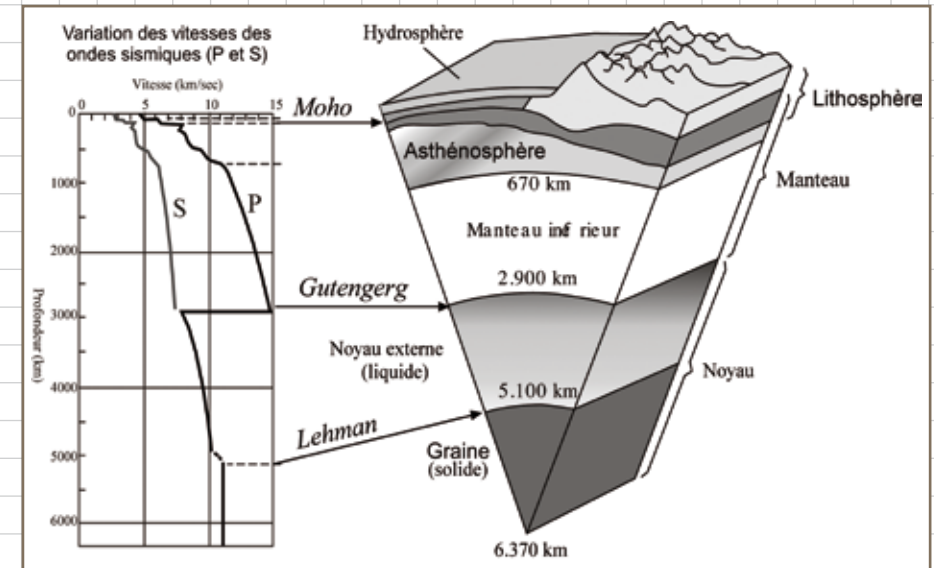
C'est l'étude des tremblements de Terre, la sismologie, qui a permis de comprendre la structure et la composition de notre planète. Lors d'un tremblement de terre, des ondes sismiques de plusieurs types, appelées P (premières), S (secondaires) et L (longues), ébranlent les roches et se propagent dans toutes les directions à partir du foyer du séisme.



(fig. 17) Enregistrement des tremblements de terre

Le temps mis par ces ondes, pour parvenir à différentes stations d'enregistrement (sismographes) réparties à la surface de la Terre, permet de calculer leur vitesse de propagation à l'intérieur du globe. Ces vitesses varient en fonction de la nature et de la rigidité des roches rencontrées. C'est ainsi, qu'au cours de la première moitié du XX^e siècle, les sismologues ont mis en évidence trois discontinuités majeures de vitesses : la discontinuité de Mohorovicic, située à 10 km sous les océans, 30 km sous les continents et 70 km sous les chaînes de montagnes ;

la discontinuité de Gutenberg, localisée vers 2900 km de la surface ; la discontinuité de Lehman, apparaissant vers 5100 km de profondeur. Ces discontinuités marquent les limites entre les différentes couches de la géosphère.



(fig. 18) Composition de la géosphère

La limite entre la croûte et le manteau supérieur est appelée, par les géologues, le MOHO. En Normandie, ce MOHO est situé à 32 km de profondeur.

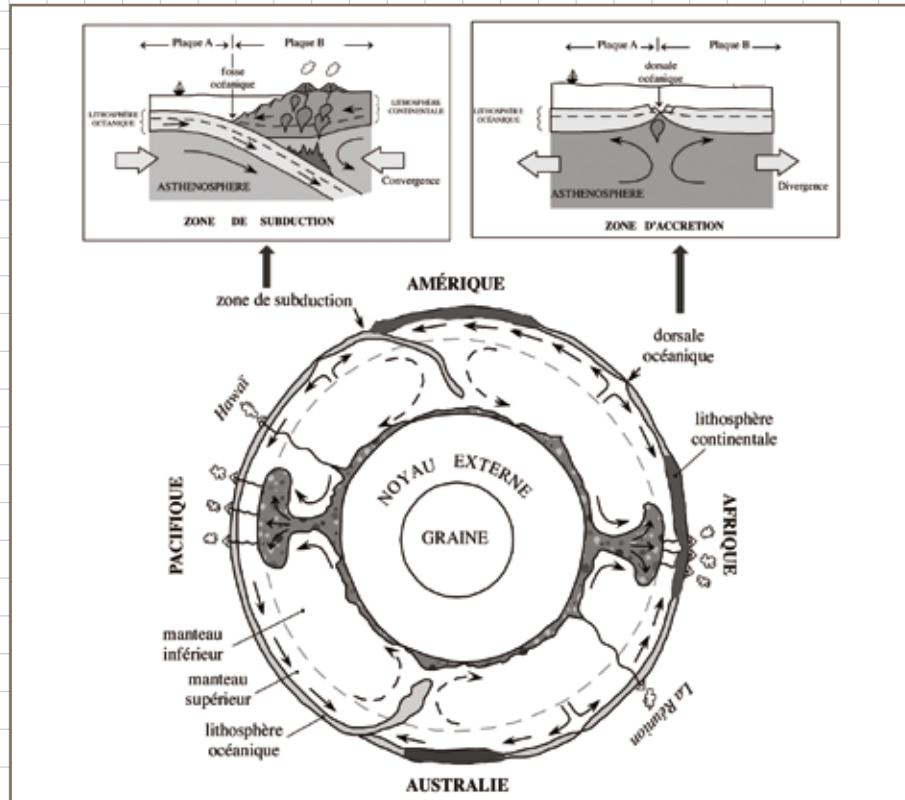
2. Pour en savoir plus ! : qu'est-ce qu'une plaque lithosphérique ?

Au plan du comportement mécanique, la croûte (océanique ou continentale) et la partie supérieure du manteau forment un ensemble rigide d'une centaine de kilomètres d'épaisseur, appelé lithosphère. Celle-ci repose sur un couchedu manteau moins rigide, l'asthénosphère (1% de liquide), dans laquelle naissent des courants de matière chaude (température > à 1300°C). La lithosphère n'est pas une enveloppe continue ; elle se fragmente en grandes zones stables, appelées plaques lithosphériques. Ces plaques se déplacent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère.

Les zones actives du globe, où s'observent les volcans actifs et les séismes, délimitent les frontières de ces plaques qui peuvent être de 3 types : divergentes, au niveau des dorsales océaniques (là où les plaques s'éloignent l'une de l'autre) ; convergentes, dans les zones de subduction ou de collision (là où les plaques se rapprochent) ; coulissantes, lorsque les plaques glissent horizontalement le long de failles verticales, dites « failles transformantes ».

Quel est le moteur de la tectonique des plaques ?

Il est à la fois thermique et gravitaire. C'est le déséquilibre thermique, entre des zones chaudes, peu denses, ascendantes, et des zones froides, denses, plongeantes dans le manteau, qui est à l'origine de courants de chaleur convectifs dans les péridotites mantelliques.



(fig. 19). Le fonctionnement des plaques

Ces courants de convection provoquent le déplacement lent (de 2 à 20 cm/an) des plaques lithosphériques. Celles-ci s'écartent à un niveau des dorsales océaniques (zones d'accrétion) et des rifts continentaux, là où remontent les courants chauds convectifs, et elles s'approchent à un niveau des fosses océaniques (zones de subduction) ou des grandes chaînes de montagnes intracontinentales (zones de collision), là où les courants convectifs plongent dans l'asthénosphère.

Pour en
savoir plus !



3. Pour en savoir plus : trois origines pour les roches sédimentaires

- 85% des roches sédimentaires sont d'origine détritique, comme le poudingue, le grès ou l'argilite. Elles sont dues au dépôt et à l'accretion de débris, plus ou moins grossiers (galets, sables, vases), de roches préexistantes.
- 14% des roches sédimentaires sont d'origine biogénique, formées par l'accumulation de coquilles d'animaux marins (comme le calcaire, la craie ou la radiolarite) ou de débris végétaux (comme le charbon ou le pétrole).
- 1% des roches sédimentaires sont d'origine chimique ou biochimique, résultant de la précipitation d'ions solubles dissous dans l'eau de mer, comme le sel gemme, le gypse, le silice ou le travertin. Certaines roches, dites résiduelles, proviennent de l'altération chimique sous climat tropical de roches affleurant sur les continents (bauxite, latérite).

4. Pour en savoir plus : la genèse des roches magmatiques

La genèse des roches magmatiques se fait en 3 étapes successives (fig. 5) :

1^{ère} étape - production du magma, obtenu par fusion partielle des roches du manteau ou de la croûte terrestre ;

2^{ème} étape - ascension de ce magma vers la surface par différence de densité (les corps chauds sont plus légers que les corps froids) sous forme de grosses ampoules ascendantes, appelées diapirs. Dans la partie supérieure de la croûte, cette remontée du magma peut être facilitée par l'existence de fractures ;

3^{ème} étape - cristallisation du magma par refroidissement lors de la remontée. La vitesse de refroidissement conditionne le type de roche éruptive, caractérisée chacune par la taille et l'agencement des minéraux (structure). Un refroidissement lent en profondeur produit des roches plutoniques à structure grenue, qui cristalliseront à quelques kilomètres (2 à 5 km) sous la surface. Le magma peut aussi emprunter des fractures et se solidifier pour donner des roches filoniennes à structure microgrenue (microgranite, dolérite...) ou atteindre la surface en s'épanchant sous forme de laves qui refroidissent alors rapidement en roches volcaniques à structure microlithique.

5. Pour en savoir plus : la classification des roches magmatiques

Tableau 1 : les principales roches magmatiques

	Roches acides		Roches intermédiaires	Roches basiques
Minéraux principaux	orthose, mica	quartz, orthose, mica	plagioclase, amphibole, mica	plagioclase, pyroxène, olivine
Roches plutoniques (structure grenue)	SYENITE	GRANITE	DIORITE	GABRO
Roches filoniennes (structure microgrenue)	MICROSYENITE	MICROGRANITE	MICRODIORITE	DOLERITE
Roches volcaniques (structure microlithique)	TRACHYTE	RHYOLITE	ANDESITE	BASALTE



6. Pour en savoir plus! : magmatisme et tectonique des plaques

Lemagmatisme des zones d'accrétion: à un niveau des dorsales océaniques, une remontée de l'asthénosphère conduit à la genèse de magmas basaltiques à l'origine de la croûte océanique. Celle-ci est constituée de roches basiques, gabbros en profondeur, surmontés de filons de dolérites, puis de basaltes à débiter en boules («pillows-lavas») en surface. Ces basaltes, qui forment le plancher de tous les océans, sont les roches volcaniques les plus fréquentes sur Terre.

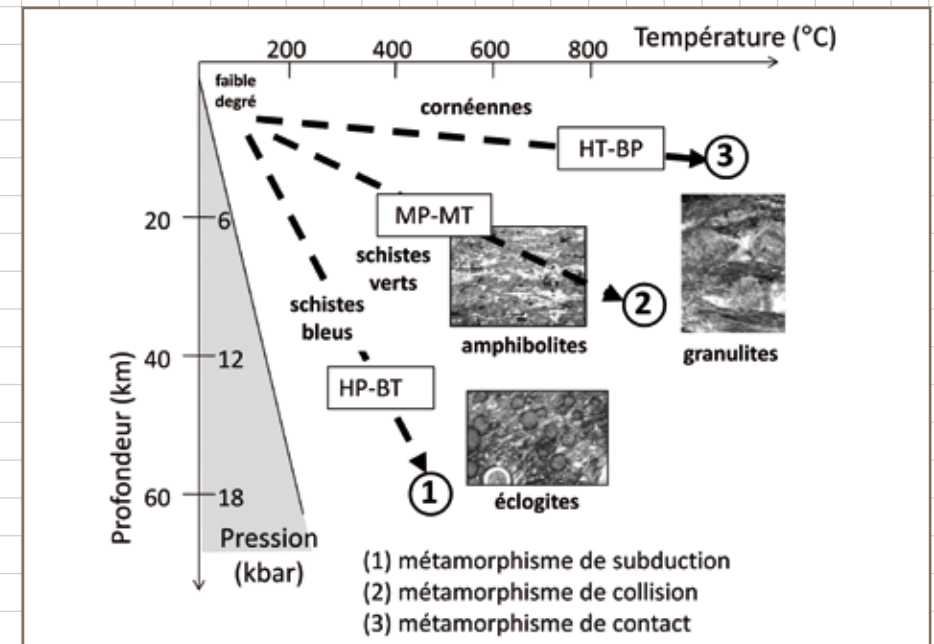
Lemagmatisme des zones de subduction: lorsqu'une plaque lithosphérique océanique s'enfonce en subduction dans l'asthénosphère, les basaltes de la croûte subissent une élévation de pression et de température qui les transforme. Ces transformations libèrent de l'eau qui favorise la fusion des péridotites du manteau sus-jacent. Le magma basaltique qui en résulte monte dans la croûte continentale où il donne naissance à des roches intermédiaires différenciées: diorites en profondeur et andésites en surface.

Lemagmatisme intraplaque: c'est la remontée de panaches de chaleur qui prennent naissance à grande profondeur, à la base du manteau inférieur, qui est responsable de la fusion des péridotites lithosphériques. Une dizaine de ces «points chauds» se répartissent à la surface du globe, soit à un niveau de plaques océaniques (Hawaï, La Réunion, Islande), soit à un niveau d'une plaque continentale (Afrique orientale, Massif Central). Le magma basaltique ainsi formé donne naissance à des gabbros, en profondeur, et des basaltes alcalins, en surface. À certaines époques géologiques, ces «points chauds» ont été responsables d'importantes coulées basaltiques (trapps du Dekkan et de Sibérie).

Lemagmatisme des zones de collision: l'affrontement de deux plaques continentales conduit à l'érection d'une chaîne de montagnes au cœur de laquelle les roches subissent des pressions et des élévations de température considérables. Ces dernières entraînent des fusions de la croûte à l'origine de granites et de rhyolites.

7. Pour en savoir plus! : métamorphisme et tectonique des plaques

La tectonique des plaques nous renseigne sur les lieux où se forment les roches métamorphiques.



(fig. 20) : Diagramme Pression-Températures

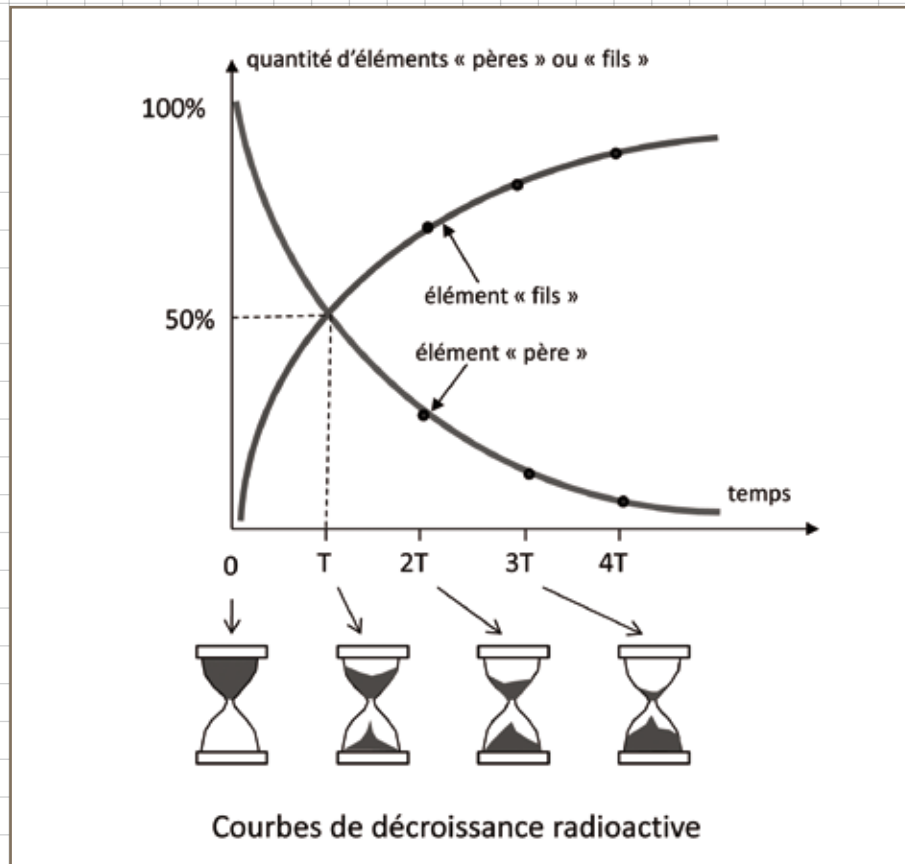
- le métamorphisme des zones de subduction (métamorphisme de haute pression-basse température (HP-BT)) : lorsque la croûte océanique d'une plaque lithosphérique s'enfonce en subduction sous une autre plaque, elle subit une élévation rapide de la pression qui transforme les basaltes et les gabbros en amphibolites (schistes bleus), puis en éclogites.

- le métamorphisme des zones de collision (métamorphisme de moyenne pression-moyenne température (MP-MT)) : lorsque deux plaques lithosphériques continentales entrent en collision, la croûte continentale s'épaissit et les roches subissent une augmentation conjointe de pression et de température. Si cette augmentation est croissante, une roche initialement argileuse va progressivement se transformer en schiste (affecté par des plans de clivage : la schistosité), en ardoise, en mica schiste (apparition de mica), puis en gneiss (roche foliée d'aspect grenu). Si la température et la pression augmentent encore, un début de fusion peut apparaître (anatexis) donnant naissance à des migmatites à composition de granite.

- le thermo-métamorphisme (métamorphisme de haute température-basse pression (HT-BP)) : lors de la mise en place d'une roche chaude intrusive (pluton de granite, par exemple), les roches sédimentaires encaissantes subissent une élévation de température qui entraîne des recristallisations et transforme ces roches en cornéennes ou, lorsque l'on s'éloigne du corps intrusif, en schistes tachetés.

8. Pour en savoir plus ! : la radiométrie

La méthode utilisée est la radiométrie (ou radiochronologie). Elle fait intervenir la propriété qu'ont les isotopes radioactifs de certains atomes (dits éléments-pères) de se transformer petit à petit en isotopes stables (dits éléments-fils). Par exemple, l'Uranium 238 se transforme en Plomb 206; le Rubidium 87 en Strontium 87; le Potassium 40 en Argon 40; le Carbone 14 en Azote 14. Pour chaque espèce d'atome radioactif, la vitesse de désintégration est constante. Ainsi, en dosant la quantité d'éléments-pères et fils contenus dans une roche, on peut en déduire son âge (fig. 21).



(fig. 21) Principes de la radiométrie

On appelle période de désintégration T (ou demi-vie) le temps qu'il faut pour qu'un minéral désintègre la moitié de ses atomes radioactifs. Les demi-vies de l'Uranium ou du Rubidium sont très longues (4,47 milliards d'années (Ga) pour U; 48,8 Ga pour le Rb), celle du Potassium dure 1,3 Ga, celle du Carbone 14 seulement 5700 ans. La méthode du Carbone 14 ne peut donc pas être utilisée par les géologues qui datent des roches qui ont généralement plusieurs millions d'années.

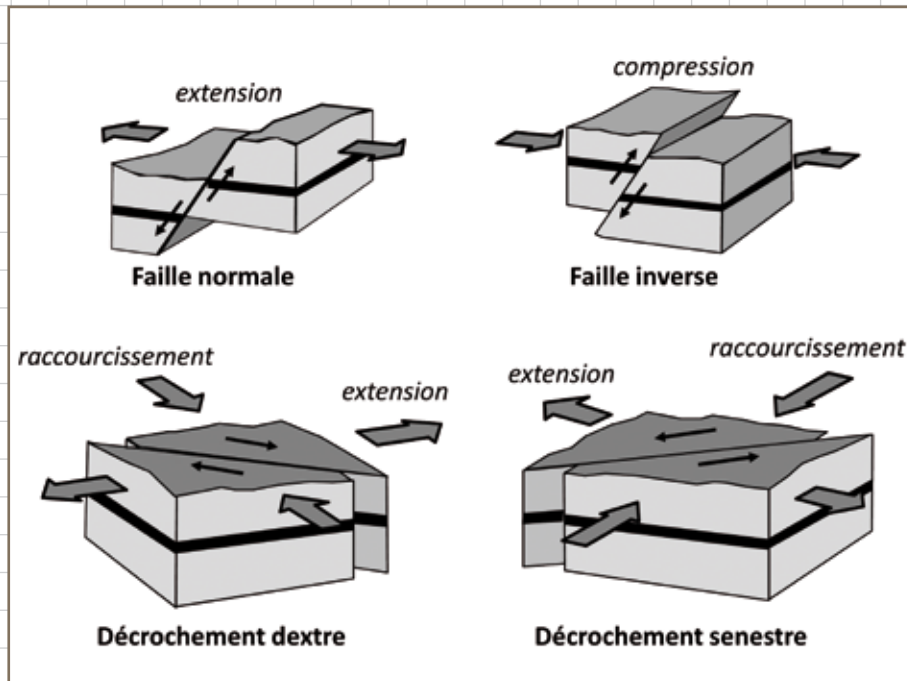
9. Pour en savoir plus ! : les ères géologiques

Les ères géologiques se subdivisent en systèmes : le Paléozoïque, qui a duré 300 Ma, compte 6 systèmes (Cambrien, Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien); les 175 Ma du Mésozoïque sont divisés en 3 systèmes (Trias, Jurassique et Crétacé); et le Cénozoïque regroupe le Paléogène et le Néogène.

Les systèmes sont eux-mêmes divisés en étages, dont les noms sont établis à partir de coupes géologiques de référence appelées stratotypes. En Normandie, les affleurements calcaires de la région de Bayeux ont permis de définir le Bajocien, stratotype international pour le Jurassique moyen.

10. Pour en savoir plus ! : les types de failles

On distingue 3 grands types de failles (fig.22) :



(fig.22) Les divers types de failles

- les failles dites « normales », lorsque le compartiment supérieur descend sur le plan de faille
- les failles inverses, quand le compartiment supérieur monte sur le plan de faille ;
- les décrochements, quand le déplacement des blocs se fait horizontalement dans un mouvement de coulisage qui peut être dextre ou senestre.

Les failles normales apparaissent préférentiellement dans les zones en extension, à un niveau des dorsales océaniques, des rifts continentaux ou des marges passives. Les failles inverses, les décrochements et les plis, sont surtout présents dans les chaînes de montagnes, là où des plaques lithosphériques convergentes s'affrontent.

Tableau 2 : La classification des roches sédimentaires

Nature de la roche	Constituant essentiel	Origine détritique	Origine physico-chimique	Origine biogénique
siliceuse	Silice	SABLES	GRES	SILEX
calcaire	CaCO ₃	LOESS	CALCAIRE OOLITHIQUE	DIATOMITES
argileuse	Silicate d'alumine	MARNES	ARGILES	CRAIE
ferrugineuse	Oxyde de fer		LATERITES	CALCAIRE RECIFAUX
saline	Sulfate Chlorures		MINÉRAI DE FER	
carbonée	Carbone Hydrocarbures		GYPSE SEL GEMME	CHARBONS PETROLE

NOTES

A full page of blank graph paper. The grid consists of small squares formed by thin gray lines. There are no margins, text, or other markings on the page.

NOTES

[illegible]

Conception graphique : © P n r des Marais du Cotentin et du Bessin - Juillet 2012. **Illustrations :** Lionel Dupret, CIEC, Céline Lecoq (CPIE du Cotentin).

Textes : Lionel Dupret. **Outils et exploitations pédagogiques :** CIEC, CPIE du Cotentin, Gérard Tresgots.

Mise en page et impression : Groupe Lecaux - Tourlaville (50) - Tirage : 400 ex. Imprimé sur du papier certifié PEFC avec des encres végétales.

édité avec le soutien du Conseil Régional de Basse-Normandie



Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin

Maison du Parc
3 village Ponts d'Ouve
50500 SAINT-CÔME-DU-MONT
Tél. : 02 33 71 65 30
accueil@parc-cotentin-bessin.fr
www.parc-cotentin-bessin.fr

Siège administratif
17 rue de Cantepie
50500 LES VEYS
Tél. 02 33 71 61 90
info@parc-cotentin-bessin.fr

Les PAH (Pays d'art et d'histoire)

PAH du Clos du Cotentin

La Parcheminerie
21 rue du Grand Moulin
50700 VALOGNES
Tél. : 02 33 95 01 26
pah.clos.cotentin@wanadoo.fr
<http://closducotentin.over-blog.fr>

PAH du Coutançais

Tourisme et culture en Pays de Coutances
Place Georges Leclerc
50200 COUTANCES
Tél. : 02 33 19 08 10
tourisme-coutances@wanadoo.fr
www.tourisme-coutances.fr

Associations ressources en éducation à l'environnement

Le CIEC

Centre d'Initiation à l'ECo-Citoyenneté
5 Boulevard de la dollée
50009 SAINT-LÔ CEDEX
Tél. : 02 33 77 42 50
ciec@laligue.org
www.ciec.webou.net

C.P.I.E. du Cotentin

Centre Permanent d'Initiatives pour
l'Environnement
30 rue de l'hippodrome - B.P. 42
50430 LESSAY
Tél. : 02 33 46 37 06
accueil@cpiecotentin.com
www.cpiecotentin.com

