

# Le Val Ferret : Voyage dans 300 millions d'années d'histoire géologique



Hélène Gabioud

Sous la direction de :

Michel Marthaler

Micha Schlup

Lenka Kozlik

Master ès science pour l'enseignement  
Faculté des géosciences et de l'environnement  
Université de Lausanne

Avril 2007

## Résumé

La géologie nous a permis de remonter dans le temps à travers les millions d'années : elle nous a permis de comprendre comment nos montagnes se sont formées. Ces connaissances sont-elles applicables à un enseignement scolaire ? Pourquoi enseigner cette matière et comment la rendre accessible à un public adolescent ? Ce travail entreprend d'y réfléchir, aborde les multiples avantages que cet enseignement peut apporter et propose un exemple pratique à travers la découverte du Val Ferret.

L'intérêt d'enseigner cette matière à des gymnasiens est d'approfondir leur connaissance du monde. Il s'agit également de les sensibiliser à l'impact de l'homme sur l'environnement et de les ouvrir à une vision plus large et globale de l'espace qui les entoure. De plus, grâce aux différentes balades qui sont proposées, ils vont être introduits à la montagne et peut-être découvrir un nouveau type d'activité physique. La complexité de la matière à enseigner nécessite une réflexion pédagogique. Tout d'abord, il va falloir motiver et intéresser les élèves. Les concepts théoriques devront être mis en lien avec la réalité et l'enseignement devra être organisé, de manière à avancer dans la matière de manière progressive. Une base didactique simple est proposée. Elle regroupe les informations sur les paysages en trois histoires : celle des roches, celle de la formation des Alpes et celle de l'érosion du Quaternaire. De plus, les notions devront être répétées, en impliquant les élèves dans ce processus, de manière à faciliter la mémorisation. Pour finir, les supports utilisés devront être simples, et faire appel à une seule symbolique, leur permettant de faire le lien entre les cartes, les schémas et le paysage.

Le Val Ferret a été choisi parce qu'il propose une succession de différentes roches mises côte à côte, qui permettent d'illustrer 300 millions d'années d'histoire géologique alpine.

L'application pratique est orchestrée en trois temps : une introduction en classe, où les élèves apprennent à déterminer les roches qu'ils vont rencontrer lors de leurs excursions ; le travail de terrain, où cinq balades sont proposées, avec des postes et les explications qui s'y rapportent ; une synthèse en classe, permettant d'organiser et mettre en liens les notions vues sur le terrain. Pour chacune des étapes, un chapitre méthodologique est proposé, soulignant ses enjeux pédagogiques propres, avec des propositions concrètes. Finalement, en conclusion, les critiques et perspectives de ce travail sont abordées.

## Table des Matières

<b>Résumé</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION :</b>	<b>3</b>
<b>Amener la géologie à l'école.</b>	<b>3</b>
A qui ?	3
Pourquoi ?	3
Comment ?	6
<b>Le Val Ferret</b>	<b>8</b>
<b>DOSSIER PÉDAGOGIQUE</b>	<b>10</b>
<b>Les roches des Alpes : quelques exemples</b>	<b>10</b>
Méthodologie	10
Roches ignées	10
Roches sédimentaires	11
Roches métamorphiques	16
<b>Mise dans le contexte : le terrain</b>	<b>18</b>
Méthodologie	18
Cabane de l'A Neuve : De la glace au magma	19
Dalle de l'Amône : Baignade avec les oursins	30
Petit col Ferret : Balade au fond de l'océan Téthys.	35
Pramplo : Plongeon de la mer à l'océan	46
Lacs de Fenêtre : Fosse océanique et forêt tropicale	57
<b>Synthèse : de la formation des roches à aujourd'hui</b>	<b>73</b>
Méthodologie	73
Carte géologique	74
Une histoire de 300 millions d'années	77
<b>CONCLUSION</b>	<b>82</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>84</b>

## INTRODUCTION :

Ce travail est un dossier pédagogique, réalisé par une future enseignante et destiné à des enseignants. Son but est de mettre en place une méthodologie pédagogique permettant d'amener la géologie et la découverte de nos montagnes à l'école. Les avantages apportés par l'enseignement de cette matière à des jeunes sont nombreux, mais sa complexité nécessite une importante réflexion sur l'ordre et la manière dans laquelle ces notions vont être introduites. À travers une application pratique, le Val Ferret, ce travail propose un mode d'emploi pédagogique, visant à rendre accessible à tous la découverte de 300 millions d'années d'histoire géologique alpine.

### **Amener la géologie à l'école.**

#### *A qui ?*

L'examen des plans d'étude du département de la formation et de la jeunesse du canton de Vaud (DFJ, 2005 & 2006) indique que ce travail s'inscrit idéalement dans les études gymnasiales. En effet, les prérequis, ainsi que les niveaux de compétences et savoir-faire que ce travail cherche à développer s'appliquent à des adolescents.

#### *Pourquoi ?*

Les visées pédagogiques de l'école actuelle dépassent le seul apprentissage de notions. Les concepteurs des plans d'études vaudois, par exemple, sont allés chercher derrière les sujets abordés en cours, quelles étaient les compétences que ces derniers contribuaient à développer chez les élèves (DFJ, 2005 & 2006). Avoir en tête ces objectifs modifie la façon d'enseigner. Les questions posées aux élèves seront différentes, les amenant à réfléchir et les poussant à développer ces compétences. Cela permet également d'inscrire les notions apprises dans une globalité, de faire les liens avec d'autres matières enseignées, ainsi qu'avec leur vie quotidienne. Ces connaissances vont également modifier les exigences des enseignants ainsi que leur manière d'évaluer les élèves. Il est donc fondamental, au début de ce travail, de poser un cadre : qu'est-ce que cet apprentissage va apporter aux élèves ? Que cherche-t-on à leur faire découvrir, à travers la compréhension des roches et des paysages ?

Connaître les roches et comprendre les paysages constituent deux étapes de la découverte de notre Terre. Durant leur scolarité, les élèves vont progressivement « prendre conscience de leur environnement » (DFJ, 2005, p. 43). Cela passe par la

découverte des grands ensembles constituant notre terre : géosphère, hydrosphère, atmosphère, biosphère et anthroposphère. La géosphère en constitue une étape incontournable, en particulier parce qu'elle interagit avec la biosphère et l'anthroposphère. Les roches et les forces qui les animent créent les montagnes et les paysages, qui eux modifient la répartition des plantes, des animaux et des hommes. Les roches vont être un paramètre majeur de la nature des sols, qui va également influencer la répartition des plantes et des animaux. Elles sont à l'origine de nombreux phénomènes qui touchent l'homme directement, comme les éboulements et les glissements de terrains. Les connaissances acquises à travers l'apprentissage proposé dans ce travail vont donc donner aux élèves les bases nécessaires à la compréhension de nombreux phénomènes, et ainsi contribuer à leur donner « une vue globale de la configuration de la Terre » (DFJ, 2005, p.43).

Ce travail pourrait se situer à la suite d'un cours sur la tectonique des plaques, des volcans et des tremblements de terre. Les Alpes existent parce que ces phénomènes ont eu lieu, il y a des millions d'années. Nos montagnes en sont le reflet, apparemment immobile, et sont donc un outil pédagogique adapté pour permettre une compréhension beaucoup plus complète de ces phénomènes.

A travers l'observation des phénomènes récents au niveau géologique, notamment les glaciers, les éboulements et les glissements de terrain, on peut entrevoir les effets du réchauffement climatique. Bien que ce phénomène soit maintenant connu et abordé depuis une trentaine d'années, ce n'est que récemment qu'il est concrètement devenu un sujet d'actualité. Les journaux en parlent de plus en plus, les politiques commencent enfin à mettre en place des mesures visant à diminuer les impacts de l'homme sur le climat, et ce sujet devient courant dans les conversations de tous les jours. Il est donc important pour les jeunes d'avoir les outils pour comprendre les enjeux des débats, ce qui passe par la compréhension de ce phénomène. En complément de l'étude du réchauffement climatique en cours, voir ses effets sur le terrain permet de comprendre que ce ne sont pas de vagues spéculations, mais un phénomène majeur affectant notre environnement. Cela introduit donc un aspect de sensibilisation, visant à permettre aux élèves de se « forger un jugement sur les répercussions de l'activité humaine sur l'espace », ainsi que de les conduire à un « comportement responsable » (DFJ, 2005, p. 108).

Pour comprendre les notions abordées dans ce travail dans leur globalité, les élèves doivent avoir intégré deux notions fondamentales : les échelles temporelles et spatiales. Tout d'abord, l'histoire des roches et des paysages alpins racontée dans ce travail s'étale sur au moins 300 millions d'années. L'échelle temporelle géologique met en œuvre des durées dépassant la représentation humaine. A l'échelle humaine, les montagnes semblent immobiles et immuables. Ce n'est qu'en changeant d'échelle temporelle que notre imagination permet de les voir bouger et se transformer. De même, il faut pouvoir passer d'un fragment de roche de la taille

d'une main, à une montagne, et enfin à une chaîne de montagne. Les échelles spatiales mise en œuvre sont à la taille de continents. Ce sont des collisions titanesques, d'où résultent des formations rocheuses de centaines de kilomètres de long, s'enfonçant profondément dans la croûte terrestre. Comprendre ces phénomènes stimule l'imagination, et amène à se rendre compte que de nombreux phénomènes de notre environnement ne peuvent pas se mesurer à l'échelle humaine. Cette compréhension est une condition sine qua non qui s'applique à de nombreux sujets en science ou en géographie, comme l'évolution par exemple. Elle est également le prérequis d'une notion chère au développement durable : le principe de précaution. Comprendre que certains phénomènes peuvent avoir des répercussions sur des centaines ou des milliers d'années ; intégrer le fait que l'action d'un individu n'a pas la même portée si des millions de personnes font la même choses. Cette capacité de projection, stimulée par ce travail, peut être utile dans de nombreuses problématiques sociales ou environnementales. Le principe de précaution, qui consiste à ne pas s'investir dans de nouvelles technologies si l'on est pas certain que cela n'aura pas d'impacts négatifs pour les générations futures, s'inscrit parfaitement dans cette optique.

Les explications de certains processus abordés dans cet enseignement font appel à des notions de chimie ou de biologie, comme la précipitation ou la photosynthèse. Ce travail constitue donc un sujet favorable à l'interdisciplinarité et à la collaboration avec les autres enseignants.

Cette étude propose une phase importante de travail sur le terrain. A travers des balades à vocation pédagogique, les élèves peuvent découvrir la richesse et la beauté de nos territoires. Les adolescents vivent une période charnière, pendant laquelle ils rejettent les jeux, intérêts et idées qu'ils avaient en tant qu'enfant, et sont à la recherche de nouvelles occupations et centres d'intérêts. L'incertitude qu'ils peuvent éprouver lors de cette phase de flottement est souvent en partie à l'origine de leur mal-être. L'école et l'enseignant peuvent être des guides dans cette phase de recherche, souvent difficile (Doudin, 2006/2007). En accompagnant les jeunes sur le terrain, on les amène à effectuer une activité physique nécessitant de l'endurance et de la persévérance. Peut-être découvriront-ils le sentiment de satisfaction et de fierté que l'on ressent quand on arrive enfin au sommet ; se rendre compte que l'on est capable de se surpasser, tout en contemplant, depuis en haut, des paysages grandioses. Ainsi, en plus de découvrir la formation des Alpes, les élèves peuvent découvrir un sport et être sensibilisés au monde de la montagne, avec ses beautés et ses dangers.

A travers l'apprentissage proposé dans ce travail, les élèves vont approfondir leur connaissance du monde. Ils vont être sensibilisés à l'impact de l'homme sur l'environnement, et vont apprendre à avoir une vision plus large et globale de

l'espace qui les entoure. Ils vont également être introduit à la montagne et peut-être à un nouveau type d'activités physiques.

### *Comment ?*

Pour un enseignement de qualité, la motivation des élèves est un facteur très important. Elle constitue une des conditions nécessaires à leur implication active, ainsi qu'à la mémorisation, la mise en lien des différents concepts, voire l'anticipation de certaines explications. Ainsi, le bon fonctionnement du travail de terrain, et du travail en classe, nécessite une bonne ambiance, propice à l'enseignement. Un public adolescent peut penser que les roches et les montagnes n'ont aucun intérêt et il se peut que leur curiosité ne soit pas acquise d'office. Pour que le processus se fasse, il va donc falloir les intéresser.

Tout d'abord, cet enseignement doit avoir un sens pour eux. Il va donc falloir faire appel à des thématiques qui leur sont proches, et leur montrer que la connaissance des roches est utile. Le travail de terrain porte en soi un immense avantage : il permet de faire découvrir que les notions enseignées sont réelles et concrètes. Un schéma, ou une illustration, prend un sens beaucoup plus profond quand le phénomène se déroule sous leurs yeux. Parler du réchauffement climatique, sujet d'actualité, peut stimuler leur intérêt. Les phénomènes du quaternaire sont un sujet à mettre en avant parce que les risques naturels apparaissent souvent dans des reportages télévisés. Les élèves seront certainement intéressés à comprendre le mécanisme des glissements de terrain, par exemple. Finalement, la Suisse est une grande constructrice de tunnels et la connaissance du terrain, donc des roches, est d'une importance cruciale. Si les élèves sont lausannois, on peut leur expliquer que, Lausanne étant une ville de moraines et de molasse, les géologues ont dû soigneusement en étudier le sous-sol, pour déterminer où il fallait creuser les tunnels du nouveau métro. On fait ainsi appel à des exemples de leur vie quotidienne et les jeunes, comme nous, sont souvent très intéressés par ce qui se passe près de chez eux.

Une fois les élèves accrochés, emportons-les avec nous. Stimulons leur imagination en les faisant voyager. Voyageons dans le temps, sur des plages ou au cœur des montagnes, il y a des millions d'années. Le grand intérêt des montagnes est qu'elles sont les témoins d'un passé bien antérieur à l'homme. Elles sont un jeu de piste et d'indices permettant de reconstituer des milieux qui ont vu les dinosaures et une végétation aujourd'hui fossile : les roches racontent une histoire, traduisons-là à nos élèves.

Il convient également de ne pas les larguer en route. L'enseignement doit être adapté à leur niveau. Il faut leur donner tous les outils dont ils ont besoin pour

pouvoir comprendre, sans les noyer dans une masse d'information déstructurée. Les élèves doivent avoir la sensation de comprendre et de progresser. Ils devraient pouvoir ressentir de la satisfaction en comprenant les concepts, et en voyant qu'ils sont capables de voir dans le paysage ce que l'on cherche à leur montrer. Il faut donc faire en sorte de rendre ces notions accessibles.

Comprendre la formation des Alpes n'est pas chose aisée. Cela requiert de nombreuses connaissances préalables, qu'il faudra inter-connecter. Dans cette difficulté se profile un immense avantage pédagogique : l'observation et l'explication des paysages peut devenir un moyen de faire des liens et de synthétiser de nombreuses notions. Rappeler des notions vues au préalable, et les connecter ensemble pour atteindre un niveau de compréhension supérieur. Mais pour aboutir à cela, il faudra progresser de façon logique et bien organiser son enseignement.

Ce travail propose une approche progressive. Chaque étape du processus va rajouter une information ou un concept. Cela permet de revoir les anciennes notions, et d'en aborder de nouvelles. La compréhension et la mémorisation sont des processus sur le long terme. Chaque nouvelle information éclaire l'ancienne sous une lumière nouvelle, et permet sa compréhension plus en profondeur. De plus, le laps de temps écoulé permet de digérer et de mieux intégrer l'information. Finalement, la répétition permet une mémorisation à long terme. Il est souvent très profitable d'intégrer les élèves dans ce processus, en leur posant des questions qui vont les amener à aller chercher eux-mêmes l'information. Ils vont ainsi devoir exprimer ces concepts avec leurs mots, ce qui implique de nombreux avantages. Cela les entraîne à l'expression orale et va également favoriser le processus de compréhension. De plus, nous pourrions vérifier leur compréhension et de détecter d'éventuels amalgames. Aussi, certains élèves seront peut-être plus sensibles aux explications de leurs camarades qui, avec un vocabulaire différent, induiront en eux une autre résonance.

L'organisation de travail propose trois grandes étapes. Une introduction en classe, visant à donner aux élèves les outils dont ils auront besoin ; des excursions sur le terrain, pour montrer les éléments dans leur contexte, et introduire progressivement de nombreuses notions ; finalement une synthèse, avec une récapitulation en classe de l'ensemble des phénomènes abordés jusque-là.

Le grand obstacle rencontré lorsqu'on enseigne la géologie est que les roches et les paysages observés portent les marques de millions d'années d'histoire. De plus, se trouvent souvent exprimés côte à côte des phénomènes qui trouvent leur origine à des millions d'années d'intervalles et dans des conditions complètement différentes. Cette complexité pédagogique peut être résolue par une base didactique simple : séparer et organiser ces différents phénomènes en trois histoires. La première, la plus longue et la plus importante, est l'histoire des roches. Elle remonte dans le



passé et décrit la géographie, les climats, la vie et les paysages qui ont vu les roches se créer et dont ces dernières sont les témoins silencieux. La deuxième est l'histoire de la formation des montagnes, celle des plis, des mouvements et de la lente collision de l'Europe et de l'Afrique. La troisième, la plus courte et la plus proche de nous, celle des glaciations et des phénomènes d'érosion qui ont sculpté les montagnes et donné leurs formes aux paysages d'aujourd'hui (Marthaler, 2004 & Pralong, 2004). Cette base didactique constitue le squelette de toutes les observations et commentaires faits dans ce travail : chaque explication commence par l'histoire la plus ancienne et finit par la plus récente. Garder cette organisation tout au long de l'enseignement, constitue une véritable clé de compréhension et donne aux élèves moyens de structurer les informations.

La géologie, comme toute science, possède également une autre source de difficultés : elle foisonne de termes pointus et mystérieux pour un public néophyte. A chaque nouvelle explication, on pourrait introduire un nouveau terme, au risque de submerger les élèves avec de la terminologie géologique. Il convient donc de bien réfléchir à l'utilité de ces termes. Sont-ils indispensables à la compréhension de ces phénomènes ? Peut-on expliquer la même chose en utilisant des termes plus simples ? Aurons-nous besoin de cette terminologie à l'étape suivante ? Ainsi, nous pouvons souvent diminuer la charge cognitive de notre enseignement en évitant d'utiliser inutilement des termes trop complexes.

De manière à soutenir notre enseignement, nous avons accès à de nombreux supports : photos, cartes, schémas. Ceux-ci doivent être des aides et non des entraves à la compréhension. Pour cela, il est utile de choisir des supports simples et efficaces, qui pourront être facilement reliés entre eux, et également avec les paysages. Dans ce travail, le fil conducteur est le code de couleur de la carte géologique. Les photos sont expliquées par des croquis colorés, ces couleurs correspondant à la carte géologique. Cela permet de faire le lien : de passer de la réalité ou de la photo, au croquis et finalement à la carte.

## **Le Val Ferret**

Outre le fait que le Val Ferret soit une région magnifique, qui propose des paysages superbes, c'est également un site d'une grande richesse géologique.

La même succession de différentes roches se prolonge de Martigny jusqu'à la frontière sud du Val Ferret. Une chance pour les géologues, et encore plus pour ceux qui cherchent à enseigner la géologie, parce qu'elle permet d'expliquer la formation des Alpes. Ce n'est pas par hasard que l'on trouve cette succession de roches. Ce sont les mouvements de la croûte terrestres qui ont créé les conditions nécessaires à leur formation, en ouvrant des océans et en créant des montagnes. Ce sont eux

également la raison pour laquelle elles se trouvent maintenant côte à côte. Le vent, l'eau et la glace ont contribué autant à la formation de ces roches, qu'à éroder les montagnes pour que ces couches géologiques se trouvent maintenant à l'air libre, et accessibles aux scientifiques et passionnés de tous poils. C'est cette histoire, qui s'étale sur plus de 300 millions d'années qui est racontée dans ce travail, et que je vous propose ensuite de raconter à d'autres.

## DOSSIER PEDAGOGIQUE

### **Les roches des Alpes : quelques exemples**

#### *Méthodologie*

Cette première partie constitue une étape indispensable de la compréhension de la première histoire, celle des roches et de leur formation. Pour aller sur le terrain, les élèves auront besoin de connaître les roches que l'on y trouve. Il est fort probable que la plupart des élèves aient déjà abordé la détermination des roches à l'école primaire ou secondaire. De manière à ce qu'ils aient toutes les informations en tête, il est nécessaire de rafraîchir ces notions et de mettre à niveau des élèves qui n'ont pas forcément suivi le même programme scolaire.

Ce rappel est construit comme un outil pour la suite : il vise à permettre aux élèves de reconnaître les roches sur le terrain et constitue donc un cours ciblé sur les roches du Val Ferret. Il s'agit également de faire une première fois le lien avec les conditions dans lesquelles elles ont été formées. L'origine de ces roches est un aspect indispensable pour relier la paléogéographie et les roches dans leur état actuel. Par exemple, si l'on sait que le calcaire spathique contient des fragments de coquilles d'oursins, on imagine facilement qu'un jour ces roches se trouvaient en bordure de mer. Cette connaissance est un des piliers de base sur lequel nous pourrions maintes fois nous appuyer. Il faut toutefois avoir à l'esprit un aspect fondamental de l'histoire de ces roches : entre l'époque de leur formation et aujourd'hui, il y a eu la formation des Alpes. Ces roches ont donc été transformées par les gigantesques pressions et températures qu'elles ont subies alors. Par exemple, un argile a pu se transformer en schiste argileux, et ainsi raconter un peu de la deuxième histoire. Il convient donc de bien expliquer cet aspect aux élèves.


Ce chapitre contient une explication théorique, et des fiches récapitulatives pour les principales roches rencontrées lors des excursions. Ces fiches pourraient être rassemblées sous forme d'un polycopié à prendre sur le terrain. Elles deviendraient ainsi un support didactique facilitant le lien entre ce rappel vu en cours, et la découverte des roches sur le terrain.

#### *Roches ignées*

Les roches ignées sont formées par refroidissement du magma. Le magma vient à l'origine du manteau. Une partie de ce magma refroidit à la surface, lors d'éruptions volcaniques par exemple. Mais une bonne partie de ce magma, qui remonte en s'infiltrant dans la croûte terrestre, y reste prisonnier et refroidit lentement. Ce

refroidissement lent peut prendre un million d'années (Marthaler, 2001, p. 13). En refroidissant, les minéraux qui composent le magma cristallisent. Si le magma refroidit lentement, comme dans les roches qui se forment en profondeur dans la croûte terrestre, les cristaux ont le temps de bien se développer, et deviennent visibles à l'œil nu. Ils peuvent atteindre facilement la taille d'un centimètre (Burri & Marthaler, 1994, pp. 27-28). Le granite en est un très bon exemple.

Le granite contient trois type de minéraux formant des cristaux bien visibles : du quartz, du feldspath et du mica. Le quartz est transparent, comme du verre ; le feldspath est blanc ou rose ; le mica est noir et brillant (Marthaler, 2001, p. 13).

	<b>GRANITE</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Minéraux visibles : quartz, transparent ; feldspath, blanc ou rose ; mica, noir.	Ignée, siliceuse	Refroidissement lent de magma, dans les profondeurs de la croûte terrestre.

### *Roches sédimentaires*

Les roches sédimentaires sont composées, comme leur nom l'indique, de sédiments. Ces sédiments se déposent et se cimentent pour former une roche. Les conditions dans lesquelles ces roches se déposent peuvent être très variables : la base d'un glacier, le fond d'un océan, le lit d'une rivière, le cœur d'un désert,... (Burri & Marthaler, 1994, p. 39). Ces milieux vont déterminer un ensemble de conditions, qui sont à l'origine du dépôt des sédiments. Ainsi, la nature des particules composant la roche, nous permet d'extrapoler le milieu dans lequel elle a été formée.

Dans le Val Ferret, on trouve des roches sédimentaires d'origines marines, du fond ou du bord d'océans, ainsi que des roches provenant du lit de rivières. Ces aspects seront revus en détail par la suite.


Il existe trois type principaux de roches sédimentaires : les *roches organogènes*, qui sont engendrées par l'activité de certains organismes (plancton, coraux, oursins,

...); les *évaaporites*, qui sont formées par évaporation d'eau de mer, avec précipitation des composés qui y étaient dissous; les *roches détritiques*, dont les sédiments sont des particules arrachées à des roches préexistantes (sables, cailloux) (Burri & Marthaler, 1994, p. 40).

Dans le Val Ferret, on trouve différentes roches sédimentaires organogènes : du calcaire, et de la dolomie. Les sédiments à l'origine du calcaire se trouvent dissous dans l'eau de mer. Sous certaines conditions, ils précipitent, et se déposent. Pour provoquer cette précipitation, il y a trois conditions principales : la diminution de la quantité de CO<sub>2</sub>, provoquée dans l'eau de mer par la présence d'organismes pratiquant la photosynthèse; une élévation de la température; et une diminution de la pression (Burri & Marthaler, 1994, p. 51). Toutes ces conditions sont réunies dans la mer peu profonde qui borde les côtes. Grâce à une bonne luminosité et à l'apport de nutriments par les rivières, les organismes photosynthétiques foisonnent. De plus la mer se réchauffe grâce à l'action du soleil et, finalement, la pression est plus faible qu'au fond de la mer. Par climat chaud, on a donc les conditions idéales pour le dépôt d'une grande quantité de calcaire. Si la mer est peuplée d'animaux à coquilles, on a de fortes chances d'y retrouver des fossiles, ou seulement des fragments, si les coquilles ont été transportées par les courants et érodées.

Dans le Val Ferret, on trouve du calcaire fin, et du calcaire spathique. Le calcaire spathique contient de nombreuses facettes brillantes. Ce sont des fragments cristallins de coquilles d'oursins, d'étoiles et de lys de mer qui peuplaient les bords de mers (Marthaler, 2001, p. 38).

	<b>CALCAIRE FIN</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Réagit au HCl Se raye au couteau Cassure fine, homogène Arêtes coupantes	Sédimentaire Organogène	Marin Voisinage de côtes Eaux chaudes Présence de vie (photosynthèse).

	<b>CALCAIRE SPATHIQUE</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Réagit au HCl Se raye au couteau Cassure avec beaucoup de facettes brillantes	Sédimentaire Organogène	Marin Voisinage de côtes Eaux chaudes Présence d'oursins

Dans la zone Houillère, on trouve également de la dolomie. La dolomie est liée au calcaire, parce que c'est ce qu'elle était à l'origine : un sédiment calcaire, récemment formé, n'émergeant que de quelques centimètres, encore recouvert par la mer à marée haute. Dans des conditions tropicales, le climat est chaud et l'eau de mer s'évapore, laissant dans le sédiment des sels de magnésium qui vont remplacer ceux de calcium, et ainsi modifier les minéraux qui la composent (Burri & Marthaler, 1994, p. 58). Ainsi, si le calcaire est formé dans la mer, la dolomie, elle, provient du bord de la mer.

	<b>DOLOMIE</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Pas de réaction au HCl Se raye au couteau Ressemble au calcaire fin	Sédimentaire Organogène	Plaine côtière recouverte par la marée haute. Eaux chaudes, conditions tropicales Boues calcaires

Les évaporites sont d'autres roches sédimentaires originaires de mers fermées comme la mer morte. Lorsque le climat est tropical et chaud, l'eau s'évapore, laissant sur place les sels qu'elle contenait. La concentration en sels augmente progressivement, jusqu'à provoquer leur précipitation. En effet, lorsque 80% de l'eau s'est évaporée, le gypse précipite. (Burri & Marthaler, 1994, p. 71). C'est d'ailleurs ce même phénomène qui est à l'origine des mines de sels de Bex (Marthaler, 2001, pp. 23)


	<b>GYPSE</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Pas de réaction au HCl Se raye à l'ongle Goût salé	Sédimentaire Evaporite	Bord de mer (marais salant) Climat tropical (forte évaporation)

Lors de la balade des Lacs de Fenêtre, on traverse les roches déposées au fond de l'océan valaisan. On y trouve des roches détritiques : brèches et grès, notamment.

	<b>BRECHES</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Texture hétérogène, avec cailloux et graviers cimentés.	Sédimentaire Détritique Conglomérat	Éboulements, souvent lors de rifting.

Les brèches sont des roches typiques d'un épisode de rifting. Ce phénomène brise un continent en deux, ouvrant une large dépression, qui peut, si le phénomène a une durée suffisamment longue, devenir un océan. De part et d'autre de ce fossé, se trouvent des falaises, surplombant la mer, secouées fréquemment par des tremblements de terre. Les brèches ont été créées par l'écroulement de ces falaises. Les débris se sont accumulés dans la mer et ont été cimenté par le dépôt de sédiments plus fins comme le calcaire ou l'argile (Marthaler, 2001, pp. 23-24).

Le grès est une roche sédimentaire détritique très fréquente composée de sable cimenté. Cette roche indique donc une grande accumulation de sable. Cette accumulation peut être côtière, comme une plage, ou continentale, comme les sédiments de rivières, ou encore dans les bassins sous forme de flysch.

	<b>GRES</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Texture hétérogène, grossière, comme du sable cimenté	Sédimentaire Détritique	Plages de sable ou sédiments de rivières.


Dans la zone de l'ancien océan valaisan, on trouve souvent le grès sous forme de flysch. Le flysch est une alternance de grès et d'argile sur de grandes épaisseurs. Il témoigne de profondes fosses sous-marines secouées par de nombreux tremblements de terre. L'eau chargée de sédiments côtiers descend jusque dans les profondeurs de l'océan. A ces profondeurs, les dépôts de calcaires sont moins importants, en raison de la forte pression qui les dissout (Burri & Marthaler, 1994, p. 52). Arrivés au fond des fosses sous-marines, les sables ou les argiles emportés par les courants marins se retrouvent piégés, et ainsi se déposent et s'accumulent. La raison de ces dépôts en alternance est les tremblements de terre. En eau profonde, c'est principalement l'argile qui se dépose. Mais lors de tremblements de terre, des avalanches sous-marines transportent du sable beaucoup plus loin que d'ordinaire. On trouve donc dans ces sédiments une couche de grès pour chaque épisode de tremblement de terre (Burri & Marthaler, 1994, p. 48).




## Roches métamorphiques

La formation des roches métamorphiques comporte deux histoires : celle de leur formation, correspondant à la première histoire, et celle de leur transformation lors de la deuxième histoire. En effet, dans le Val Ferret, on trouve peu de grès ou d'argile sous leur forme originelle. La formation des Alpes, qui a été un immense carambolage de roches, les a plissés et écrasés. Au cœur des montagnes en formation, la température et la pression augmentent, chauffant et compressant les roches, qui se modifient. Comme la pâte à pain, qui une fois cuite change de texture et de solidité, les roches métamorphiques ont été cuites dans un gigantesque four à cailloux, sous les montagnes en formation. Les minéraux qui les composent se sont modifiés et réarrangés, créant de nouvelles roches.

Sous l'effet de la pression, les minéraux qui composent l'argile se sont tous alignés dans le même sens (Burri & Marthaler, 1994, pp. 80-84). Cela leur donne une structure feuilletée, qui parfois se casse et s'effrite facilement, comme un mille-feuille. On appelle cette nouvelle roche un schiste. Dans le Val Ferret, on trouve des schistes provenant, à l'origine, d'argile déposé au fond d'océans. On trouve également des schistes qui étaient anciennement des argiles provenant de plaines alluviales. La couleur des schistes varie en fonction des argiles qu'ils étaient. Par exemple, les schistes provenant de la plaine alluviale sont très sombres et noirs, parce qu'ils sont riches en composés carbonés. Les rivières qui ont déposé cet argile devaient se trouver dans des régions de forêts tropicales, et charrier beaucoup de déchets organiques partiellement décomposés ; les mêmes déchets de plantes qui ont formé les gisements charbons. On trouve d'ailleurs des lentilles de charbons dans cette zone.

	<b>SCHISTES</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Pas de réaction au HCl Structure en feuillet Brillant	Métamorphique Ex-sédimentaire détritique	Anciens bancs d'argiles, déposés au fond de mers ou de rivières, puis compressés

Dans la zone Houillère, on trouve également du quartzite. Cette roche était à l'origine du grès, riche en quartz (Burri & Marthaler, 1994, p. 82). Le grès a été transformé lorsqu'il a été chauffé et écrasé pendant la formation des montagnes. Il a alors ramolli, devenant une sorte de pâte malléable comme de la pâte à modeler, puis s'est recristallisé. Les minéraux se sont donc réarrangés pour former cette structure solide et résistante. On peut donc en déduire qu'à cet endroit, avant la formation des montagnes, se trouvait vraisemblablement une grande accumulation de sable comme, par exemple, une plage (Marthaler, 2001, p. 19).

	<b>QUARTZITE</b>	
<i>Critères de détermination</i>	<i>Classification</i>	<i>Milieu</i>
Pas de réaction au HCl Raye le verre	Métamorphique Ex-sédimentaire détritique	Ancien grès ramolli puis recristallisé

## **Mise dans le contexte : le terrain**

### *Methodologie*

Le terrain aura pour objectif de découvrir ces roches dans leur contexte. Les élèves vont comprendre qu'elles sont la matière première de nos montagnes. Ils vont habituer leur regard à voir, derrière un beau paysage, quelles sont les structures géologiques qui le composent. En pratiquant la détermination des roches sur le terrain, ils vont ancrer les connaissances qu'ils ont acquises en classe. Ils vont devoir se rappeler et mettre en lien les conditions dans lesquelles ces roches ont été formées. Sur cette base consolidée, nous allons ajouter deux aspects supplémentaires de la première histoire : l'époque de cette formation, et sa situation paléogéographique.

Il serait tentant d'en rester là pour l'instant, et de ne raconter les deux autres histoires, la formation des Alpes et les phénomènes d'érosion, que dans une troisième phase, en classe par exemple. Le terrain, de par sa complexité, ne va pas le permettre. Les paysages nous racontent les trois histoires en même temps, et il va donc falloir sélectionner des exemples qui permettent de ne raconter qu'une histoire à la fois. Ces exemples didactiques apparaissent au gré des itinéraires, et donc pas forcément dans l'ordre qui nous paraît pédagogiquement le plus adapté.

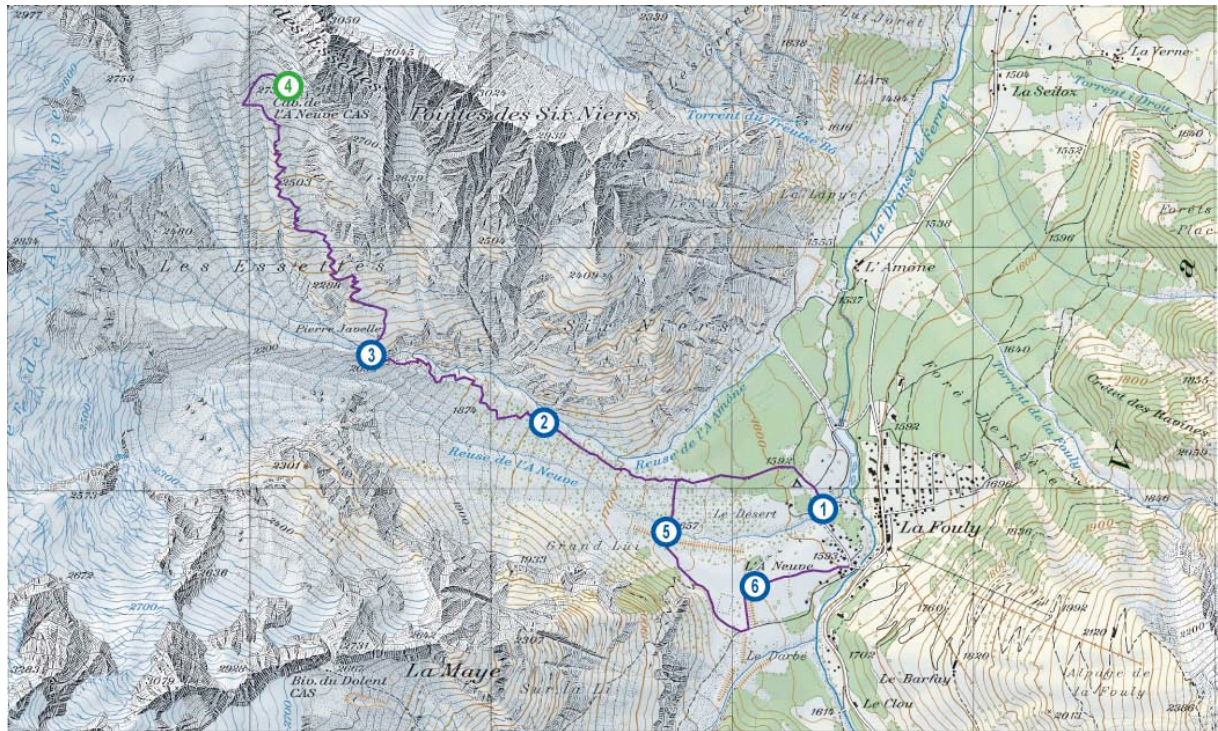
De manière à ce que les élèves puissent suivre ces pérégrinations, il va falloir, tout d'abord, leur expliquer que ces trois aspects sont mélangés et, ensuite, leur donner les outils nécessaires pour pouvoir directement associer une explication à l'« histoire » à laquelle elle se rapporte.

Pour chaque balade est associée une carte topographique, avec l'itinéraire, ainsi que les différents postes. Ces postes correspondent à des arrêts où seront données les explications de ce que l'on peut y voir. De manière à situer cette explication théorique dans le temps, et de bien différencier à laquelle des trois histoires elle se rapporte, un code de trois couleurs a été établi. La couleur verte correspond à la formation des roches, la couleur rouge à la formation des Alpes, et la couleur bleue aux phénomènes d'érosion récents.

Il arrive fréquemment, c'est inévitable, que les exemples choisis racontent plusieurs histoires en même temps. Pour un poste, les différentes explications seront donc données dans l'ordre des trois histoires ; il s'agira de maintenir une structure chronologique à nos explications, de manière à bien structurer ces notions.

Au départ de chaque balade, une petite introduction est proposée, dans le but d'informer les élèves sur les découvertes qu'ils vont faire sur le chemin. A la fin de chaque balade, est ajoutée une portion de carte géologique correspondant à l'itinéraire parcouru. Elle constitue un support idéal pour leur faire faire une récapitulation de ce qu'ils ont appris la journée.

## Cabane de l'A Neuve : De la glace au magma



La Vallée de l'A Neuve relate deux histoires : celle par laquelle l'aventure commence, c'est à dire la formation du massif du Mont-Blanc il y a 300 millions d'années, et celle par laquelle elle se termine, c'est-à-dire les glaciations et l'érosion de ces deux derniers millions d'années. En montant, nous allons étudier les glaciations, et les traces que les glaciers nous laissent, les moraines. Nous allons également aborder deux sources d'érosion : les éboulements et les rivières. Nous allons ensuite analyser les roches qui constituent ce massif et comprendre comment il a été formé. Pour terminer, lorsque nous reviendrons de la cabane, nous irons voir un bloc erratique.

① Ce n'est pas hasard que nous commençons par la vallée de l'A Neuve. Cette vallée a encore un glacier, et porte donc des traces bien visibles de son passage. Cela est important parce qu'à une époque, l'intégralité du Val Ferret était sous la glace. On peut donc y voir un peu partout des traces similaires. Parfois ces traces sont récentes, comme ici, parfois elles sont beaucoup plus vieilles et donc colonisées par la végétation. Dans tous les cas, il sera utile de pouvoir les reconnaître.

Commençons par observer la vallée (photo 1). Au premier plan, se dessine une belle forme de cuvette, avec des versants très escarpés. Les roches mises à nu sont



arrondies et lisses, comme si elles avaient été polies. A gauche, au pied des parois rocheuses, des éboulis se sont accumulés et forment des cônes, qui s'élargissent en allant vers le fond de la vallée. Au centre, on observe un arc de cercle bien visible, marquant la limite avec les zones colonisées par la végétation. Cette limite constitue l'arête supérieure de collines arrondies, constituées de débris de roches broyées que l'on appelle cordons morainiques. Au milieu de la vallée, un cours d'eau a ouvert un passage dans ces collines. Plus haut, apparaissent par endroits des restes du glacier. En arrière fond, la vallée s'ouvre et s'élargit en une forme de bassin, ou cirque glaciaire, délimité par un cercle de sommets montagneux recouverts de neige. Cette morphologie nous raconte l'histoire toute récente des Alpes : les glaciations.



**Photo 1 : La vallée de l'A Neuve**

La vallée a une forme de cuvette caractéristique d'une vallée creusée par un glacier. La fonte du glacier rend bien visible les cordons morainiques qu'il a créés. Ils forment un demi-cercle, marqué par la limite entre la zone colonisée par la végétation et celle encore sous forme de débris de roche. Le demi-cercle est coupé en deux par un cours d'eau glaciaire : la Reuse de l'A Neuve.

Depuis l'ère Primaire, la terre a connu de nombreux épisodes de glaciations. Une glaciation est une période pendant laquelle une région a été recouverte par les glaces. Celles qui vont nous intéresser ont eu lieu au Quaternaire, c'est-à-dire ces deux derniers millions d'années. La dernière grande glaciation, qu'on appelle le Würm, a eu lieu il y a entre 70'000 et 21'000 ans. Elle a laissé des traces dans toute la Suisse. En effet, il y a 40'000 ans, les Alpes, et le plateau Suisse étaient inondés

de glace. Le glacier du Rhône descendait jusqu'à la latitude de Lyon. Il y a 17'000 ans, ce glacier arrivait à Lausanne à la hauteur de St-François (Marthaler, 2001, pp. 77-78). Depuis, le climat s'est globalement réchauffé, avec quelques périodes de refroidissement : le Dryas, il y a 11'000 ans et la dernière, le petit âge glaciaire, de 1350 à 1850 après J.-C. (Reynard, 2005, pp.156-160). Dans le Val Ferret, nous allons trouver des traces datant du Dryas (en jaune sur les cartes géologiques) et des traces datant du petit âge glaciaire (en gris) (figure 1).

Un glacier se forme lors de refroidissement du climat. Les nombreuses précipitations sous forme de neige s'accumulent et se transforment en glace. Remplissant les vallées, elles deviennent de gigantesques glaciers. Les glaciers sont donc de grands indicateurs de ces variations planétaires du climat : lors de refroidissement, ils grandissent, et lors de réchauffement, ils fondent, et semblent reculer.

En montant en altitude, la température diminue. A partir d'une certaine altitude, il fait suffisamment froid toute l'année pour que la neige ne fonde plus, et elle se transforme progressivement en glace. On peut donc séparer un glacier en deux parties : en dessus de cette limite, parce que la glace s'y forme, et en dessous, parce qu'elle y fond. Il est important de comprendre qu'un glacier n'est pas immobile. C'est un système dynamique, ou la glace s'écoule lentement sur le flanc des montagnes : elle se forme au sommet du glacier, coule pendant de nombreuses années, puis fond une fois sous la limite de formation de la glace.

Ce qui fait avancer ou reculer un glacier dépend du bilan entre la fonte et la formation de glace : si la glace se forme plus qu'elle ne fond, le glacier avance ; si la glace fond autant qu'elle ne se forme, le glacier stagne ; finalement, si la glace fond plus qu'elle ne se forme, le glacier recule (Veyret & Vigneau, 2002, p. 258). Sur de longues périodes, un glacier peut avancer pendant plusieurs années, puis stagner, puis reculer, puis avancer à nouveau, etc... Par exemple, le glacier de l'A Neuve était beaucoup plus avancé il y a 40 ans. Alors qu'au début du siècle, il se trouvait à peu près au niveau actuel (Discussion avec Mme Martine Gabioud, gardienne de la cabane). Le glacier de l'A Neuve étant un petit glacier, il est très sensible aux variations du climat. Actuellement, avec le réchauffement climatique, on observe un recul important et généralisé des glaciers (UNlfr & UNlzh, Opération glacier). On parle même de leur disparition d'ici à une cinquantaine d'année. Le glacier de l'A Neuve ne survivra sûrement pas aussi longtemps.

On a vu qu'un glacier peut stagner, et qu'il n'est pas inerte : lorsqu'il stagne de la glace se forme en son sommet, en même temps que la glace de la langue fond. Cela crée un mouvement de la glace de haut en bas. Un glacier est donc en réalité constamment en train de couler le long de la pente : on dit qu'il flue.

Le fluage des glaciers n'est pas sans conséquences sur la roche. La glace, et l'eau, mélangée à du sable, qui coule sous la glace, râpent et polissent la roche, emportant

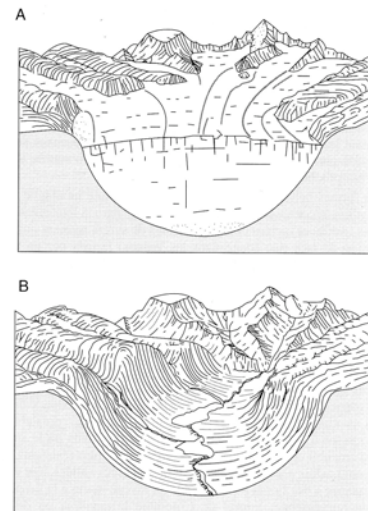
de nombreux débris. En cas de fissure dans la roche, les glaciers peuvent ouvrir ces fissures en faisant pressions sur la roche. Les glaciers sont donc de puissants facteurs d'érosions. Ils ne forment pas des vallées, mais s'y installent et les creusent, les élargissent (Veyret & Vigneau, 2002, pp. 261-262). Ils leur donnent cette forme de cuvette tout à fait typique (figure 1). Les roches gardent cet aspect poli et arrondi.

En effet, les Alpes étaient bien différentes, il y a deux millions d'années. Elles ont été érodées par les glaciers : avant les glaciations, se trouvaient sur nos têtes d'énormes épaisseurs de roches. C'est grâce aux glaciations du quaternaire que le sol se trouve au niveau où il est aujourd'hui (Marthaler, 2001, p. 76). Observez à nouveau la vallée de l'A Neuve, et imaginez-la, il y a 20 mille ans, remplie de glace, en la comparant à la figure 1.

Les débris emportés puis déposés par le glacier vont s'accumuler et former des moraines. Un glacier va déposer différentes moraines : la moraine de fond, située sous le glacier, les moraines latérales, sur les côtés du glacier, et la moraine frontale, située devant la langue. Lorsque le glacier stagne, les débris s'accumulent sur les bords du glacier, formant de véritables collines.

Lorsque le glacier se retire, ces cordons morainiques témoignent de l'ancien emplacement du glacier (Veyret & Vigneau, 2002, p. 263). Sur les cartes, ils sont signalées par des alignements de points rouges (figure 2). En regardant la vallée, imaginons là il y a 150 ans, avec un glacier beaucoup plus épais, qui descend jusqu'à l'emplacement des moraines. Visualisons cette glace qui avance, râpe les roches et emporte les débris.

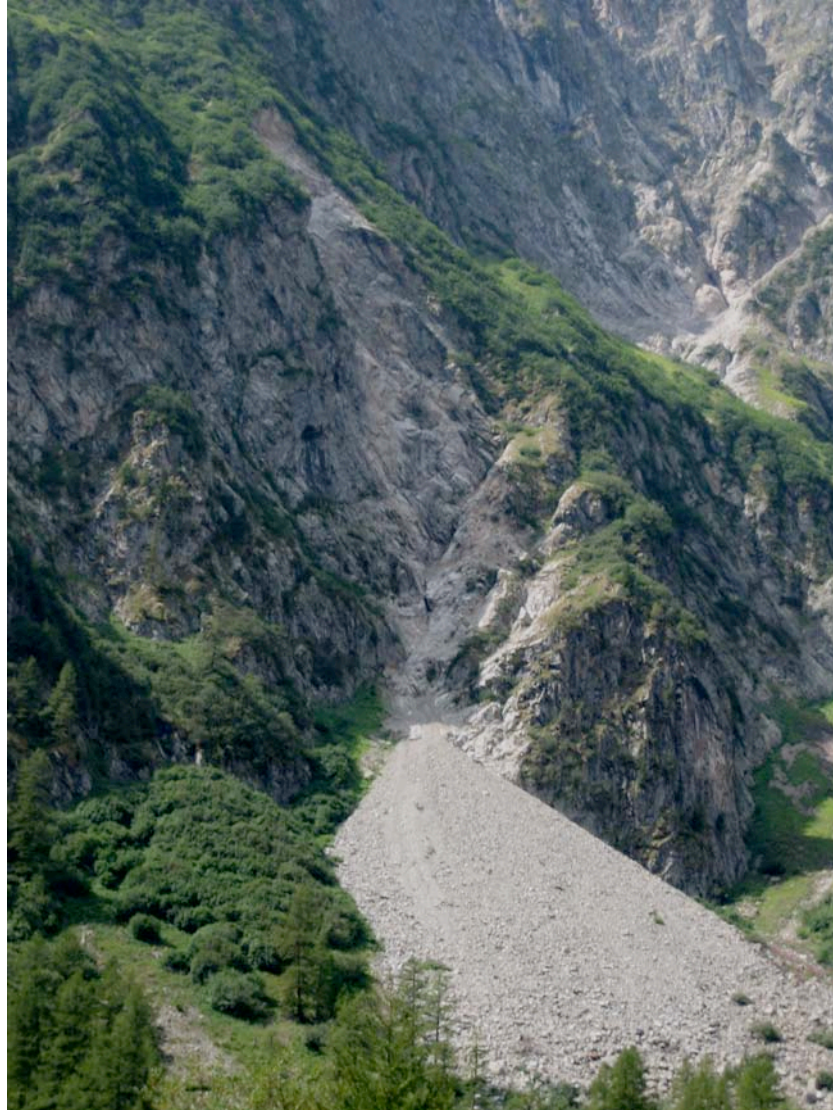
2 Montons maintenant pour mieux observer les éboulements que nous avons remarqués sur le versant gauche de la vallée (photo 2). Au pied des escarpements rocheux, les amas de roches brisées sont accumulées en forme de cône. En dessus, on distingue qu'une partie de la roche semble plus claire. Au sommet de cette zone, se trouve une limite nette avec la végétation, en forme d'arc de cercle. Il apparaît assez clairement que cette zone plus claire est de la roche qui ne se trouve à l'air libre que depuis peu.



**Figure 1 : Les glaciers creusent et élargissent les vallées**

A : La vallée est complètement englacée B : « les formes après le départ des glaces » (Tiré de Veyret & Vigneau, 2002, p. 254).





**Photo 2: Eboulement sur un escarpement de granite dans la vallée de l'A Neuve**

Au sommet, on distingue une structure en arc de cercle dans la végétation, découvrant une roche plus claire. C'est à ce niveau que la roche s'est détachée. En bas, on observe un cône de roches brisées, typique d'un éboulement.

En se retirant, les glaciers ont laissé des versants de vallées très escarpés. Les roches, qui ne sont plus soutenues par la glace, peuvent devenir instables. Des fissures, déjà présentes dans la roche, sont ouvertes par le gel qui les écarte. Lorsque la glace fond, comme il a vraisemblablement été le cas ici, des blocs de roche se détachent, et s'écrasent en contrebas (Marthaler, 2001, pp. 80-83). On reconnaît un éboulement à la grande cicatrice à son sommet, dans la zone où la roche s'est détachée, et à un amoncellement de débris à son pied (Veyret & Vigneau, 2002, pp. 261-262). Sur les cartes, les amas d'éboulis sont représentés par des zones de points bleus (figure 2). Regardez à nouveau le versant face à nous. Visualisez ce gros bloc qui se détache, et chute. Dans un fracas assourdissant, il roule et rebondit contre la paroi, et se brise en mille morceaux, dans un épais nuage



de poussière. Le silence se fait, et la poussière se disperse, quelques cailloux chutent encore et viennent s'ajouter sur le cône d'éboulis.

**3** Le chemin de la cabane croise une rivière glaciaire, qui nous permet de clairement observer l'érosion par les cours d'eau (photo 3). Le ruisseau est encaissé dans un relief en forme de V. Au fond du V, il semble glisser dans une sorte de toboggan naturel, avec des virages creusés dans la roche.



**Photo 3 : Cours d'eau glaciaire érodant le granite.**

Le cours d'eau est enfoncé dans une structure en V, qu'il a lui-même créé en érodant lentement la roche, grâce aux sables et débris qu'il emporte. Les méandres sont également sculptés dans la roche.

Lorsque l'écoulement est rapide et que l'eau est chargée de sables et de cailloux, ces derniers râpent et creusent la roche. La rivière va donc progressivement s'y enfoncer et former cette structure typique en V. Les sommets du V, indiquent où se trouvait la roche avant qu'elle ne se fasse éroder par l'eau. Quand l'écoulement est turbulent, les cailloux sont emportés dans des tourbillons et certaines zones sont plus érodées que d'autres. Dans le méandre d'un ruisseau, la vitesse est plus rapide dans l'extérieur du virage que dans l'intérieur. L'érosion est donc plus importante vers l'extérieur, et cela sculpte le méandre dans la roche (Reynard, 2005, p.184).

Observez à nouveau le cours d'eau. Remplissez le V de roche, et imaginez la situation avant que le cours d'eau n'ait creusé son lit. Maintenant, des centaines

d'années passant, érode petit à petit la roche, et visualisez ce V qui se dessine lentement. Un caillou tombe sur le bord du ruisseau, et modifie son cours. Le virage ainsi créé se creuse doucement dans la roche.

④ Ces phénomènes, récents au niveau géologique, ayant été abordés, nous pouvons maintenant commencer à attirer l'attention des élèves sur l'histoire la plus ancienne, celle des roches. Observons les sommets qui nous entourent, en nous intéressant plus particulièrement à la roche (photo 4). Les pentes sont raides et le relief est bien marqué. Le massif montagneux semble composé d'une seule roche, solide et compacte, comme en témoigne la cabane perchée sur son rocher. Elle est découpée en gros blocs anguleux et, par endroit, de grandes failles séparent deux amas rocheux. En inspectant la roche de plus près, on remarque qu'elle est composée de cristaux bien visibles, translucides, blancs, et noirs : du quartz, du feldspath et du mica. A l'aide des connaissances sur la détermination des roches vues en classe, les élèves devraient être en mesure de reconnaître du granite. Ils devraient également pouvoir deviner son origine ignée : le granite se forme profondément dans la croûte terrestre, lorsque des remontées de magma refroidissent très lentement, pendant environ un million d'année.



**Photo 4 : La cabane de l'A Neuve.**

La cabane, posée sur un verrou glaciaire, est entourée d'un relief de roches granitiques. Les montagnes sont de formes pyramidales. La roche semble découpée en gros blocs anguleux, avec, comme on le voit à droite derrière la cabane, de grandes failles.

Arrivés à la cabane, nous allons entamer un voyage dans le temps, pour remonter à l'époque où ce granite s'est formé. Reculons donc de plus de 300 millions d'années jusqu'au tout début de l'ère Primaire. La terre était alors bien différente d'aujourd'hui. Il n'y avait pas alors de nombreux continents répartis sur la surface du globe, mais un seul continent : la Pangée (Marthaler, 2001, pp.19-21). Sur ce continent, une gigantesque chaîne de montagne, appelée la chaîne hercynienne, était en train de se former. Au cœur de ces montagnes, dans la croûte terrestre en train de se plisser, des remontées de magmas se sont fait emprisonner des kilomètres sous la surface. Elles sont restées là pendant un million d'année, et ont lentement refroidies pour former un gigantesque gisement de granite. Si nous construisions une machine à voyager dans le temps dans la cabane de l'A Neuve et reculions de 300 millions d'années, nous nous trouverions sur le continent de la Pangée, profondément enfouis dans la croûte terrestre, au cœur de la chaîne hercynienne. Cette grosse structure de granite est représentée en rose sur la carte géologique (figure 2).

Ce granite porte les marques des gigantesques pressions qu'il a subies lors de la formation des Alpes. En étant écrasé et plié, le granite s'est cassé, comme un pare-brise qui, sous le choc, se fragmente en petits cubes. La pression a également créé de grandes failles, où le granite a cédé et s'est fendu sur de grandes distances. C'est ainsi que cette roche a acquis la morphologie que nous avons observée. Finalement, ce massif granitique a subi l'érosion glaciaire, l'érosion par les cours d'eaux et des éboulements. Les failles, véritables faiblesses de la roche, ont rendu l'érosion plus rapide, en rendant la roche plus sensible aux glaciers et éboulements (Burri, 1987, p. 56). C'est donc la tectonique des plaques, puis l'érosion qui ont fini par mettre à jour ce granite, qui se trouvait un jour des centaines de kilomètres sous la surface.

5 Au terme de la balade de retour, il est intéressant de faire un arrêt au bord de la Reuse de l'A Neuve. Observons le lit de ce cours d'eau glaciaire (photo 5). La largeur du lit est séparée en deux parties. Celle où il y a de l'eau, et celle où il n'y en a pas. Sous l'eau, on peut observer du sable et des cailloux de petite taille. Sur les bords de l'eau, se trouvent des cailloux de plus grande taille. Ces cailloux ont été polis et érodés par le cours d'eau, et dévoilent ainsi leur nature granitique.

Cette rivière et ses cailloux illustrent un nouvel aspect de l'érosion des montagnes. Les rivières érodent, mais aussi transportent, puis déposent les roches qui se sont détachées. Ces cailloux faisaient, à un moment donné, partie de la montagne. La rivière va probablement continuer à les éroder, les faisant diminuer de taille. Peut-être un jour seront-ils devenu du sable, qui se redéposera et formera de nouvelles roches qui feront à nouveau partie d'une autre montagne ?





**Photo 5 : La Reuse de l'A Neuve**

Le lit du cours d'eau comporte deux zones distinctes : celle où il y a de l'eau, et celle où il n'y en a pas. On observe de nombreux cailloux en granite, érodés et polis. Les cailloux transportés par le ruisseau sont déposés lorsque la pente et le débit diminuent. La zone de rochers sans végétation montre les variations de débit de ce cours d'eau. Lors de fortes précipitations ou de la fonte des neiges, toute la largeur peut se remplir.

En plein été, par beau temps, le torrent est calme et ne transporte que des sables et de petites particules. Lors de la fonte des neiges ou de fortes précipitations, le cours d'eau devient beaucoup plus important. Il peut remplir alors toute la zone sans végétation, et sa force est beaucoup plus grande. Il transporte alors des roches de beaucoup plus grande taille et est aussi beaucoup plus dangereux.

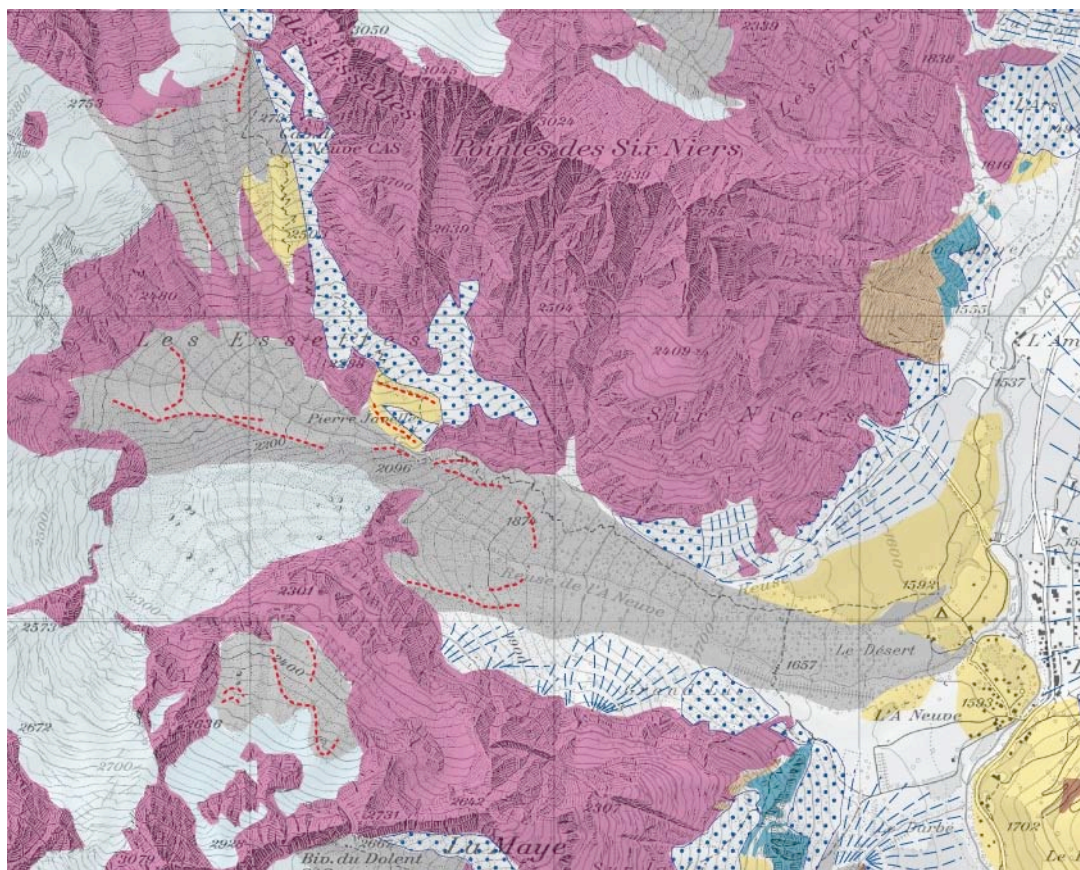
**6** Avant de pouvoir prendre un repos bien mérité, un dernier arrêt s'impose. Au fond de la vallée, en plein milieu d'un pré se trouve un gros rocher (photo 6). Observons bien ce rocher et les alentours. Les élèves se poseront-ils la question de l'emplacement particulier de ce rocher ? Trouveront-ils comment il est arrivé là ? Ce gros bloc de roche détonne dans le paysage, posé ainsi sur la plaine. Ce rocher est un bloc erratique. Les blocs erratiques sont des morceaux de roches détachés des montagnes, par les mêmes phénomènes que nous avons discutés lors des éboulements. Ils étaient à un moment donné sur le glacier qui, en fluant, les a transportés et déposés plus loin lors de la fonte. Ce rocher faisait donc partie un jour du massif du Mont-Blanc.



**Photo 6 : Bloc erratique dit Pierre-du-Loup**

Ce rocher est complètement isolé du massif du Mont-Blanc. Il a été transporté par le glacier qui l'a déposé là lors de sa fonte. Il témoigne de la présence d'un glacier dans cette vallée, au Dryas, il y a 11 mille ans. Peut-être se trouvait-il au sommet d'une des montagnes en arrière-fond ?

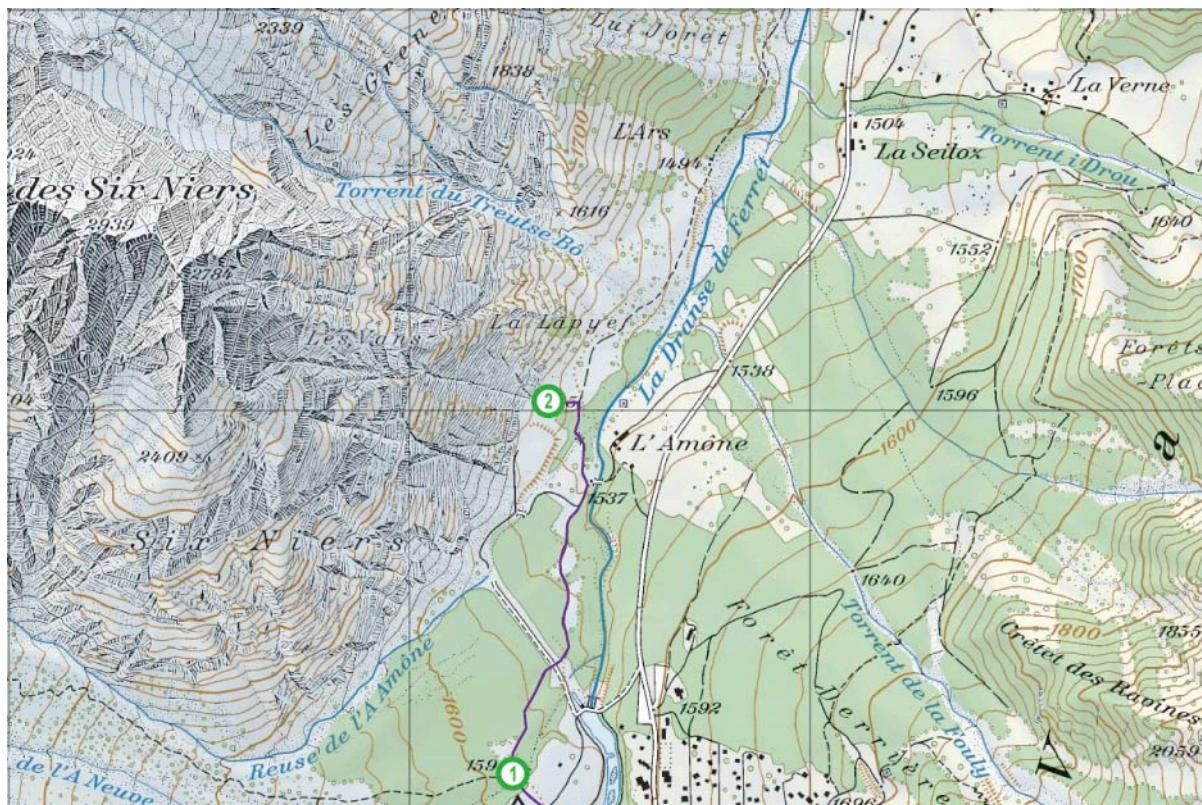




**Figure 2 : Carte géologique de la Vallée de l'A Neuve et de la Dalle de l'Amône:**

Légende selon les origines paléogéographiques :  : Ancien magma de chaîne hercynienne (Primaire) ;  : Sédiments des bords de Thétys (début Jurassique) ;  : Sédiments de Thétys (Jurassique). Légende du quaternaire :  : moraines anciennes (Dryas) ;  : moraines récentes ;  : cordon morainique ;  : éboulis ;  : cônes de déjection (voir légende complète tableaux 2 et 3)

## Dalle de l'Amône : Baignade avec les oursins



Couchée sur le massif du Mont-Blanc, la Dalle de l'Amône est une impressionnante structure géologique, à l'entrée du plateau de La Fouly (photo 7). Elle représente une très bonne occasion pour exercer le regard des élèves, et les aider à lire dans le paysage. Cela permet également de faire découvrir la notion de « contact » en géologie.

① La première étape consiste donc à tester le regard des élèves. Observons donc le paysage (photo 7) : ont-ils remarqué cette dalle ? Pensent-ils qu'elle est constituée des mêmes roches que celles que nous avons rencontrées dans la vallée de l'A Neuve ? Sa morphologie nous donne en effet un certain nombre d'indices. Le massif granitique a une morphologie bombée et arrondie, avec une surface irrégulière. Sa couleur est gris foncé, parsemée de vert clair, en raison de la végétation qui s'y est installée. La dalle est plate et lisse. Elle est gris clair à beige, avec des traces couleur rouille. Avec une vision de profil (photo 7, à droite), elle ressemble à une lentille que l'on aurait collée à la montagne. De plus, nous avons ainsi une vue en coupe, et la dalle nous révèle une structure en couche.





**Photo 7 : La Dalle de l'Amône**

Contrastant avec le massif granitique du Mont-Blanc, cette épaisseur de calcaire semble couchée sur la montagne. Vue de profil, on y distingue les couches typiques d'une roche sédimentaire.

② L'étape suivante consiste à aller sur place pour observer la roche de plus près et tenter de la déterminer. Laissons investiguer nos élèves : ils doivent observer où cette dalle commence et où elle se termine, et trouver deux types de roche constituant la dalle, ainsi que où s'arrête une roche et où commence l'autre. Cette interface entre deux roches différentes s'appelle un contact. En effet, la dalle est composée de calcaire spathique et, posée sur la roche grise et lisse de la dalle, se trouve une nouvelle couche de calcaire (photo 8). Cette fois, nous avons affaire à du calcaire fin (figure 2).

Les élèves auront donc fourni la réponse à la question que nous nous posions : cette dalle n'est pas composée de granite, mais de calcaire. La nature de la roche nous renseigne sur la manière dont la roche s'est formée : l'occasion de faire un rappel sur les notions vues en cours. Le calcaire se forme en général près des côtes, dans des eaux chaudes et foisonnantes de vie. Le calcaire spathique nous indique que la région dans laquelle il a été formé devait être peuplée d'oursins et d'étoiles de mer. Ce sont des fragments de leurs coquilles, insérées dans le calcaire, qui lui donnent ces facettes brillantes. Le calcaire est une roche sédimentaire : ce sont des sédiments qui se déposent, puis se cimentent pour former une roche. Ces dépôts de sédiments ne sont jamais continus. Ils subissent des fluctuations, et la nature ou l'intensité du dépôt peut varier. C'est ce qui explique la structure en couches que nous avons observée. L'épaisseur et les variations entre chaque couche est propre à chaque roche sédimentaire.





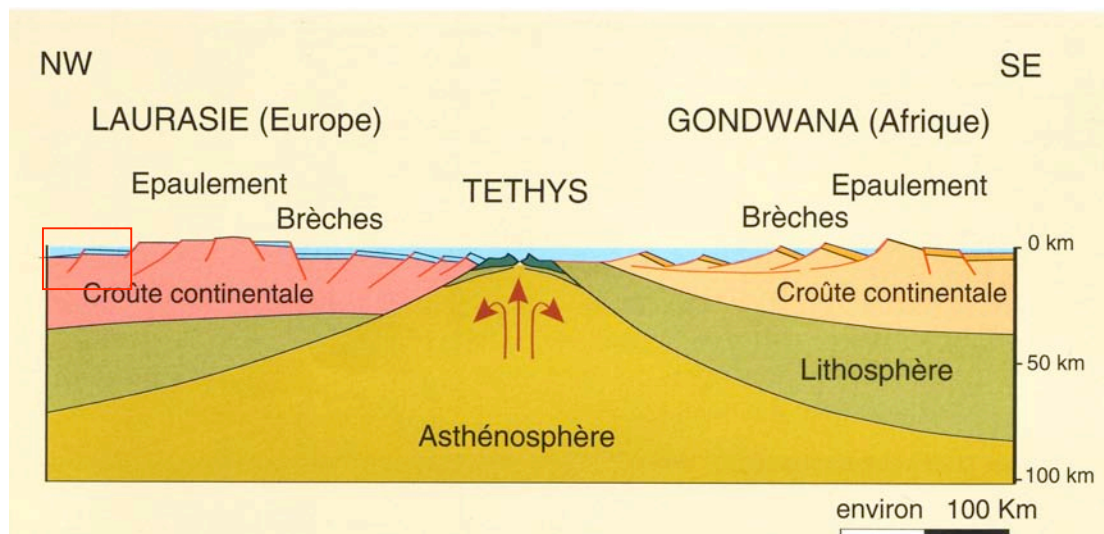
**Photo 8 : Contact entre calcaire spathique et calcaire fin au fond de la Dalle de l'Amône.**

En gris, sur la gauche, la dalle de calcaire spathique ; en beige, sur la droite, le calcaire fin. Ce dernier a une structure en couche bien visible.

En venant de la vallée de l'A Neuve à la Dalle de l'Amône, nous sommes donc sorti des montagnes pour nous retrouver au bord de la mer ! En effet, il y a 250 millions d'années un océan a commencé à s'ouvrir au milieu du continent unique, la Pangée. Un phénomène de rifting a déchiré le continent en deux, l'ouvrant d'Est en Ouest. (qu'est-ce que le rifting ? les élèves se rappellent-ils du cours sur la tectonique des plaques ? Excellent moyen de rafraîchir leur mémoire !). Le continent séparé en deux est alors devenu au Nord, la Laurasie, et au Sud, le Gondwana. Entre les deux, l'eau a envahi la dépression qui s'est formée, et un nouvel océan est né: Téthys (figure 3). La croûte continentale laurasienne s'est enfoncée et a été envahie par les eaux de Téthys. La région où nous nous trouvons (voir l'encadré rouge de la figure 3) était donc un bras de cet océan, formant une mer continentale. Cette mer est devenue de plus en plus profonde, les millions d'années passant.

Il est important de bien faire la différence entre une mer et un océan, et ce sont les roches au fond de l'eau qui nous permettent de faire la différence. Lors d'un épisode de rifting, la lave remonte du manteau et refroidit, formant les roches du plancher océanique. De part et d'autre de ces fonds océaniques, les bords des continents

s'affaissent et sont envahis par l'eau de mer. Les bords d'océan à plancher continentaux sont une mer.



**Figure 3 : Ouverture de la Téthys**

La Pangée est séparée en deux par un phénomène de rifting. L'eau envahit les continents et permet ainsi le dépôt de sédiments (en bleu clair). (Tiré de : Marthaler, 2001, p. 25)

Pendant les 50 premiers millions d'années, au Trias, l'océan est resté très peu profond. La région du val Ferret devait être constituée de mers fermées et les dépôts de cette époque sont souvent des évaporites. Ce n'est qu'à partir du Jurassique, il y a 200 millions d'années, que la profondeur de l'océan est devenue suffisante pour que, dans ses bords, il y ait eu dépôt généralisé de calcaire (Marthaler, 2001). Si l'on reprend notre machine à voyager dans le temps, nous serions à présent dans cette mer téthysienne du milieu du Jurassique le Dogger, colorée et vivante, pleine d'oursin et d'étoiles de mer.

A la fin du Jurassique, au Malm, le niveau de l'eau est encore monté, et la mer est devenue plus profonde. « Les dépôts calcaires se généralisent et l'influence des fleuves et des rivières côtières s'éloigne. La Téthys est devenue large, chaude et limpide ; elle dépose de grandes quantités de carbonate de calcium : de beaux calcaires purs précipitent en pleine mer (...) » (Marthaler, 2001, pp. 34-45). C'est ainsi qu'une nouvelle couche de calcaire fin s'est déposée sur celle de calcaire spathique. Les conditions de profondeur, de température et d'éloignement des côtes étant différentes, les roches formées le sont également.

Il est important de visualiser que, lorsque ces sédiments ont été déposés, le support, donc la croûte continentale de granite, devait vraisemblablement se trouver à l'horizontale. Lors de la formation des montagnes, les roches se sont plissées et soulevées. Les sédiments, mais aussi la croûte continentale sur laquelle ils sont déposés, qui étaient alors à plat, se retrouvent maintenant pratiquement à la verticale.

Observons maintenant, quelques détails : sur la gauche de la dalle, la pente est colorée de rouge (photo 9, à droite). Cela témoigne de la richesse en fer de ces roches. Anciennement une mine exploitait ce filon.



**Photo 9 : Détails de dépôt colorés à gauche de la Dalle de l'Amône**

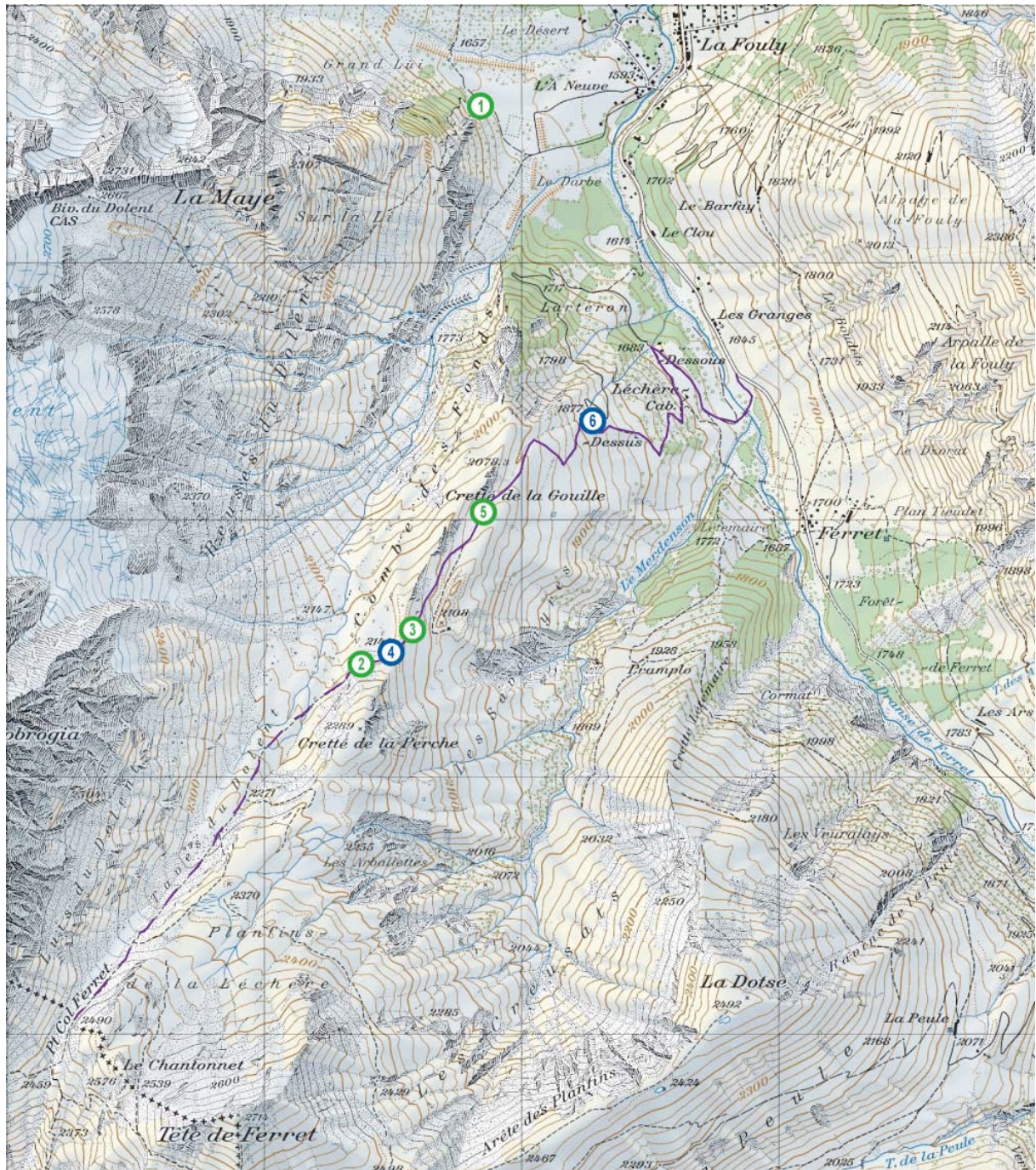
A gauche : en jaune, les cristaux de calcites témoignent de la nature calcaire des roches. A droite : le fer oxydé colore en rouge le versant. Il témoigne de la richesse en fer des roches. Ces clichés ont été pris en grimpant au sommet des éboulis à gauche de la dalle. Il est fortement déconseillé d'y aller avec des élèves, en raison de la forte dénivellation et du caractère instable des éboulis.

Ce fer était dissous dans les eaux de l'océan Téthysien. En présence d'oxygène, ce fer a précipité et s'est déposé au fond de la mer. Cet oxygène provenait des organismes photosynthétiques. La vie a donc contribué, à travers la photosynthèse, à déposer du calcaire et du fer. La diminution de la quantité de  $\text{CO}_2$  entraîne le dépôt de calcaire, et la production d' $\text{O}_2$  de fer.

On peut également apercevoir par endroits des cristaux de calcite (photo 9, à gauche). C'est l'eau, enrichie en minéraux de calcite en s'infiltrant dans les roches calcaire, qui permet cette cristallisation lors de son retour à l'air libre.



## Petit col Ferret : Balade au fond de l'océan Téthys.



Nous avons vu que la Dalle de l'Amône était un morceau de fond marin posé sur un énorme bloc de granite. Mais cette dalle semble à part dans le paysage, et l'on peut se demander quelle est l'origine des roches qui se trouvent plus au Sud, dans la Combe des Fonds. Sont-elles également calcaires ? Sont-elles composées de granite, comme dans la vallée de l'A Neuve ? Ou leur composition est-elle différente supposant une nouvelle origine ? Le but de cette balade va être de répondre à cette



question. De plus nous aborderons l'érosion par le ruissellement de l'eau et les cours d'eau, ainsi que la production de cônes d'alluvions.

1 Avant de commencer la balade, nous pouvons répondre facilement à la première question : allons au pied du mur, de l'autre côté de la vallée de l'A Neuve par rapport à la Dalle de l'Amône, et déterminons quelle est sa composition rocheuse. Un test au HCl nous indique rapidement que cette roche est calcaire. Nous sommes en présence de calcaire fin, qui a une structure feuilletée. Vue depuis le Nord, la paroi rocheuse de la Combe des Fonds montre clairement sa structure en couches (Figure 10). Il faut toutefois remarquer que, comme dans le cas de la Dalle de l'Amône, ces couches sont inclinées, avec le même angle que la dalle.



**Photo 10 : La paroi rocheuse de la Combe des Fonds vue depuis la vallée de l'A Neuve.**

Vue sous cet angle, la paroi dévoile sa structure en couche. En effet, Le calcaire est une roche sédimentaire et se dépose en couche. Cette illustration montre l'inclinaison acquise lors de la deuxième histoire.

Cette paroi est-elle liée au calcaire fin que nous avons trouvé sur la Dalle de l'Amône ? Gardons cette question en tête, pour avoir la réponse, il va nous falloir monter au sommet de la Combe des Fonds.

2 Arrivé au sommet de la Combe des Fonds, nous avons une vision du paysage qui nous permet d'avoir dans le même champ de vision le granite du Massif du Mont-Blanc, la paroi rocheuse de la Combe des Fonds et la Dalle de l'Amône (photo 11) .

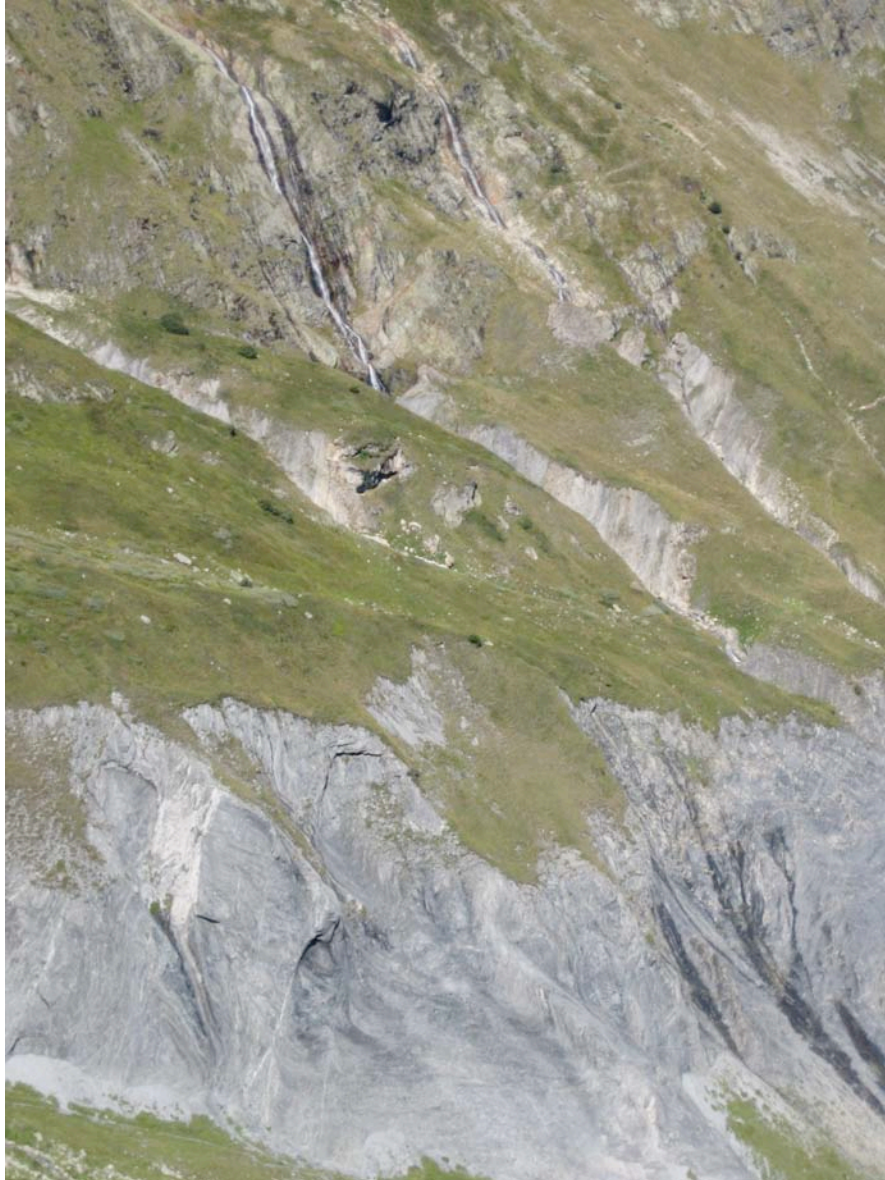


**Photo 11: Vue d'ensemble des falaises de calcaire de la Combe des Fonds et de la Dalle de l'Amône, couchées sur le Massif granitique du Mont-Blanc.**

Ce panorama entraîne la lecture des paysages : la morphologie du granite et du calcaire sont très différentes. On peut observer que l'érosion diffère également sur granite et sur calcaire (voir détail photo 12), et utiliser cette information comme aide pour visualiser le contact entre ces deux structures. Voir figure 4 .

En observant ce paysage, aiguisons notre œil de géologue : arrivez-vous à faire la différence entre les roches granitiques et les roches calcaires ? Leur morphologie est en effet très différente. La couche de calcaire est presque lisse, et sa pente continue. Tandis que le granite a une surface anguleuse, et comporte des renflements. De plus, les cours d'eau nous donnent un indice important : arrivez-vous à voir lequel ? (photo 12). Les cours d'eau semblent couler sur le granite et, à cette distance, on ne voit pas clairement de traces d'érosion. Le calcaire est lui, au contraire, très affecté par le passage du cours d'eau, qui creuse profondément dans la roche.

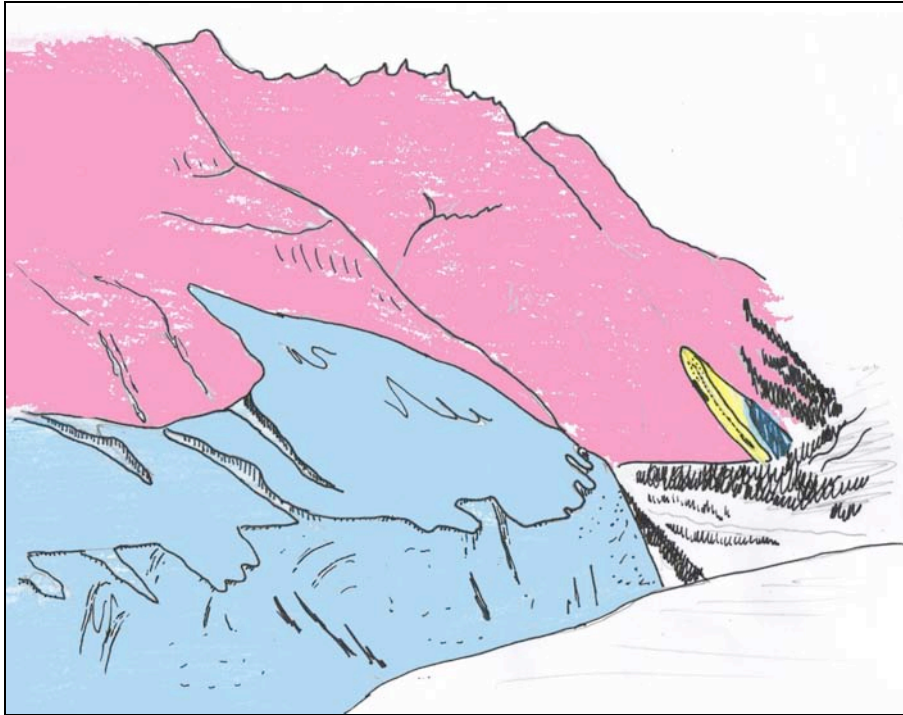




**Photo 12 : Cours d'eau traversant le contact entre granite et calcaire**

Le cours d'eau coule sur le granite et creuse dans le calcaire. Le granite est érodé par le frottement avec les particules transportées par l'eau. Le calcaire se dissout en plus lentement dans l'eau, rendant cette érosion beaucoup plus rapide.

Maintenant que vous avez dans l'œil la nature des roches de ce paysage, pensez-vous qu'il y ait un lien entre cette paroi rocheuse que nous avons sous les yeux, et le calcaire fin que nous avons trouvé sur la Dalle de l'Amône ? Nous savons que dans les deux cas nous avons affaire à la même roche, du calcaire fin, et nous voyons maintenant que, géographiquement, elle forme une bande continue, partant du Petit-col Ferret, jusqu'à la Dalle de l'Amône (figure 5). Les cartes géologiques montrent que ce contact se prolonge même beaucoup plus loin (Atlas géologique de la Suisse, feuilles Orsières et Grand-St-Bernard).



**Figure 4 : Schéma réalisé à partir de la photo 11 indiquant la nature des roches dans le paysage.**

Avec en rose, le granite du Massif du Mont-Blanc ; en jaune, le calcaire spathique de la Dalle de l'Amône ; en bleu, le calcaire fin de la Combe des Fonds (d'après l'Atlas Géologique de la Suisse, feuilles Orsières et Grand-St-Bernard). Les couleurs se retrouvent dans la carte géologique (figure 5).

Nous pouvons donc affirmer que oui, ces roches ont la même origine. Ce calcaire a été formé il y a 160 à 150 millions d'années, au Jurassique, plus précisément pendant le Malm. La Téthys y était alors bien ouverte et une partie de la croûte continentale y était immergée. Dans ces zones immergées, les eaux étaient chaudes, le climat étant tropical, et de grandes quantités de calcaire se déposaient (Marthaler, 2001, pp. 33-34). La figure 4 nous montre donc en rose, le granite formé il y a 300 millions d'années au cœur des montagnes de la Pangée. En Jaune, une première couche de calcaire spathique, déposée il y a 200 millions d'années sur ce granite, alors immergé dans une mer relativement peu profonde, peuplée d'oursins et d'étoiles de mer. En bleu, une nouvelle couche de calcaire fin, déposée il y a 150 millions d'années sur la couche de calcaire spathique, recouverte d'une mer de plus en plus profonde.

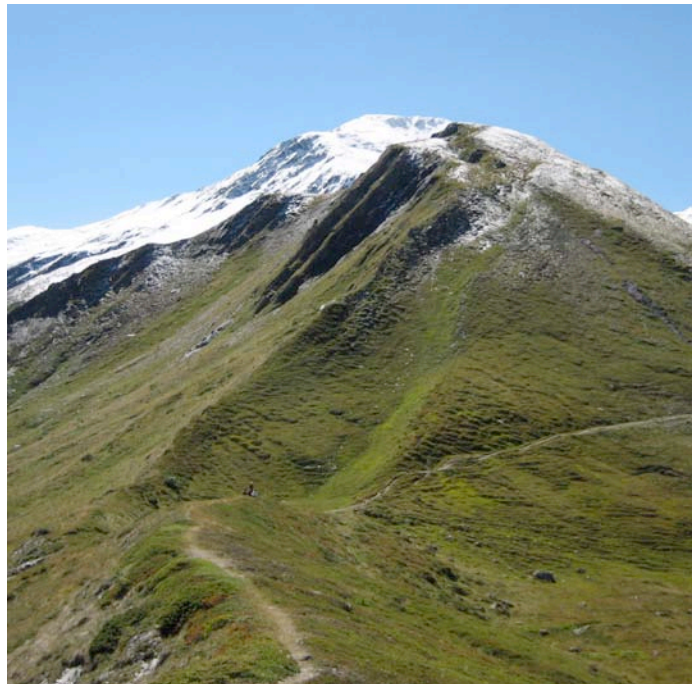
Comme nous l'avons déjà abordé pour la Dalle de l'Amône, il faut bien visualiser que ces anciens fonds marins, ainsi que leur support de granite, ont été soulevés et renversés. Ils ont passé d'une position horizontale à une position proche de la verticale. Ce bouleversement est expliqué par la « deuxième histoire », c'est-à-dire la formation des Alpes.

Ces roches sont érodées par les cours d'eau glaciaire, et ce différemment selon leur nature. En effet, les minéraux composant le granite ne se dissolvent pas dans l'eau.



Ils sont arrachés très lentement par le frottement de l'eau, en particulier des particules qui y sont transportées. Le calcaire subit également cette érosion mécanique, mais, en plus, ses minéraux se dissolvent dans l'eau. Lorsque nous avons abordé la formation du calcaire, nous avons vu qu'il se formait par précipitation de substances dissoutes dans l'eau. Nous assistons ici au résultat du phénomène inverse. Le calcaire a tendance à se dissoudre dans une eau froide et riche en CO<sub>2</sub>. Le calcaire s'en retourne donc dans l'eau. Un jour, peut être précipitera-t-il à nouveau et, ainsi, fera partie d'une nouvelle roche ?

**3** Regardons maintenant vers le Sud. Les roches sur lesquelles nous sommes sont clairement des roches sédimentaires, par leur structure en couche. Nous observons que cette inclinaison touche également les roches situées sous le chemin menant au col (photo 13). La pente de l'inclinaison est, une fois de plus, la même que celle de la Dalle de l'Amône.



**Photo 13 : Inclinaison des couches sédimentaires**

**4** La Combe des Fonds est également le lieu d'un retrait glaciaire récent. On peut encore apercevoir, bien au-dessus de la paroi de calcaire, le glacier du Dolent. Sur toute la pente jusqu'à la paroi, la roche a été polie et arrondie par le passage du glacier. Au sommet de la falaise (photo 14), la moraine qui a été déposée récemment par le glacier se remarque par rapport à la roche en place et aux anciennes moraines du Dryas (figure 5).

La moraine récente s'apparente à un tas de graviers de différentes tailles laissés là par le glacier qui s'est retiré. La végétation commence progressivement à la coloniser, et on peut la comparer à l'ancienne moraine, sur la gauche, où la végétation s'est déjà installée depuis longtemps. Dans quelques centaines d'années, les deux moraines auront certainement le même aspect. Sur la moraine, de nombreux rochers sont clairement visibles : ce sont des blocs erratiques. Posés ainsi sur de la moraine récente, ils nous permettent de mieux comprendre leur origine : ils

devaient être à l'époque sur le glacier, et se trouvent maintenant posés sur la moraine.



**Photo 14 : Moraine récente et blocs erratiques dans la Combe des Fonds.**

Sur cette illustration, on peut distinguer roche en place, ancienne moraine et moraine récente (au premier plan à gauche). La moraine récente a encore l'apparence d'un amas de graviers. On voit qu'elle est progressivement colonisée par la végétation. Posés sur la moraine se trouvent de nombreux blocs erratiques.

5 Lors de la descente, nous allons être une fois de plus attentifs aux roches qui jalonnent le chemin, en se posant la question suivante : sommes-nous toujours dans le calcaire fin du Malm ? La réponse n'est en fait pas aussi simple : l'étude des roches nous fait découvrir une grande variété de roches et une certaine complexité. Dans cette région, on trouve par endroit du calcaire fin du Malm, mais également d'autres sortes de calcaires, certaines contenant même des poches de quartz. On trouve des schistes argileux, parfois teintés de rouge indiquant la présence de fer dans ces roches. Et ce doux mélange ne semble pas avoir une organisation aussi simple que ce que nous avons vu jusqu'ici (photo 15). Les roches de cette région sont en brun sur la carte géologique (figure 5).

Ces schistes argileux étaient à l'origine des bancs d'argile. Ils nous indiquent que cette région se trouvait au fond de la mer, où se déposaient ces particules emportées par l'eau. Ces roches datent également du Jurassique, et ont donc été formées à la



même époque que les sédiments à l'origine de la Dalle de l'Amône et des parois de la Combe des Fonds, mais dans des eaux beaucoup plus profondes.



**Photo 15 : Contact entre deux roches sur le chemin du Petit Col Ferret.**

Sur la droite en gris, une roche calcaire, et sur la gauche en rosé, du schiste argileux. En fond on aperçoit le massif du Mont-Blanc, dont la morphologie contraste fortement avec celle des roches du Petit col Ferret. Cet exemple montre la relative complexité d'organisation des différentes roches dans cette région.

Le fait que cette région soit un mélange de roches, et qu'elles aient l'inclinaison que nous observons depuis la Dalle de l'Amône s'explique par la deuxième histoire, donc par les mécanismes qui sont à l'origine de la formation des Alpes. Nous aborderons plus en détail l'épisode de formation des Alpes et son impact sur cette zone du Val Ferret dans notre prochaine balade.

6 Sur le versant opposé, se dessine une structure cônique, typique de l'érosion par ruissellement de l'eau sur les versants (photo 16). Du sommet du cône, et montant jusqu'à la crête, on distingue la trace laissée par un cours d'eau. Tout autour de cette trace, on observe un vallon, dont les bords sont ondulés. Les constructeurs de châteaux de sables pourront faire la comparaison avec les formes des murs que nous avons construits, quand ils s'écroulent attaqués par l'eau des vagues. Ces cônes d'alluvions sont représentés par des traitillés sur les cartes géologiques (figure 5).

Lors de fortes pluies, et lors de la fonte des neiges, les pentes très raides formées par l'érosion des glaciers sont attaquées par cet apport soudain et abondant d'eau. L'eau seconde la gravité pour mieux éroder les montagnes.



**Photo 16 : Cône d'alluvion en face du hameau de La Léchère.**

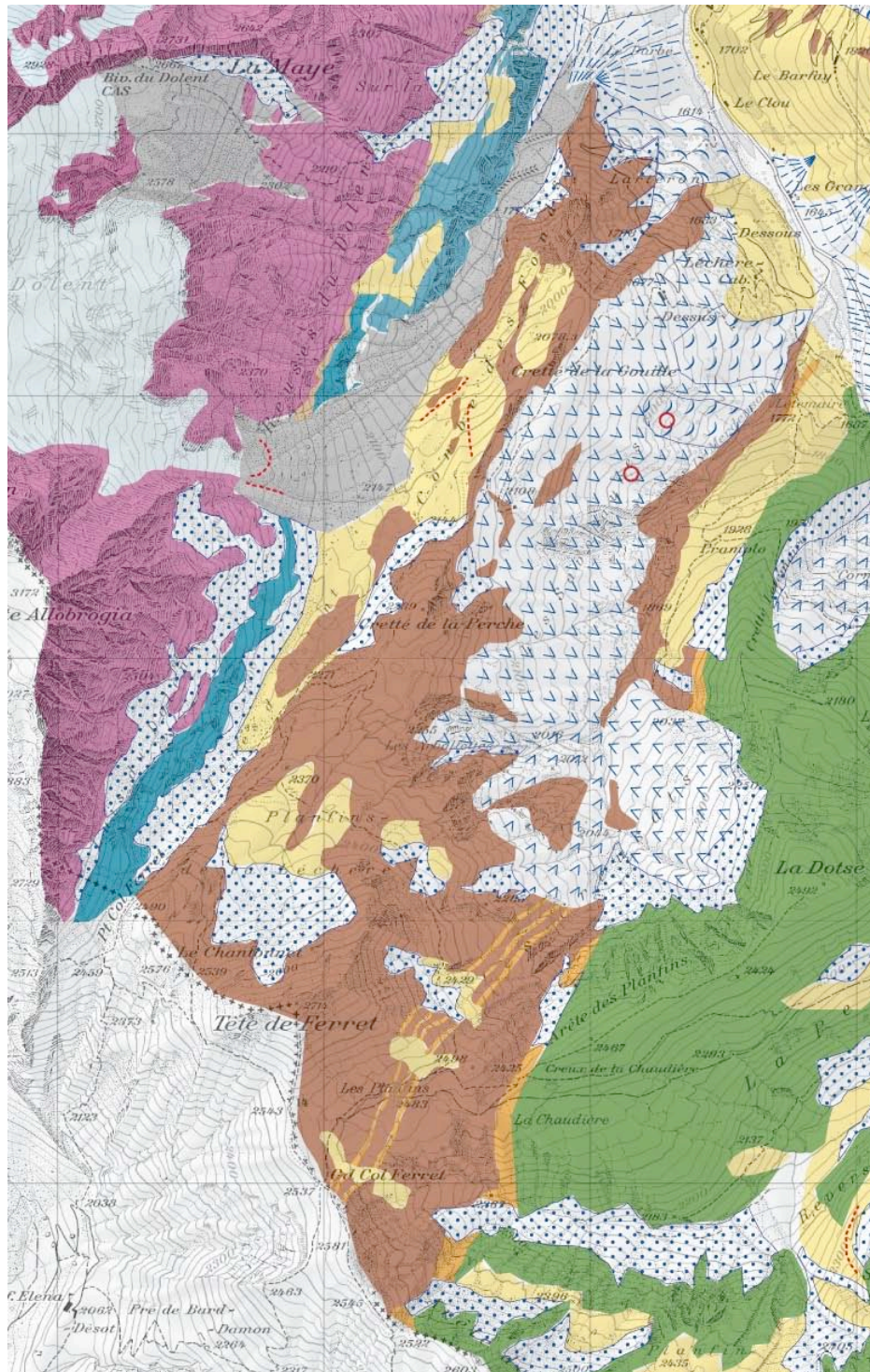
On distingue la zone où la matière est arrachée, qui forme un vallon ondulé chapeautant la marque rectiligne du cours d'eau. La zone où l'eau dépose sa charge a une structure en delta, dont le sommet est colonisé par des arbres et des buissons.

Plus la pente est raide, plus le débit du cours d'eau est important, et plus il est turbulent, plus il est capable de transporter des fragments de roches, pouvant aller de la taille d'une particule à celle d'un rocher, dans le cas de fortes crues. Les matériaux transportés par l'eau vont frotter contre les roches, et ainsi contribuer à les creuser, emportant de nouvelles charges avec eux. Lorsque la pente diminue, par exemple lorsque l'eau et les matériaux atteignent le fond de la vallée, la vitesse du cours d'eau diminue et l'eau n'arrive plus à transporter autant de matériaux. Ces derniers vont donc se déposer, les plus gros en premier (Veyret & Vigneau, 2002, pp. 30-31). Si l'eau rejoint les rivières, comme ici la Dranse, les petites particules pourront être transportées beaucoup plus loin, comme dans la plaine du Rhône, voire jusque dans le lac Léman. En effet, ce que l'on voit ici à petit échelle est valable

pour tous les cours d'eaux. Chaque cours d'eau, qu'il soit petite source, rivière glaciaire ou torrent de montagne, érode puis transporte et finalement dépose. Il contribue donc à sculpter les montagnes, et laisse des marques visibles dans les paysages. Les villages du fond de la vallée, comme La Fouly ou Ferret, sont tous construits sur de tels dépôts d'alluvions.

En regardant à nouveau le versant en face, visualisez les versants du vallon, qui s'éboulent arrachés par l'eau. L'eau, chargée de boues et de particules dévale la pente. Puis elle diminue de vitesse et les matériaux se déposent les uns sur les autres.



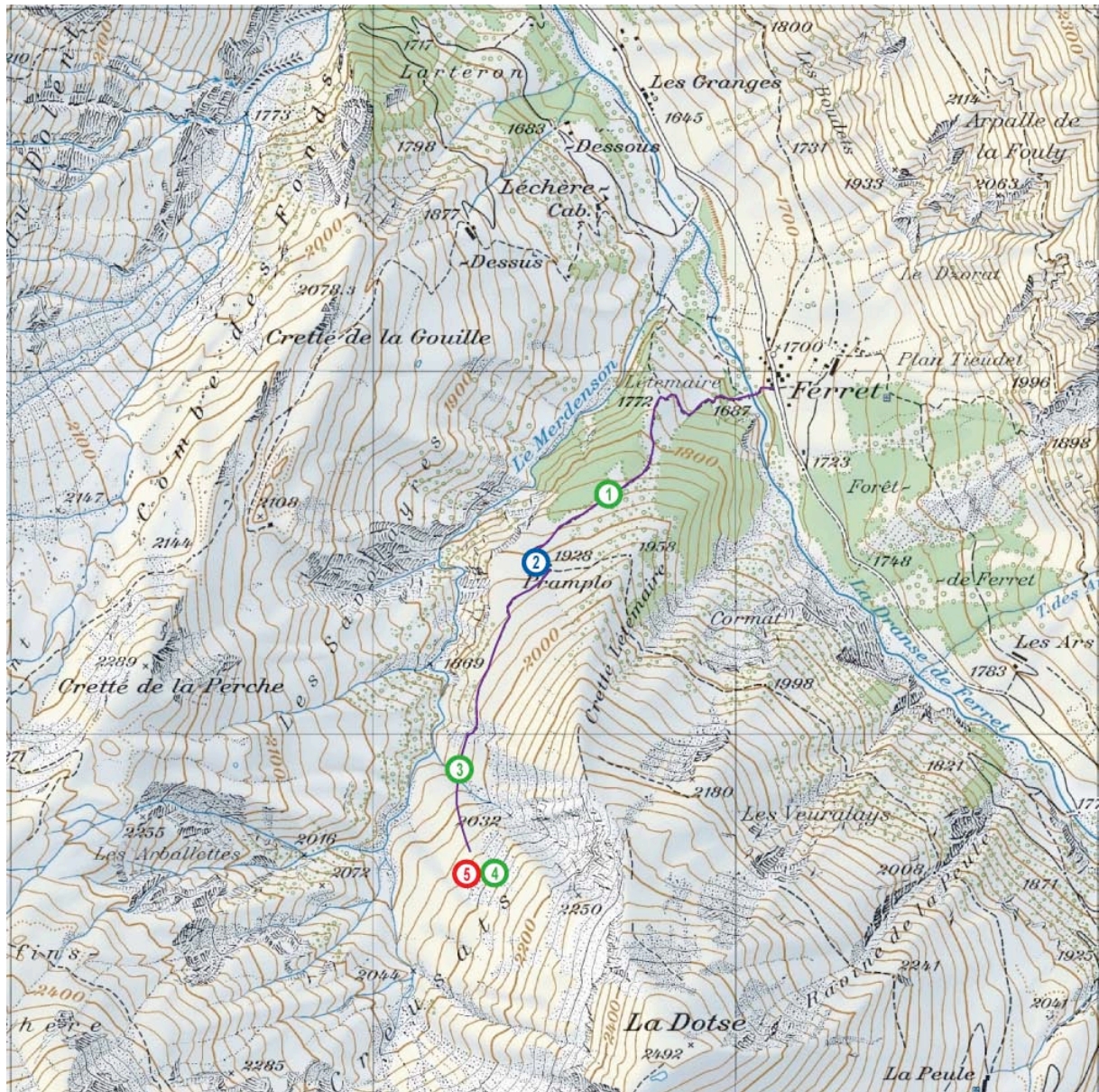


**Figure 5 : Carte géologique du Petit Col Ferret**

Légende selon les origines paléogéographiques :  : Ancien magma de chaîne hercynienne (Primaire) ;  : Sédiments des bords de Thétys (début Jurassique) ;  : Sédiments de Thétys (Jurassique) ;  : Sédiments de la Thétys profonde ;  : Sédiments du bords de la Thétys (Trias) ;  : Sédiments de l'océan valaisan (Crétacé). Légende du quaternaire :  : moraines anciennes (Dryas) ;  : moraines récentes ;  : cordon morainique ;  : éboulis ;  : glissement de terrain ;  : tassement,  : cônes de déjection (voir légende complète tableaux 2 et 3)



## Pramplô : Plongeon de la mer à l'océan

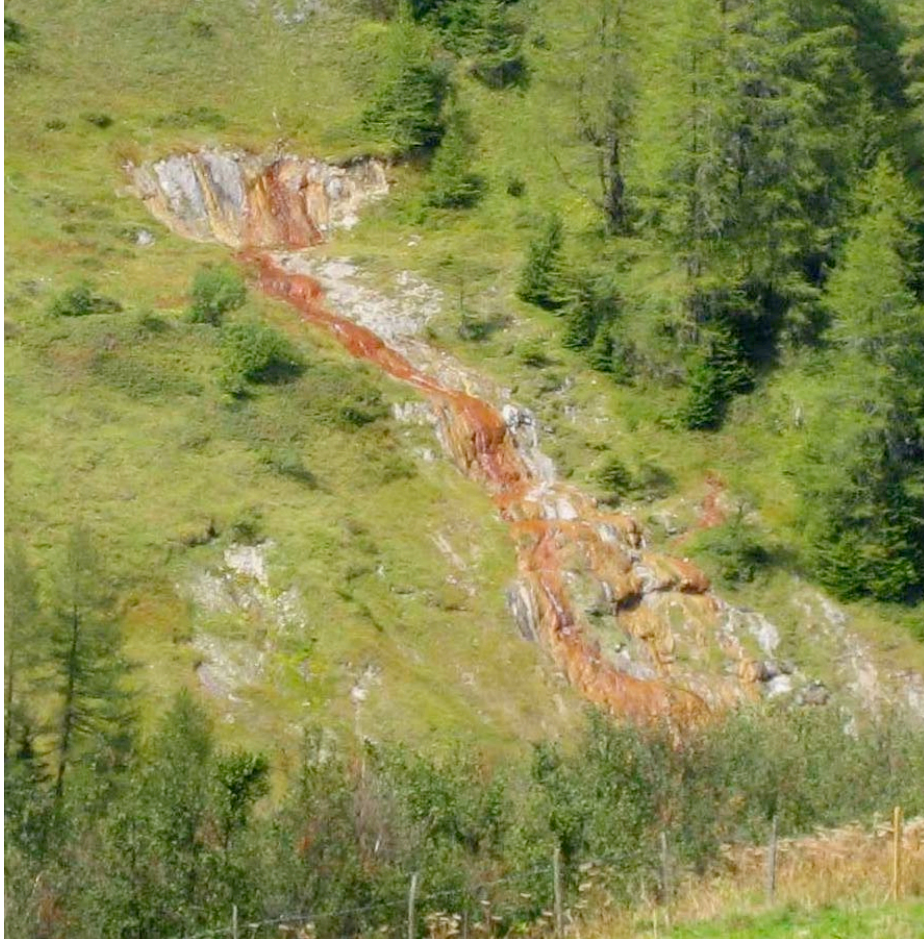


L'intérêt de cette balade est qu'elle se situe à la frontière entre la zone de sédiments de la mer thétysienne, et une nouvelle zone, dont nous découvrirons plus précisément l'origine en allant aux Lacs Fenêtres. Le fait d'être situés entre deux ensembles de roches d'origines différentes nous permet d'avancer dans la découverte de la « deuxième histoire », l'orogénèse des Alpes. Cela nous permet également de mieux comprendre d'où provient la variété et complexité d'arrangement de ces sédiments, que nous avons abordé lors de la montée au Petit Col Ferret. La balade permettra la découverte de deux phénomènes géographiques récents : les sources ferrugineuses, et le glissement de terrain.



1

Lors de la montée, nous avons vue sur les roches que nous avons parcourues en montant au Petit Col Ferret. Sur ce versant se trouvent deux sources ferrugineuses (photo 17). La moraine est colorée de rouge et de orange, comme si de la peinture avait coulé à partir d'une ouverture en forme de lentille.



**Photo 17 : Source ferrugineuse**

La moraine est colorée de rouge. Cette couleur provient de dépôts calcaires mélangés à du fer. Cela nous donne de précieuses indications sur la nature du sol que l'eau a traversé.

Ces sources, indiquées par des cercles rouges sur la carte géologique (figure 9), nous donnent plusieurs informations. Tout d'abord, le sol est saturé en eau, jusqu'au niveau de la source. Ensuite, cette eau, lors de son passage dans le sol, s'enrichit en minéraux, qui se déposent quand l'eau ruisselle sur la pente. La nature de ces dépôts nous informe sur la nature du sol. La couleur rouge est signe de la présence de fer. Celui-ci, se trouve sous la forme d'oxydes de fer, et est mélangé à des dépôts calcaire. En redescendant du Petit Col Ferret, nous avons effectivement trouvé des roches calcaires, et des roches rougies, comportant des traces de fer. Cette source vient donc nous confirmer les informations que nous avons collectées lors de notre précédente balade.

2 L'œil averti d'un géologue ou d'un géographe serait immédiatement titillé par la forme caractéristique de la pente où se situent les sources (photo 18). La crête semble dédoublée, avec une pente raide suivie d'une pente plus douce. La moraine est bosselée et, dans le versant, on distingue en arc de cercle de pente abrupte, qui surplombe une dépression hémicylindrique. Certains mélèzes au fond de la pente penchent en tout sens.



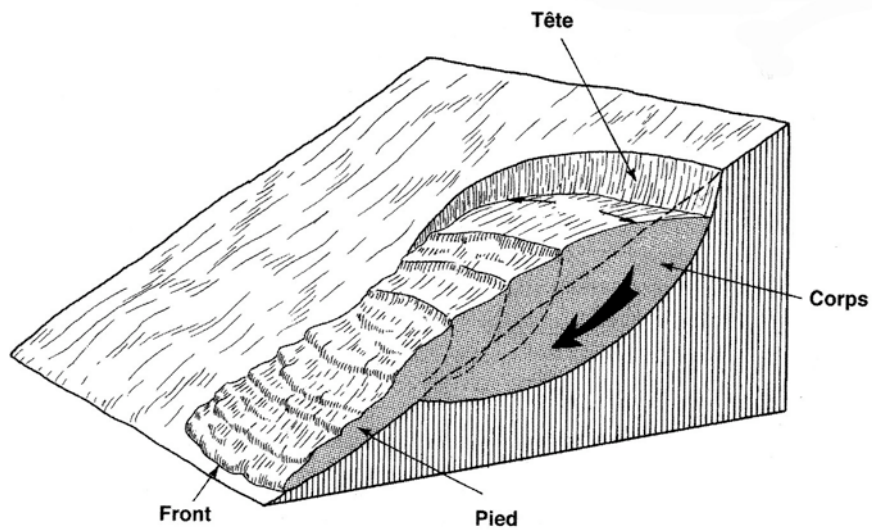
**Photo 18 : Glissement de terrain**

Sur le versant, on distingue la forme caractéristique d'une niche d'arrachement, en arc de cercle, surplombant une langue de matériaux déplacés. La moraine, gorgée d'eau, a glissé sur la roche en place (voir figure 6).

En effet, l'intégralité du versant est en train de subir les effets d'un tassement, et par endroits ont eu lieu des glissements de terrain. Les terrains composés de débris posés sur de la roche en place, comme ici la moraine posée sur les roches sédimentaires, qui sont gorgés d'eau ont tendance à se tasser où à glisser. La moraine n'est plus soutenue par les glaciers, et c'est la gravité qui attire vers le bas cette couche de gravier et de terre. L'eau lie cette masse ensemble et la rend plus liquide et donc mobile (Veyret & Vigneau, 2002, pp. 25-28). Un tassement est un mécanisme très lent, qui peut durer des millénaires (Marthaler, 2001, p.80). Un glissement est un phénomène beaucoup plus rapide. On reconnaît ces glissements à leur forme caractéristique : la limite supérieure du glissement forme un arc de cercle de pente abrupte. Cet arc de cercle est la limite entre le terrain en place et celui qui



s'est déplacé. En dessous, le terrain qui est descendu forme une langue de structure bosselée et de pente plus faible (figure 6).



**Figure 6 : Schéma d'un glissement de terrain**

Comparez cette structure à celle de la photo 18 et exercez votre œil à reconnaître les glissements de terrain. Sachant que, sur la photo, le glissement se fait vers la droite, et non vers la gauche comme sur ce schéma. (Tiré de Veyret & Vigneau, 2002, p. 28)

3 Arrivé au terme du chemin, nous découvrons sur notre gauche la roche se trouvant sous la moraine, qui affleure (photo 19). On appelle ces portions de roche en place qui se trouvent à la surface, des affleurements. Cette roche sombre est du schiste argileux noir, semblable à certaines que nous avons déterminées au retour du Petit Col Ferret.



**Photo 19 : Affleurement de schiste argileux noir.**

Emergeant de la moraine, cet affleurement nous indique la nature des roches se trouvant sous celle-ci.

En effet, les paysages sombres et brillants que nous avons pu observer sur notre droite pendant la montée nous indiquent que ces roches sont assez répandues dans cette région (photo 20).



**Photo 20 : Paysage de schistes argileux sombres**

Laissons les élèves nous rappeler ce que nous avons vu au Petit Col Ferret : quelles sont les conclusions que l'on peut tirer de cette roche, en termes de milieu de formation, et d'origine paléogéographique ? Sauront-ils expliquer que cette roche, qui date également du Jurassique s'est formée en deux étapes ?

Comme indiqué sur la carte géologique (figure 9), une grande partie de la roche en place a été recouverte par de la moraine lors l'épisode glaciaire du Dryas, il y a 11'000 ans.

④ Sur notre gauche, un affleurement de roche blanche détonne dans ce paysage gris sombre (photo 21). Un examen plus approfondi nous indique que nous sommes en présence de gypse. Ce bloc de roche est très altéré et se désagrège au toucher. On remarque qu'il comporte de nombreuses inclusions (photo 22).

Ce gypse a 220 millions d'années : il date du Trias. Les eaux de Téthys s'avançaient progressivement sur le continent. « Le climat chaud et la faible profondeur de l'eau favorisaient (...) la précipitation des sels dissous dans l'eau de mer. Ainsi se déposent de grandes quantités de gypse et de sel » (Marthaler, 2001, p. 23).





**Photo 21. Affleurement de gypse.**

Au centre de la photo, une roche blanche émerge de la moraine. Elle contraste fortement avec les autres roches de la zone. Au premier plan à gauche, les schistes argileux sombres, ainsi qu'à l'arrière plan à droite, les roches grises originaires de l'océan valaisan. Cet affleurement de roche marque en effet la frontière entre les sédiments de Téthys et ceux de l'océan valaisan.



**Photos 22 : Détails de l'affleurement de gypse**

Le gypse est très altéré et contient, entre autres, des inclusions de cornieule (à droite). Il date du Trias, probablement d'une mer fermée en bordure de la Téthys. Le climat chaud et la faible profondeur de l'eau a favorisé son évaporation et favorisé ainsi les dépôts de gypse. Cette roche a été fortement altérée par la formation des Alpes.

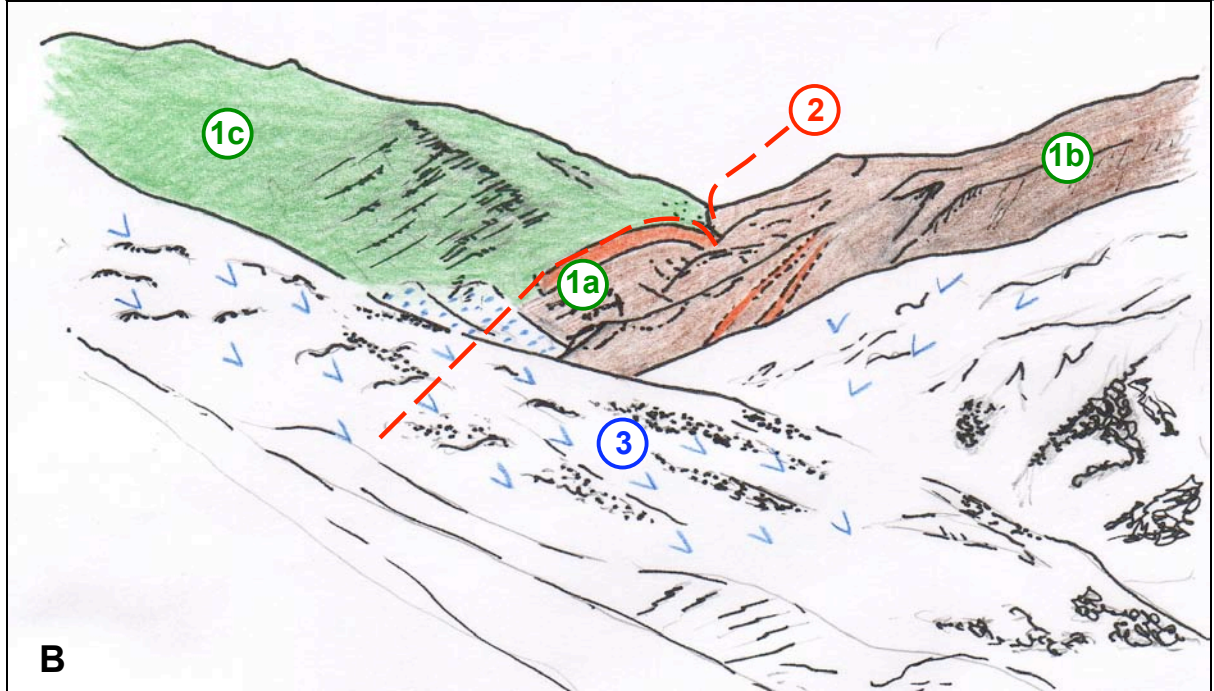
5 Cet affleurement de gypse peut porter à confusion : que vient faire une roche datant du Trias à côté de roches datant du Jurassique ? En regardant en direction du Sud, on peut apercevoir, si la luminosité est favorable, une tranche orange entre deux zones de schistes sombres (figure 7). Cette limite orange correspond à une roche contemporaine du gypse, la cornieule. Cette roche était à l'origine de la dolomie et s'est ensuite transformée en cornieule (Schumann, 1985, p.290). Entre l'affleurement de gypse et cette bande de cornieule, on peut projeter une limite virtuelle. En effet, ils jouent le rôle, dans ce paysage, de véritables bornes frontières, marquant la limite entre deux époques géologiques et entre deux étapes de la formation d'un océan.

De notre côté de la frontière, se trouvent des sédiments déposés dans la Téthys, comme tout ceux que nous avons observés jusqu'ici. De l'autre côté de la frontière, les roches ont une nouvelle origine : elles proviennent d'une fosse océanique nommée l'océan valaisan, qui s'est ouverte au Crétacé. Nous pouvons vraiment parler d'un océan, car une déchirure s'est faite dans le continent, ouvrant une fosse océanique dans la mer. Nous découvrirons ces roches et leur origine plus en détail lors de notre prochaine excursion aux Lacs de Fenêtre.

Pour comprendre comment les roches se sont organisées de cette façon, il faut aborder la formation des Alpes. Nous avons vu qu'au départ, un continent unique, la Pangée, s'est séparé en deux par un épisode de rifting. Entre les deux continents, s'est formé un océan. Ensuite, de nouvelles failles de rifting se sont créées, et ont ouvert un deuxième petit océan, dans le continent européen immergé, l'océan valaisan (Fig. 10, p. 60). A un moment donné, nous verrons par la suite lequel, le phénomène s'est inversé. Les deux continents, devenus l'Europe et l'Afrique, ont arrêté de s'éloigner, et se sont rapprochés. Cela a généré un phénomène de subduction. C'est-à-dire que tout ce qui se trouvait alors entre les deux continents s'est engouffré, une structure géologique après l'autre, sous l'Afrique (Tableau 1, p. 70). Heureusement pour nous, des restes de ce qui s'y est engouffré ont été raclés par le continent Africain, et ont ainsi été préservés. C'est sur ces restes que nous nous trouvons (Marthaler, 2001).

Pendant cet épisode de subduction, le granite de la Pangée, que nous avons vu en allant à la cabane de l'A Neuve, et les sédiments de Thétys ont été tirés sous les sédiments de l'océan valaisan. C'est cette subduction qui explique comment les roches où nous nous trouvons se sont organisées. C'est également ainsi que s'explique la complexité d'organisation des sédiments de la Thétys profonde.





**Figure 7 : Zone de contact entre les roches de l'océan valaisan au Crétacé et celles de la mer thétysienne au Jurassique**

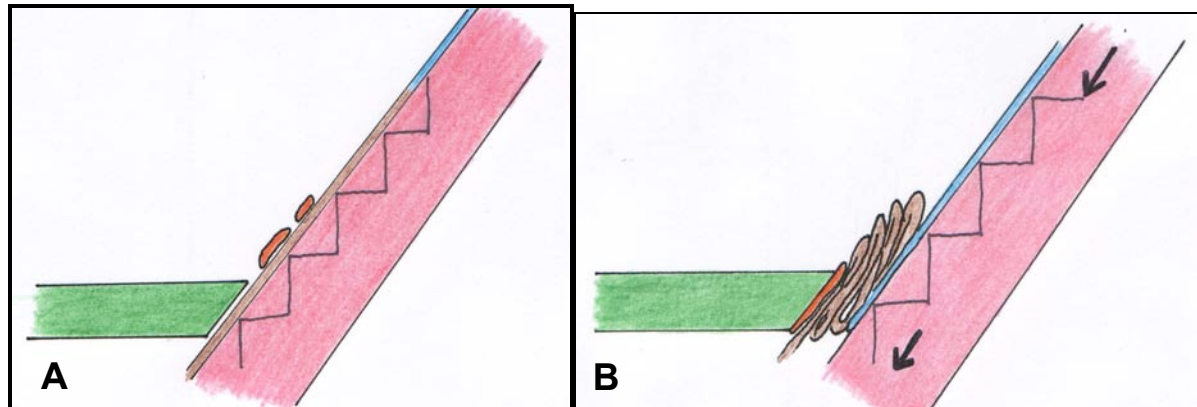
A : Photo montrant des zones orangées plus claires apparaître dans la roche sombre. B : Explication de la photo. Séparés par une bande de cornieule datant du Trias (1a - orange), les roches sédimentaires provenant de Téthys, datant du Jurassique (1b - en brun), et de l'océan valaisan, datant du Crétacé (1c - en vert) se trouvent côte à côte (2). On trouve également des bandes de Trias au sein du Jurassique. Au premier plan, la moraine glisse par tassement (3 - les V bleus indiquent le sens du glissement). On observe également une zone d'éboulis (3 - points bleus) (D'après Oulianoff & Trümpy, 1958). La numérotation correspond aux trois histoires (d'après Marthaler, 2004).

Pour mieux comprendre ce qui s'est passé lors de cette subduction, imaginons un escalator, couvert d'un tapis, sur lequel il y a quelques taches de confitures (Figure 8 A). L'escalator correspond au granite de la Pangée (en rose), qui s'engouffre sous le



plancher d'arrivée, l'océan valaisan (en vert). Le tapis correspond aux sédiments de la Thétys (en brun et bleu) et les taches de confiture aux sédiments de la jeune Thétys (en orange).

Lorsque l'escalator se met en marche (Figure 8 B), la confiture se colle contre le plancher d'arrivée. Le plancher d'arrivée empêche le tapis de passer, et le tapis se plisse. L'escalator continue sa descente et s'engouffre sous le tapis qui se plisse.

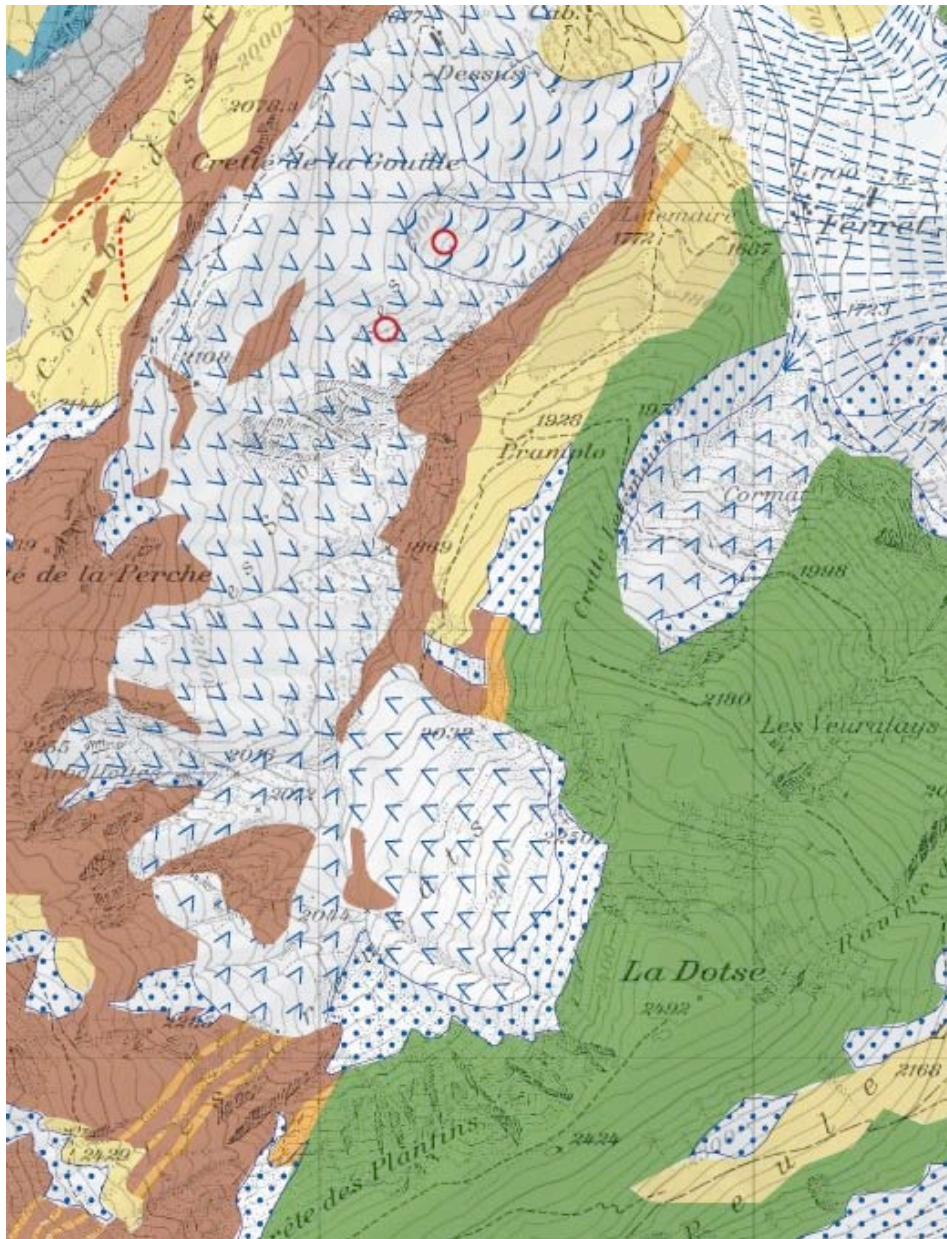


**Figure 8 : Comparaison de l'épisode de subduction du continent Européen sous l'océan valaisan à un escalator**

A : L'escalator est au repos. Il est recouvert d'un tapis sur lequel se trouvent des taches de confiture. L'escalator (en rose), correspond au granite du continent européen. Le tapis (en bleu et brun), correspond aux sédiments déposés par Thétys. Les taches de confitures (en orange), sont les sédiments de la jeune Thétys déposés au Trias. Le plancher d'arrivée (en vert) correspond à l'océan valaisan. Cette situation illustre l'état avant la subduction. B : L'escalator a avancé. Les taches de confiture sont restées collées sur le plancher d'arrivée. Le tapis a coincé, et s'est plissé. Une partie du tapis, restée solidaire à l'escalator, s'est glissée sous les plis. Cette situation illustre l'état après la subduction. Les sédiments de la Dalle de l'Amône se trouvent entre le bleu et le rose.

Le gypse et la cornieule sont souvent des roches qui se logent entre deux bords de plaques qui glissent l'une contre l'autre. Ces roches se déforment facilement et deviennent une sorte de savon, qui crée une interface facilitant le frottement. Vraisemblablement, ces roches ne se trouvaient pas posées sur les sédiments, comme la confiture est posée sur le tapis dans l'exemple. Peut-être un bout du « tapis » de sédiment était composé de gypse et de cornieule, parce que, par exemple, les sédiments du Trias se trouvant sous ceux du Jurassique affleuraient à cet endroit (Fig. 15, p. 66). Les dépôts de sédiments, et leur conservation à travers le temps, dépendent de nombreux facteurs. Peut-être des courants marins ont empêché la sédimentation du calcaire, peut-être les conditions à cet endroit n'étaient pas favorables. Peut-être que cette région s'est trouvée émergée et que l'érosion a enlevé les sédiments qui s'y étaient déposés. Les montagnes sont donc des témoins de l'histoire géologique, mais elle ne sont pas infaillibles et ont parfois « oublié d'enregistrer » (Marthaler, 2001, p.35). Cet exemple montre à quel point les géologues ont dû, et doivent toujours, faire preuve d'imagination pour résoudre les énigmes posées par la montagne.

Les couches de sédiments de Thétys (en brun), plus souples que le granite sur lequel elles étaient posées, se sont donc violemment plissées. Le granite (en rose), a mieux résisté aux contraintes engendrées par la formation des Alpes, même si il a aussi subi des déformations, comme nous l'avons vu en montant à la cabane de l'A Neuve (Burri, 1987, p.46). Cela explique pourquoi toute la région que nous avons traversée depuis la Combe des Fonds jusqu'ici, est composée d'un mélange complexe de roche. Ces roches ont été déplacées, plissées et écrasées lors de la formation des Alpes. La paroi rocheuse de la Combe des Fonds (en bleu), et la Dalle de l'Amône (située entre le bleu et le rose de la figure 8) ont moins subi de transformation simplement parce qu'elles ont moins été déplacées et plissées, en restant plus ou moins solidaires au granite.

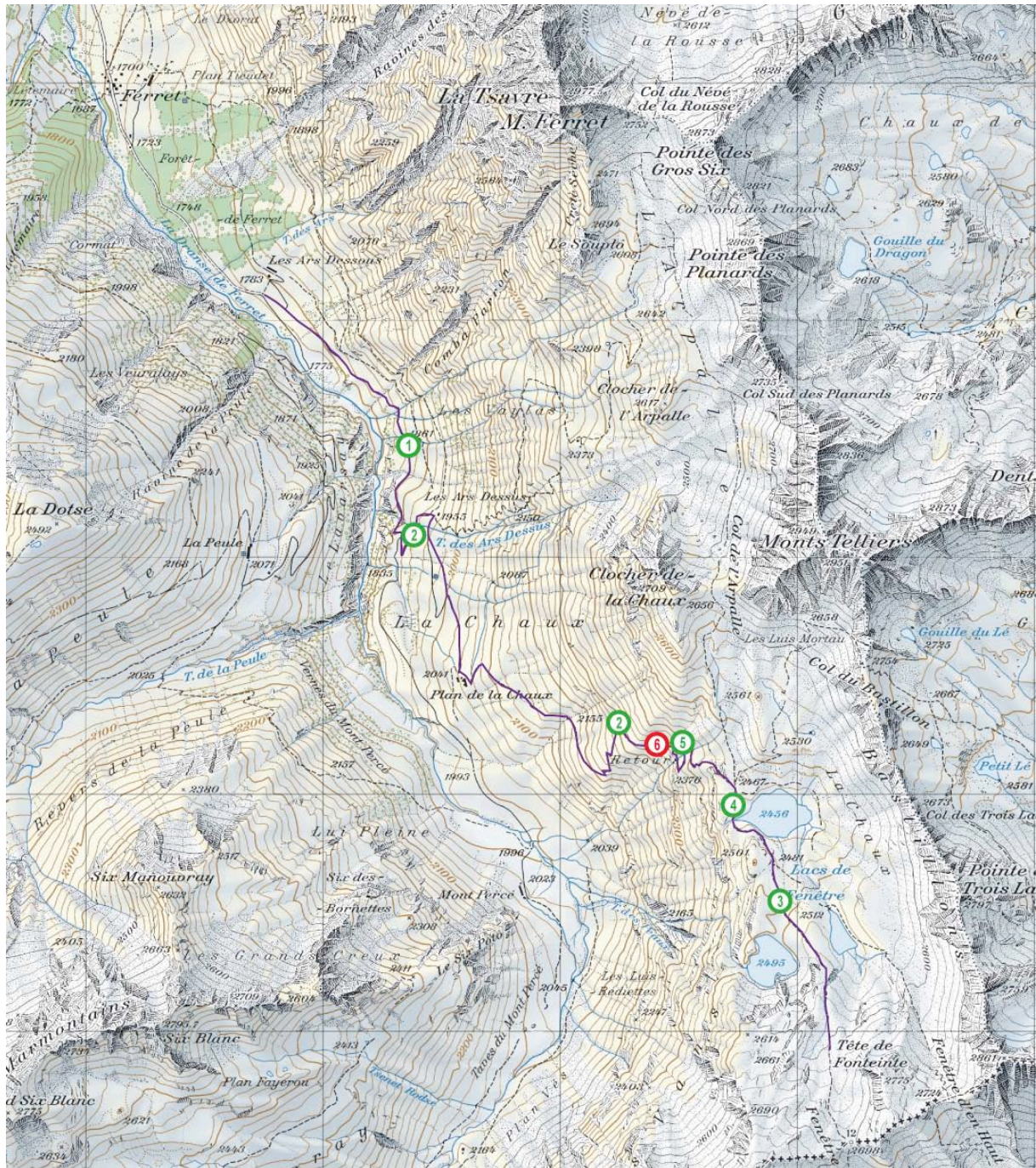


**Figure 9 : Carte géologique de la balade de Pramplo**

Légende selon les origines paléogéographiques : ■ : Sédiments de Thétys (Jurassique) ; ■ : Sédiments de la Thétys profonde ; ■ : Sédiments du bord de la Thétys (Trias) ; ■ : Sédiments de l'océan valaisan (Crétacé). Légende du quaternaire : ■ : moraines anciennes (Dryas) ; ■ : moraines récentes ; - - - : cordon morainique ; · · · : éboulis ; ~ ~ ~ : glissement de terrain ; v v v : tassement ; / / / : cônes de déjection ; ○ : source ferrugineuse (voir légende complète tableaux 2 et 3)



## Lacs de Fenêtre : Fosse océanique et forêt tropicale



En montant aux Lacs de Fenêtre, nous allons découvrir les roches originaires d'un nouvel océan, l'océan valaisan, et comprendre comment celui-ci s'est formé. Nous allons ensuite aller à la rencontre d'une nouvelle zone, appelée la zone Houillère. Nous allons en déterminer les roches et faire un exercice de cartographie géologique. Ensuite, nous allons une nouvelle fois aborder la formation des Alpes et en compléter nos connaissances en y intégrant la zone Houillère.



1

A peine sommes-nous partis que nous longeons, au bord de la rivière, des roches sédimentaires qui montrent toujours la même inclinaison que celle de la Dalle de l'Amône (photo 23).



**Photo 23 : Roches sédimentaires au départ aux Ars Dessus**

La rivière a creusé la roche, découvrant un empilement typique d'une roche sédimentaire. Ces couches sont inclinées, avec le même angle que toutes les roches sédimentaires que nous avons observées depuis la Dalle de l'Amône.

De l'autre côté de la route, un autre cours d'eau a creusé dans la roche. Il nous permet de voir une coupe à travers la montagne (photo 24). Cela nous montre les roches de l'océan valaisan, sous un angle de vue différent, qui nous amène aux mêmes conclusions : nous avons affaire à une roche formée par un empilement de couches sédimentaires. Ces couches ont, comme toujours, cette même inclinaison.



**Photo 24 : Roches sédimentaires au départ aux Ars Dessus**

La rivière a creusé la roche, nous montrant l'empilement de roches sédimentaires vu sous un autre angle.

2 La région que nous allons traverser n'est pas composée d'une roche uniforme. De plus, toute une partie de la montée se trouve dans la moraine, qui nous cache la roche en place. Heureusement, parfois la route a creusé dans la moraine et nous permet de découvrir une portion de cette roche (photo 25 A). D'autres fois des affleurements nous en apprennent un peu plus (photo 25 B). Et nous y découvrons différentes roches : grès, schistes, brèches, ... Malgré cette complexité, cela nous donne de nombreuses informations sur les conditions qui régnaient dans cette région quand ces roches ont été formées.

Il y a environ 130 millions d'années, l'océan Atlantique, frère occidental de la Téthys, commence à s'ouvrir vers le Nord. Il va non seulement commencer à séparer l'Amérique et l'Europe, mais va aussi être le point de départ d'un phénomène qui va arrêter l'élargissement de la Téthys, et détacher une portion du continent européen, l'Ibérie (figure 10). Ce n'est plus un unique océan qui est en train de s'ouvrir, mais différents rifts qui déchirent la région des futures Alpes. Entre autres, un petit océan commence à s'ouvrir au Sud du continent européen, l'océan valaisan. Il détache de

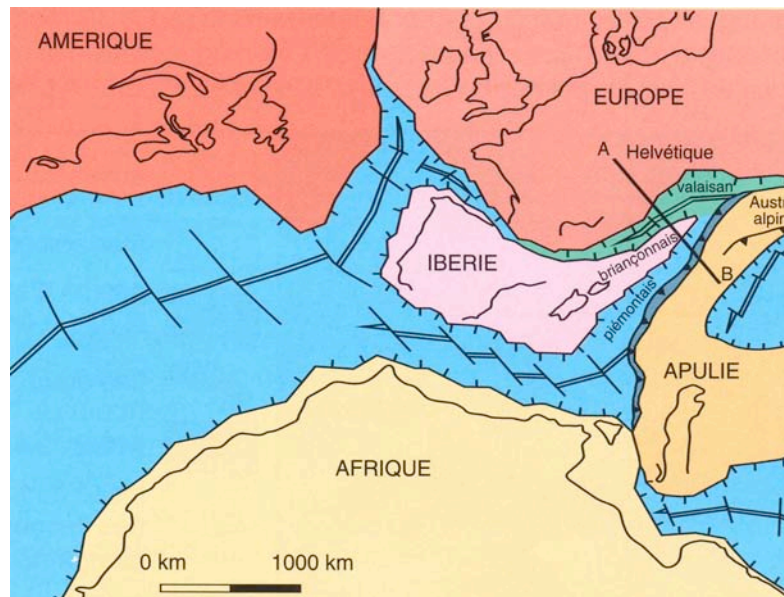


l'Europe un nouveau micro-continent, l'Ibérie, dont on appelle la pointe qui se trouve maintenant dans les Alpes, le Briançonnais (Marthaler, 2001, p.39).



**Photos 25 : Exemples de roches originaires de l'océan valaisan**

A : La route, a découvert du grès, roche en place sous la moraine, B : Brèches, sur le chemin des Lacs de Fenêtre.



**Figure 10 : L'ouverture de l'Atlantique vers le Nord et la séparation de l'Ibérie il y a 100 millions d'années.**

De nouveaux rifts commencent à déchirer le continent européen. un nouvel océan, l'océan valaisan, dans lequel ont été formées les roches que nous découvrons dans cette balade (Tiré de : Marthaler, 2001, p.41).

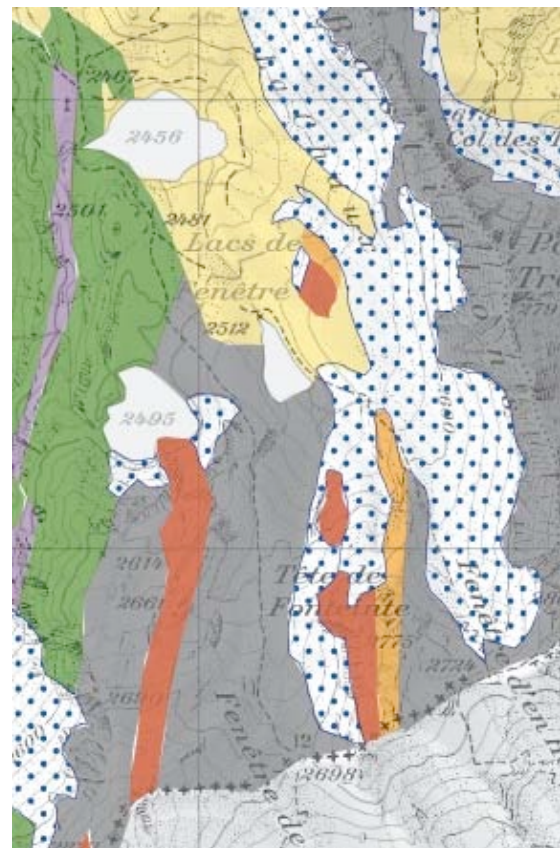
En même temps, l'élargissement qui avait eu lieu jusque-là commence à s'inverser. L'Afrique, ou plus précisément une portion de continent qui s'en est détachée, l'Apulie, commence à se rapprocher. S'initie alors le phénomène de subduction, que nous avons déjà abordé, qui est à l'origine des Alpes. L'océan valaisan ne va donc

pas continuer à s'ouvrir longtemps : l'Afrique se rapproche et il est destiné à disparaître. Sa durée de vie va être de plusieurs millions d'années, ce qui est bien sûr un temps gigantesque relativement à nos vies humaines, et va lui laisser le temps de déposer les nombreux sédiments à l'origine de ces roches. Celles-ci sont justement le reflet de sa vie mouvementée. L'ouverture du continent européen a généré de nombreux éboulements qui sont à l'origine des brèches. L'océan n'étant pas large, il reçoit de nombreux sédiments de rivières, transportant des sables et des argiles qui viennent se déposer au fond des fosses océaniques. Lorsque la subduction débute, l'océan devient très profond, et le théâtre de nombreux tremblements de terre. Grès et argiles se déposent sous forme de flysch.

Ces roches nous indiquent donc que nous sommes toujours au fond d'un océan, mais avec deux différences fondamentales avec Téthys: ce n'est pas le même océan, et il a été formé beaucoup plus tard, au Crétacé.

**3** Le plateau des Lacs de Fenêtre, outre le fait d'être un endroit fort sympathique pour un pique-nique, est également le lieu idéal pour une initiation à la cartographie géologique. Cet exercice est une étape importante du processus de compréhension. En étant initié à la cartographie géologique, les élèves comprendront d'autant mieux les cartes géologiques qu'ils sont amenés à utiliser.

Le principe est simple : munissez-vous de crayons de couleurs, d'un altimètre, du matériel nécessaire à la détermination des roches, et d'une carte topographique. Lorsqu'on découvre un affleurement, il convient tout d'abord de déterminer de quelle roche il s'agit. Ensuite, il faut trouver un contact, c'est-à-dire la limite entre cette roche et un autre type de roche (ou un éboulement, ou de la moraine).



**Figure 11 : Carte géologique de la région des Lacs de Fenêtre**

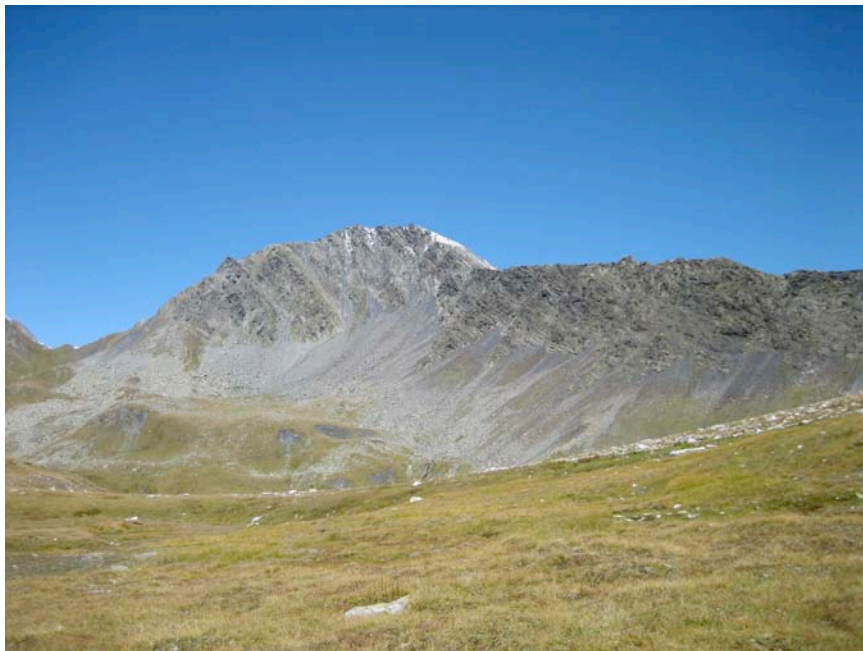
Légende selon les roches : ■ : schistes ; ■ : calcaire, ■ : quartzite ; ■ : schiste argileux noir, ■ : moraines anciennes (Dryas) ; ■ : ébouli.



En suivant ce contact, et en l'inscrivant sur la carte, on peut délimiter les zones dans lesquelles se trouvent les roches. Pour répertorier ces informations, on colorie la carte, avec un certain code de couleur (voir légende de la figure 11), selon les limites que l'on a trouvées.

En séparant les élèves en groupes et en compilant ensuite les résultats, on pourrait rapidement arriver à quelque chose d'intéressant. Il faut également être conscient qu'on ne peut pas aller partout, le but n'est pas de se casser le cou, et qu'il faut souvent faire preuve d'imagination et déduire, en fonction des paysages, où les contacts que nous avons trouvés peuvent se prolonger. Le résultat obtenu devrait idéalement ressembler à la figure 11.

Les Lacs de Fenêtre se situent à la frontière d'une nouvelle zone : la zone Houillère. Elle tire son nom des schistes noirs argileux, dans lesquels on peut trouver des lentilles de charbon, qui composent le cirque rocheux entourant le plateau où se trouvent les lacs (photo 26).

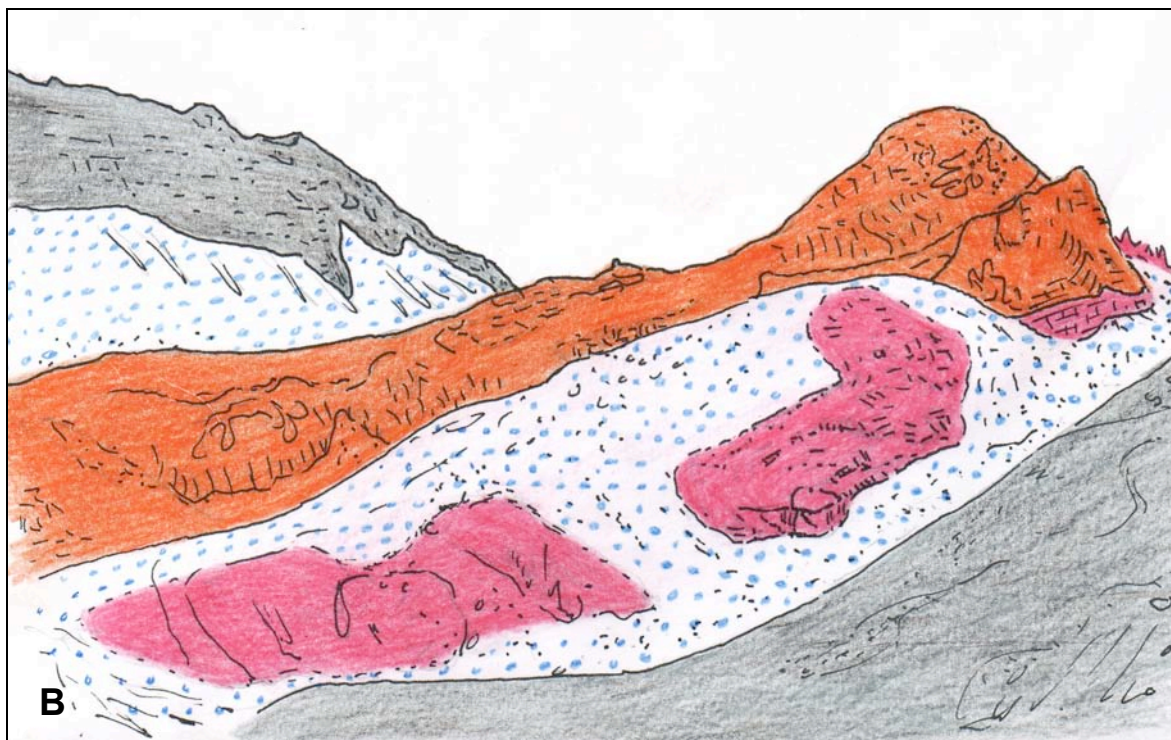


**Photo 26 : Cirque rocheux bordant le plateau des Lacs de Fenêtre**

Les roches à l'est des Lacs de Fenêtre sont gris sombre et ont une structure en couches. Cette barrière rocheuse est composée de schistes argileux noirs, datant du Carbonifère. On peut par endroits y trouver des lentilles de charbon.

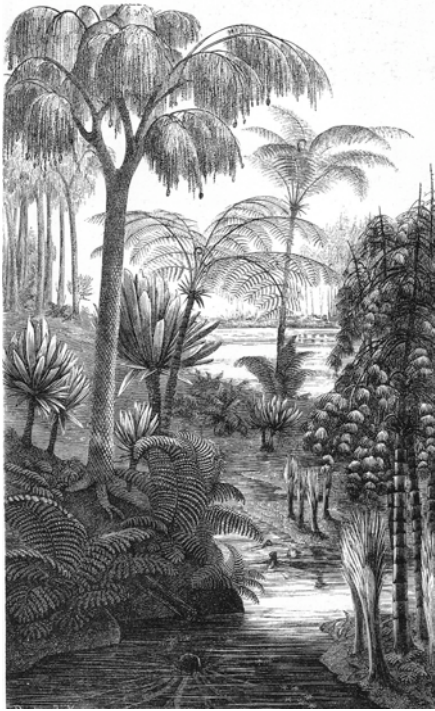
Dans cette zone, on trouve également de la dolomie et du quartzite. Une large bande de ces roches, nettement plus compactes et fermes mais aussi beaucoup plus claires que les schistes, se dessine sur le chemin jusqu'à la Fenêtre de Ferret (figure 11 et 12). Le plateau des Lacs de Fenêtre se trouve en effet à la limite entre des roches provenant de la Pangée, qui ont été formées il y a 300 millions d'années, recouvertes par endroit par des dépôts de sédiments qui ont 200 millions d'années, et la zone de l'océan valaisan, qui elle a environ 100 millions d'années.





**Figure 12 : Schistes argileux, quartzite et dolomie sur le chemin de la Fenêtre de Ferret**

A : Entre le plateau des lacs de Fenêtre et la frontière italienne, une longue bande de roches, plus solide et compacte que les schistes, se dessine en relief. B : explication de la photo A, avec : en gris le schiste argileux de la zone houillère ; en orange, la dolomie ; en magenta, le quartzite. Ces derniers ont été formés sur les berges de la Téthys au Trias. Les zones de points bleus correspondent aux zones d'éboulis.



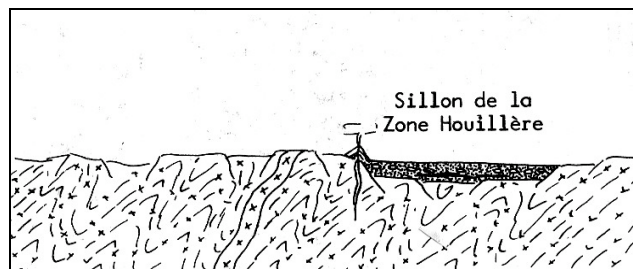
**Figure 13 : Reconstitution d'une forêt du Carbonifère.**

Les plantes du carbonifère n'étaient pas les mêmes qu'actuellement. Les forêts étaient peuplées de nombreuses fougères et des ancêtres fossiles de végétaux primitifs. (Tiré de : Burri, 1987, p. 49)

Les sédiments à l'origine de la dolomie et du quartzite ont été déposés bien plus tard. Ce sont des roches formées au bord de la mer, ou dans une mer très peu profonde et c'est au Trias, il y a 220 millions d'années que les conditions nécessaires à leur formation étaient réunies. Les roches continentales, qui sont devenues les schistes argileux de la zone houillère, se trouvaient alors partiellement immergées par la Téthys. La dolomie est une roche composée de calcaire qui a été transformé : un sédiment calcaire, situé au bord de la mer et recouvert seulement à marée basse, voit ses minéraux être modifiés par l'eau de mer qui remplace le calcium par du magnésium. Au Trias se sont également accumulées de grandes quantités de sable, sous forme de plage par exemple, à l'origine du quartzite. Ce sable, très riche en quartz, s'est cimenté en grès. Ce n'est pas un hasard si cette roche s'appelle quartzite : c'est sa très forte concentration en quartz qui la rend très solide et compacte, et qui lui permet de rayer le verre.

Les schistes et le quartzite racontent deux histoires, celle de la formation des sédiments, puis celle de leurs transformations. En effet, durant les 300 millions d'années qui séparent l'époque de sa formation à aujourd'hui, l'argile de la zone houillère a subi bien des transformations. Recouvert de sédiments, il a été progressivement enfoui, et les débris végétaux se sont transformés pour devenir du

Les schistes noirs proviennent d'argile déposée au Carbonifère. A cette époque, il y a 300 millions d'années, nous nous trouvons sur la Pangée. Le climat était tropical, et le continent était couvert par une végétation très dense (figure 13). Sur le continent, les bassins fluviaux se remplissaient de sable, chargé de débris végétaux. La zone Houillère était un de ces bassins, qui ont été progressivement remplis de sédiments déposés par les rivières (figure 14).



**Figure 14 : Reconstitution d'une coupe à travers la Suisse au Carbonifère.**

Un bassin alluvial se remplit de sédiments, chargés de débris végétaux fournis par les forêts tropicales (Tiré de : Burri, 1987, p. 47).



charbon. Ensuite, pendant la formation des Alpes, cet argile a été chauffé et écrasé et s'est transformé en schistes (Burri, 1987, p.51). Même principe pour le grès riche en quartz, qui, lors de la formation de montagnes, se retrouve enfoui et prisonnier d'un ensemble de roches qui se plisse. La température et la pression deviennent alors très élevées, et le grès se ramollit devenant une sorte de pâte. Finalement, en refroidissant, les minéraux recristallisent pour former du quartzite.

④ Observons de plus près une roche qui se trouve également dans ce plateau, mais qui n'est originaire ni de l'océan valaisan, ni de la zone Houillère (photo 27). Demandons à nos élèves de la déterminer. Cette roche bleu claire semble avoir été sculptée, et porte sur sa surface de nombreuses petites rigoles. Elle réagit fortement au HCl, ce qui nous indique que c'est du calcaire. En effet, insérée dans les roches originaires de l'océan valaisan, on trouve une bande de calcaire fin bleuté (figure 18). Celui-ci date du début du Jurassique, le lias, il y a 190 millions d'années.



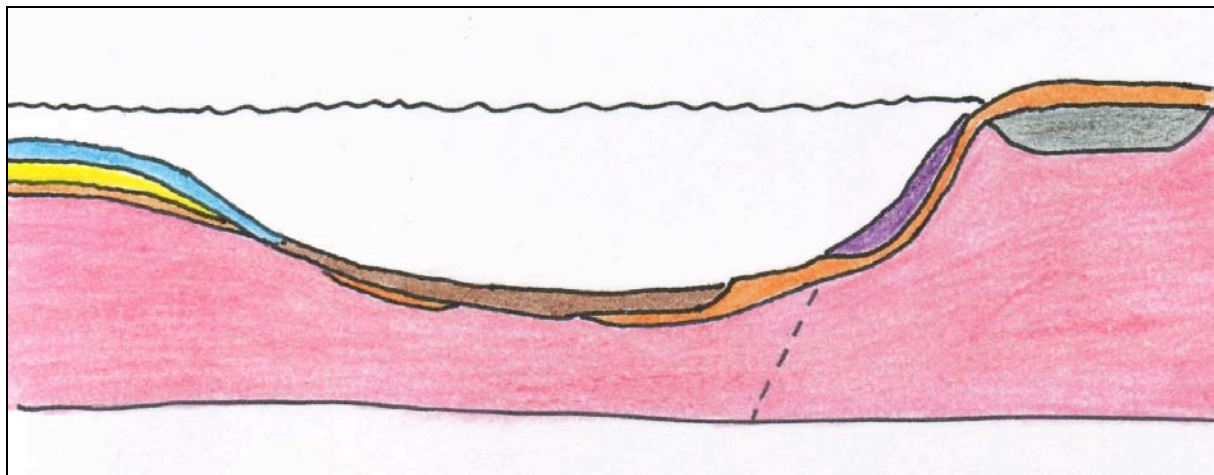
**Photo 27 : Calcaire bleuté des lacs de Fenêtre**

Ce calcaire date du début du Jurassique, le lias, il y a 190 millions d'années. Il a donc été formé après les sédiments du Trias, et avant le calcaire spathique de la Dalle de l'Amône. Il porte des marques, dites karstiques, typiques de l'érosion du calcaire par le ruissellement de l'eau.



Cela pose une énigme, que les élèves vont devoir résoudre en répondant aux questions suivantes : quelles sont les conditions nécessaires à la formation de ce calcaire ? quelle était la situation paléogéographique il y a 190 millions d'années, entre le Trias, dont nous venons de parler, et le Dogger, période suivante du Jurassique pendant laquelle les sédiments à l'origine de la Dalle de l'Amône ont été déposés ? Si vous étiez les géologues chargés d'expliquer l'origine de ce calcaire, quelles hypothèses formuleriez-vous ?

Les conditions nécessaires à la formation de ce calcaire sont une mer chaude, assez profonde pour permettre un bon dépôt de calcaire fin, mais pas trop, sinon il y aurait dépôt d'argiles ou de grès, avec la présence de vie pratiquant la photosynthèse. Au Lias, l'océan Téthysien est justement en train de s'ouvrir, déchirant la Pangée en deux. Dans la région de la Dalle de l'Amône, la mer était vraisemblablement moins profonde, allant en s'approfondissant vers l'est, grâce aux argiles qui ont été déposés. La région de la zone houillère formait alors une île (Marthaler, 2001, p.37), le fond de la mer devait alors remonter, comme le suggère ce calcaire (figure 15).



**Figure 15 : Reconstitution schématique du bras continental de la Téthys au Jurassique, il y a 200 millions d'années.**

La zone houillère, futur Briançonnais, émerge, formant une île dans la Téthys du Jurassique. Différentes roches sédimentaires étaient déposées sur la croûte continentale (en rose). En gris : les argiles riches en débris végétaux déposés sur la Pangée au Carbonifère ; en orange : les dépôts de la jeune Téthys du Trias, dolomie, grès, gypse, cornieule ; en violet, le calcaire du Lias ; en jaune, le calcaire spathique du Dogger ; en bleu, le calcaire du Malm ; en brun, les dépôts du fond de la Téthys du Jurassique, argile, calcaires gréseux, calcaire. Le traitillé indique l'emplacement de la faille à l'origine de l'océan valaisien. L'échelle n'est pas respectée.

C'est lors de la formation des Alpes, que cette bande de calcaire s'est trouvée piégée dans les sédiments originaires de l'océan valaisien. Cet aspect va être rediscuté plus loin. A présent, l'eau de pluie qui ruisselle sur la roche a dissous le calcaire et a dessiné des marques, dites karstiques, tout à fait typique.

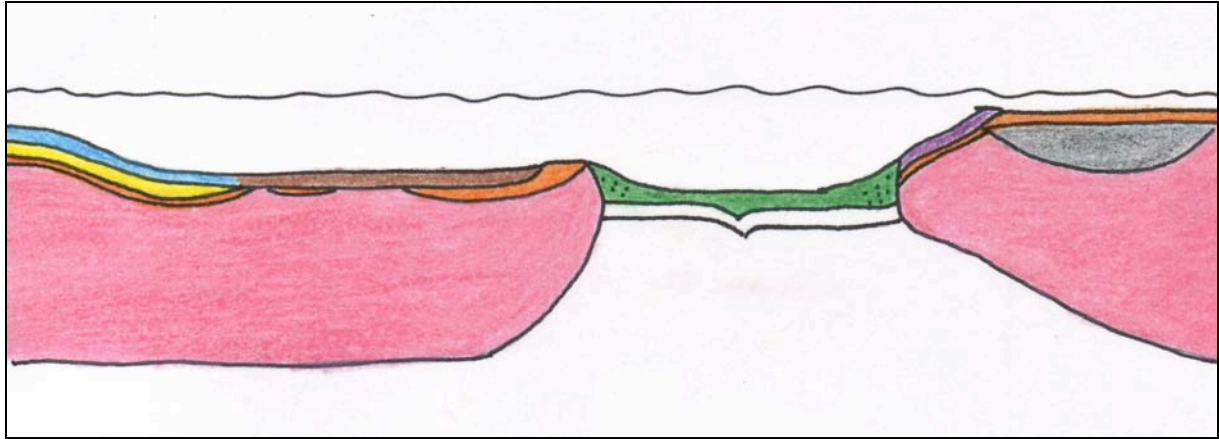
5 On peut observer dans le paysage, la limite entre les sédiments de l'océan valaisan, et la zone Houillère (photo 28). En effet, l'aspect de ces deux types de roches est différent. Les schistes de la zone Houillère forment une structure plus arrondie, et on distingue plus difficilement les couches sédimentaires. Le sommet formé par les sédiments de l'océan valaisan est lui plus pointu, et sa structure en couches est évidente.



**Photo 28 : Contact entre les roches originaire de l'océan valaisan et celles du micro-continent briançonnais**

Au centre de la photo, le contact entre zone Houillère et sédiments de l'océan valaisan. L'érosion a creusé un petit col, et de part et d'autre, les roches ont un aspect différent. Le relief des roches de l'océan valaisan (à droite) est plus pointu, et les couches sédimentaires sont bien visibles. A gauche, les roches de la zone Houillère forment un relief plus arrondi et les couches sédimentaires ne sont pas aussi clairement visibles.

Ce contact entre les deux zones date de l'ouverture de l'océan valaisan, il y a 100 millions d'années. L'île où se trouvait la zone houillère devient un micro-continent : la zone Houillère se trouvait sur le bras oriental de l'ibérie, le Briançonnais (figure 10). L'océan valaisan va donc être à l'origine de roches sédimentaires, qui vont se placer entre les roches du fond de la Téthys (en brun sur les schémas et cartes géologiques), et le calcaire bleuté (violet) puis les sédiments de la zone Houillère (gris et orange) (figure 16).



**Figure 16 : Reconstitution schématique du bras continental de la Téthys au Crétacé, il y a 100 millions d'années.**

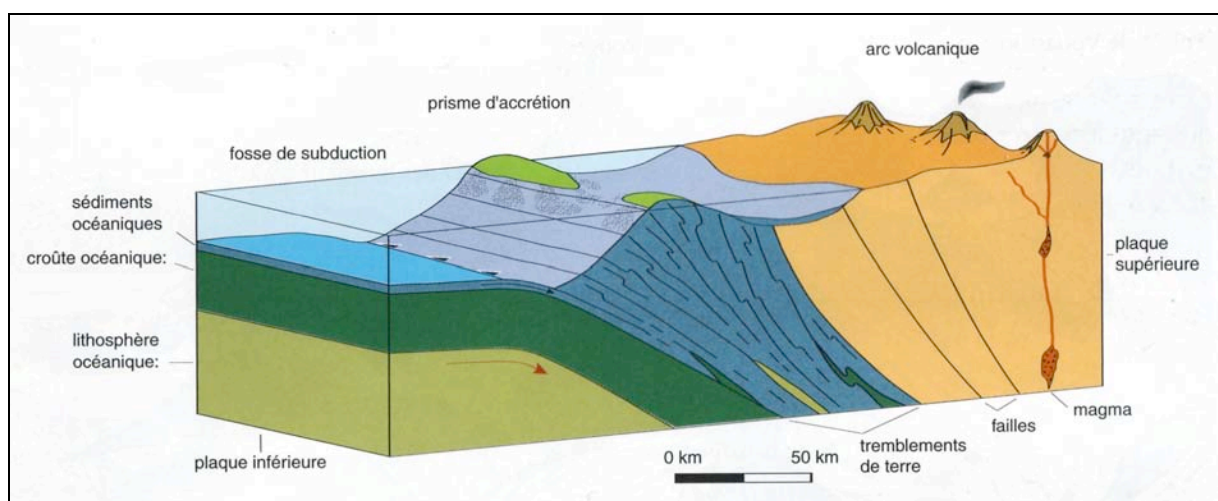
L'océan valaisan déchire le continent Européen, créant le micro-continent Briançonnais. La croûte continentale (en rose), est séparée par un fond océanique et la remontée de la lithosphère. Les sédiments de l'océan valaisan s'intercalent entre ceux de la Téthys. En gris : les argiles riches en débris végétaux déposés sur la Pangée au Carbonifère ; en orange : les dépôts de la jeune Téthys du Trias, dolomie, grès, gypse, cornieule ; en violet, le calcaire du Lias ; en jaune, le calcaire spathique du Dogger ; en bleu, le calcaire du Malm ; en bruns, les dépôts du fond de la Téthys du Jurassique, argile, calcaires gréseux, calcaire ; en vert , les sédiments de l'océan valaisan déposés au Crétacé, brèches, grès, argiles. L'échelle n'est pas respectée.

6 Nous avons remarqué depuis le début du terrain, que non seulement les roches sont organisées en grandes structures posées côte à côte, et que, de plus, elles semblent toutes avoir la même inclinaison. Selon la situation paléogéographique lorsque les roches ont été formées, ce sont des distances de plusieurs centaines de kilomètres qui séparaient les différents lieux. Actuellement, les distances sont beaucoup plus courtes, puisqu'il nous a fallu que quelques jours pour toutes les parcourir. D'autant plus qu'à vol d'oiseau, sans la dénivellation, on pourrait facilement tout traverser en une journée. La deuxième histoire, qui a eu lieu ces 100 derniers millions d'années, donne une réponse à toutes ces énigmes.

Nous avons vu à Pramplo, que le phénomène d'ouverture et de formation d'océans, qui a eu lieu du Primaire au Crétacé, s'est alors inversé. L'Afrique a arrêté de s'éloigner, et a commencé à se rapprocher jusqu'à entrer en collision avec le continent européen. C'est cette collision qui est à l'origine des Alpes. Il faut bien comprendre que ce phénomène a eu lieu par étapes. Lorsque l'Afrique s'est rapprochée, ce qui se trouvait entre l'Afrique et l'Europe a subducté, c'est-à-dire « est passé sous », sous les roches qui avançaient avec le continent africain. En premier l'océan téthysien, qui se trouvait entre le Briançonnais et l'Afrique (le piémontais, sur la figure 10), puis le Briançonnais, ensuite les roches de l'océan valaisan, et finalement la croûte continentale Européenne et ses sédiments. Mais si toutes ces roches avaient simplement passé sous l'Afrique, elles auraient fondu dans le manteau, et il n'en resterait aucune trace aujourd'hui. Or, nous avons marché sur des restes de ces paléo-océans et paléo-continentes.



L'explication est que lors d'une subduction, les plaques ne glissent pas tout simplement les unes contre les autres. Les forces de frottement sont gigantesques, et les roches n'y résistent pas : une partie de la roche est raclée par le continent qui passe dessus, comme un chasse neige qui enlève la couche supérieure de neige. Les sédiments, qui sont des roches plus souples, sont d'ailleurs plus facilement raclés. Lors d'une subduction, il se forme donc une accumulation de roches « raclées », à la limite entre le continent qui se rapproche, et celui qui subducte (Marthaler, 2001, p. 43). C'est sur cette accumulation de roche, appelée « prisme d'accrétion » que nous avons marché depuis le début du terrain, et c'est de ce prisme que sont constituées les Alpes (figure 17).

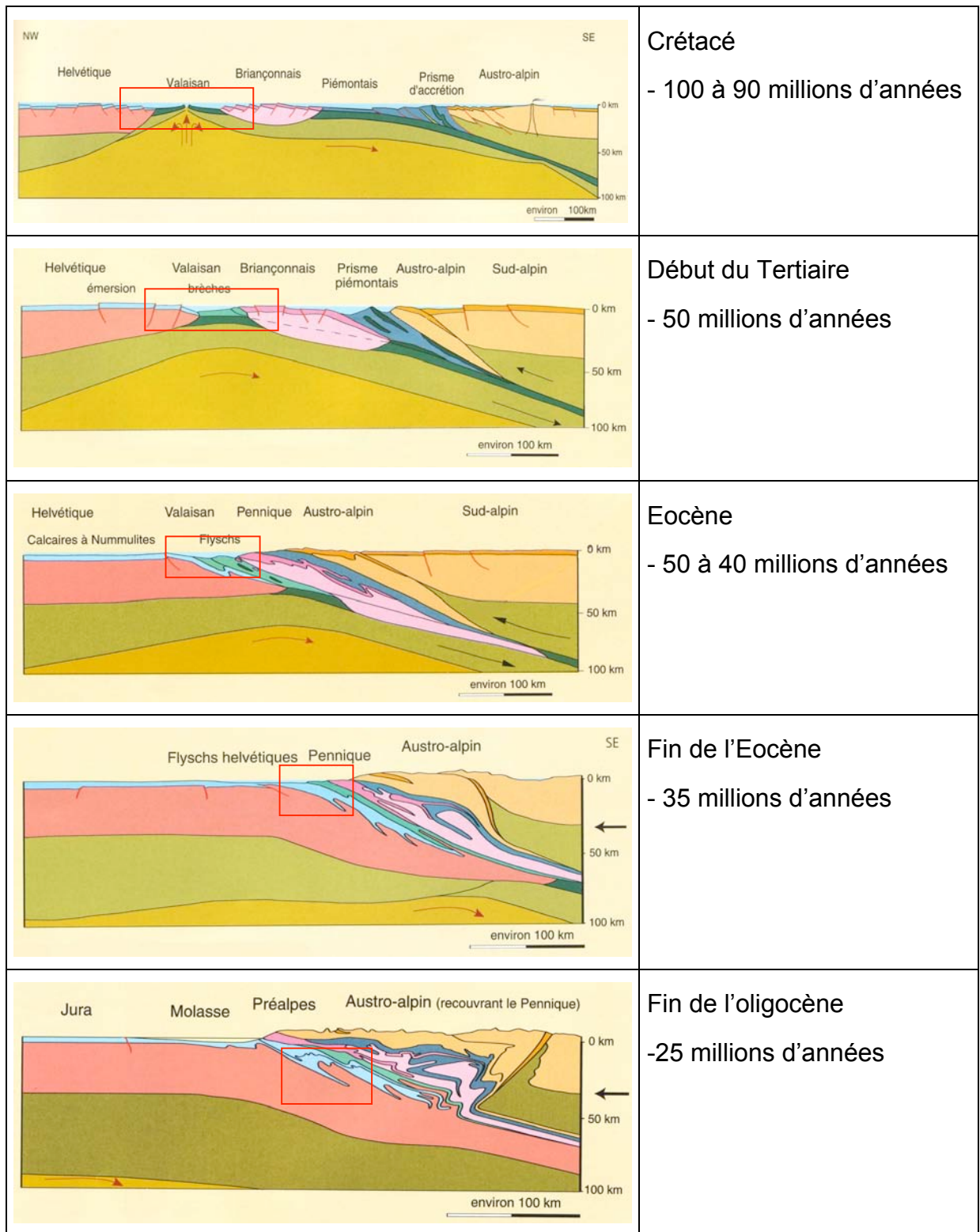


**Figure 17 : « Les prismes d'accrétions sont des rescapés, donc des témoins des océans disparus par subduction »**

Les sédiments océaniques s'accumulent entre la plaque inférieure et la plaque supérieure. Ils forment un prisme, qui s'agrandit au cours de la subduction, et forme des montagnes (tiré de Marthaler, 2001, p.43)

L'inclinaison que nous avons observée s'explique par ce plongement de roches sous l'Afrique et l'organisation en grands ensembles de roches posés côte à côte par ce phénomène en étapes. La première étape, pour le Val Ferret, a été le plongement du Briançonnais sous l'Afrique. Les restes de ce micro-continent, avec la zone Houillère, se sont accumulés dans le prisme. Lors de la deuxième étape, la subduction de l'océan valaisan, les sédiments de ce dernier se sont rajoutés dans le prisme, sous ceux du Briançonnais. La troisième étape est le plongement de la croûte européenne, que l'on retrouve ici sous forme de granite, dont les sédiments ont été raclés, et se sont accumulés entre les sédiments de l'océan valaisan, et la croûte de granite (tableau 1).

Lors de ce carambolage, les différentes couches de roches se sont plissées et écrasées. Les mêmes phénomènes que ceux que nous avons abordés à Pramplo ont lieu : le frottement entre les roches est énorme, et elles ne peuvent pas glisser les unes contre les autres.

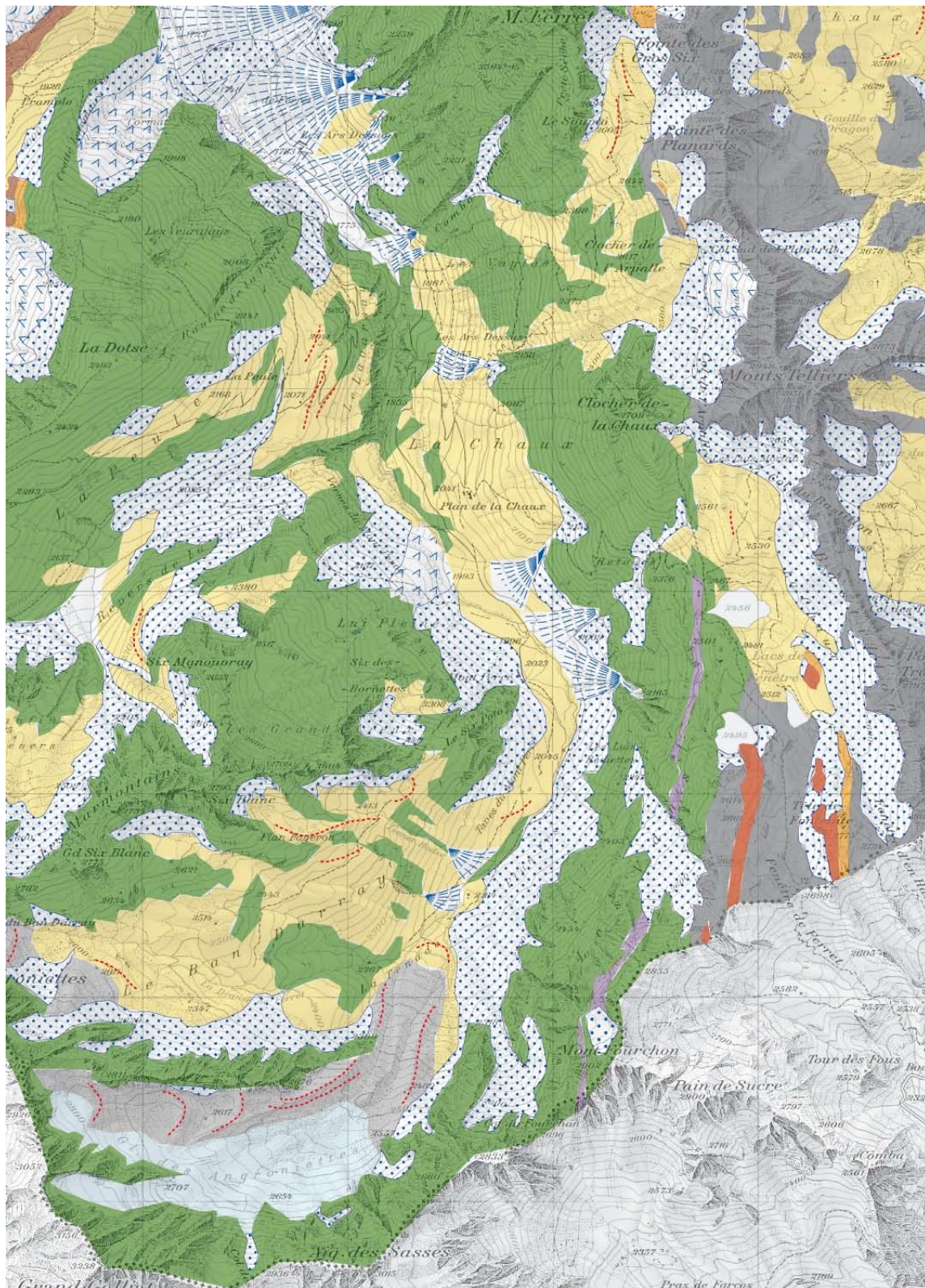


**Tableau 1 : Subduction et formation du prisme d'accrétion et orogénèse au Tertiaire**

La deuxième histoire, qui a duré environ cent millions d'années, est résumée dans ce tableau. En rouge, la croûte continentale européenne, avec ses sédiments, en bleu clair. En vert turquoise, les sédiments de l'océan valaisan, en rose, le Briançonnais, en bleu foncé, le Piémontais, et en jaune clair, les roches originaires d'Afrique. La zone correspondant aux roches que l'on trouve dans le Val Ferret est signalée par un carré rouge. (tiré de Marthaler, 2001)

Comme l'Afrique et l'Europe continuent leur mouvement, les couches se coincent et se plissent. Ce qui explique que la bande de calcaire du Lias (en violet sur la carte géologique figure 18) se trouve insérée dans les roches de l'océan valaisan. En même temps, l'Europe peine à glisser sous l'Afrique, et cela provoque un soulèvement, qui va ériger les montagnes. C'est ce qu'on appelle l'orogénèse (Marthaler, 2001, pp. 58-62)





**Figure 18 : Carte géologique de la montée aux Lacs de Fenêtre**

Légende selon les origines paléogéographiques :  : Sédiments de la Thétys profonde ;  : Sédiments du bords de la Thétys (Trias) ;  et  : Sédiments de l'océan valaisan (Crétacé et Lias resp.) ;  : Plage de sable bordant Thétys (Trias) ;  : plaine alluviale de la Pangée (Carbonifère) . Légende du quaternaire :  : moraines anciennes (Dryas) ;  : moraines récentes ;  : cordon morainique ;  : éboulis ;  : glissement de terrain ;  : tassement,  : cônes de déjection (voir légende complète tableaux 2 et 3)

## **Synthèse : de la formation des roches à aujourd'hui**

### *Méthodologie*

Les aléas du terrain nous ayant présenté un grand nombre d'informations de manière fragmentée, il est important de faire une synthèse, de manière à laisser dans l'esprit des élèves un enseignement structuré. De plus, cette ultime répétition des notions leur permettra de mettre les informations en lien, dans un ordre chronologique. Chaque enseignant pourra trouver dans ce chapitre les outils dont il a besoin, avec la carte géologique globale et sa légende, ainsi que l'histoire du Val Ferret contée dans son intégralité, pour procéder à cette récapitulation, selon son propre mode de fonctionnement. Une proposition de travail de groupe est développée, avec comme pré-supposé que cette synthèse sera d'autant plus efficace si ce sont les élèves qui effectuent le tri et l'organisation de ces informations. Ce chapitre peut alors se concevoir comme un corrigé.

Le travail de groupe pourrait s'organiser comme suit : attribuer, par exemple, une époque géologique à chaque groupe: 300 millions d'années (Primaire) à 250 millions d'années (Trias); 200 millions d'années (Jurassique) ; 150 millions d'années (Crétacé); de 100 millions d'années à 2 millions d'années (la subduction et l'orogénèse) ; les deux derniers millions d'années (les glaciations et l'érosion). Les élèves devraient, à l'aide de leur carnet de terrain et de documents mis à leur disposition, effectuer un exposé à présenter devant la classe, ainsi qu'un rendu écrit, pour leur sujet. Ces derniers seraient compilés et distribués à tous comme compte-rendu final de cet enseignement. De plus, cela constituerait un bon mode d'évaluation.





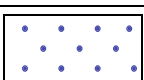
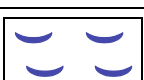

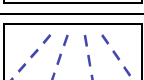

Pour les époques correspondant à la formation des roches, les groupes devront : situer sur la carte géologique complète les roches formées à cette époque ; citer leur nature, et le milieu dans lequel elles se forment, puis montrer la situation paléogéographique permettant d'expliquer ces milieux de formation. Un groupe devra expliquer le phénomène de subduction, et montrer comment et en quoi cela a organisé et affecté les roches du Val Ferret. Et le dernier groupe sur le quaternaire devrait expliquer les mécanismes à l'origine de l'érosion, situer leurs expressions sur la carte géologique, et expliquer leur importance dans l'histoire des Alpes et du Val Ferret.



## Carte géologique

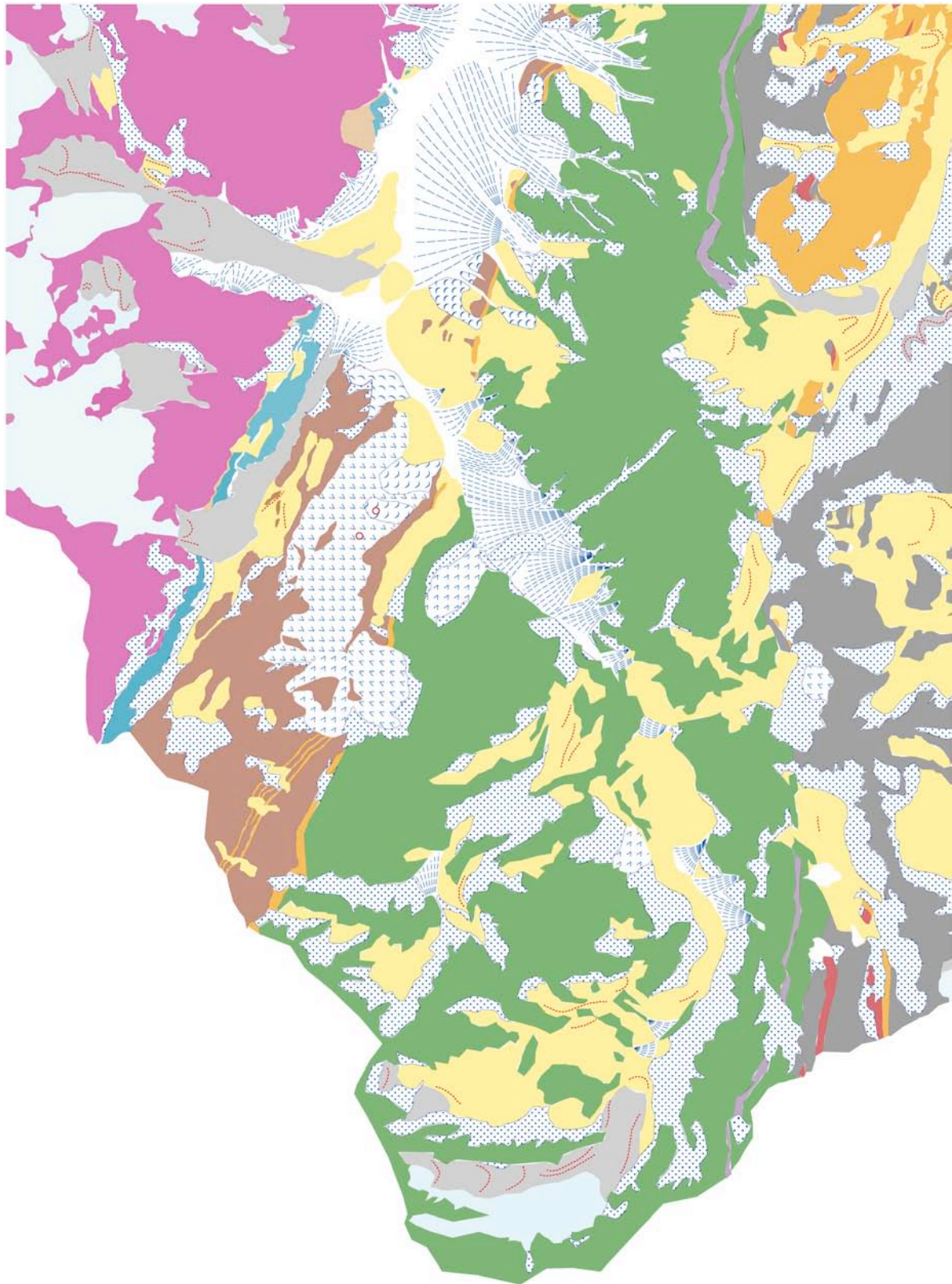
Cette carte constitue le support idéal pour une récapitulation des différentes roches et leur contact, rencontrés sur le terrain. Il est important de remarquer que les roches, organisées selon leur origine paléogéographique, forment des grandes structures posées côte à côte. Ces structures sont le reflet en surface de ce qui se passe en sous-sol. En effet, comme l'exprime l'inclinaison des roches, de la Dalle de l'Amône à la zone Houillère, ces structures s'enfoncent obliquement dans le sol, où ces contacts se prolongent et ce profondément dans la croûte terrestre.

En comparaison, les phénomènes du Quaternaire sont répartis partout sur la carte, comme si un artiste avait fait des retouches au pinceau. Ces phénomènes sont postérieurs à la formation des Alpes et les ont sculptées pendant ces deux derniers millions d'années. Contrairement aux roches, c'est un phénomène de surface, réparti non seulement sur le Val Ferret, mais sur l'ensemble des zones émergées du globe.

Légende	
	Glaciers
	Moraines (Dryas)
	Moraines récentes
	Cordon morainique
	Eboulis
	Glissements de terrains
	Tassement
	Cônes de déjection
	Source ferrugineuse

**Tableau 2: Légende des phénomènes du quaternaire, de la carte géologique (figure 19)**





**Figure 19 : Carte géologique du Val Ferret**

Cette carte globale permet d'avoir une vision d'ensemble des différentes roches composant le Val Ferret, ainsi que de leurs contacts. Les roches, colorées selon leur origine paléogéographique, sont disposées côte à côte. Cette disposition est expliquée par la paléogéographie et l'orogénèse alpine. Les phénomènes du quaternaire sont répartis sur l'ensemble du Val Ferret. En effet, ces phénomènes sont postérieurs à la formation des Alpes. Légendes, voir tableaux 2 et 3. (D'après l'Atlas géologique de la Suisse, feuilles Orsières et Grand-St-Bernard).

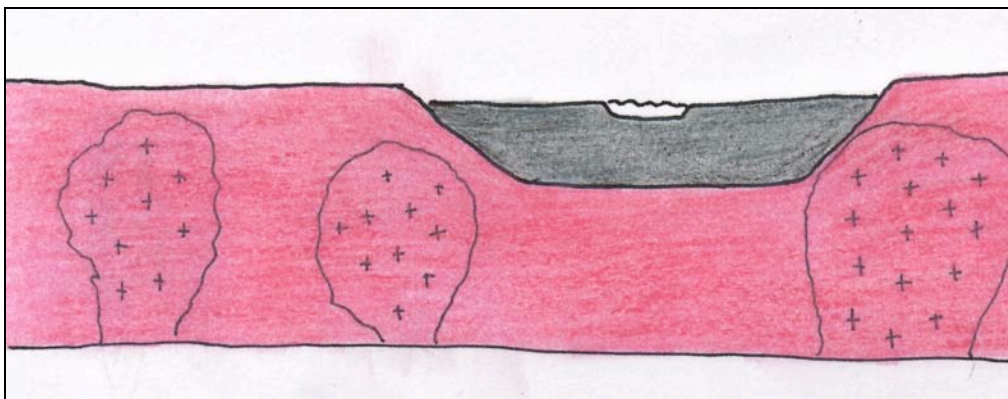
Légende	Domaine paléogéographique	Roches principales	Epoque selon l'échelle géologique	Age	Milieu de formation
	Pangée (Eurasie)	Granite	Avant le Carbonifère	300 m.a.	Remontée et refroidissement de magma dans la croûte terrestre
	Pangée lors de la formation des roches, puis Briançonnais	Schistes argileux noirs, Schistes ardoisiers, parfois lentilles de charbon	Carbonifère	300 m.a	Ancienne plaine alluviale remplie par les dépôts d'argile des rivières, riches en déchets organiques
	Marge de Téthys	Calcaire fin bleuté	Jurassique (Lias)	190 m.a.	Bordure de mer : eaux chaudes, avec présence de vie photosynthétique, entraînant la précipitation du calcaire
	Marge de Téthys	Calcaire spathique	Jurassique (Dogger)	170 m.a.	Bordure de mer : eaux chaudes, avec présence de vie photosynthétique, entraînant la précipitation du calcaire. Présence d'oursins et étoiles de mer
	Marge de Téthys	Calcaire fin, plaqueté	Jurassique (Malm)	150 m.a.	Bordure de mer : eaux chaudes, avec présence de vie photosynthétique, entraînant la précipitation du calcaire
	Marge de Téthys	Calcaires, Schistes argileux	Jurassique	190 – 150 m.a.	Dépôts d'argile et de sable dans les profondeurs de l'océan
	Marge de Téthys	Gypse ; Cornieule, Dolomies,	Trias	220 m.a.	Évaporation dans une mer peu profonde ; altération de récifs de calcaires. Climat chaud
	Marge de Téthys	Quartzite	Trias	220 m.	Anciens bancs de sable (plage), transformés en grès puis refondus lors de la formation des Alpes.
	Bassin Valaisan (Téthys profonde)	Schistes, Grès, Brèches, Calcaires	Crétacé	100 m.a.	Rifting, éboulements sous-marins, dépôts d'argile et de sable dans les profondeurs de l'océan, tremblements de terre

**Tableau 3 : Légende des roches de la carte géologique (figure 19), selon leur origine paléogéographique.**

## Une histoire de 300 millions d'années

Les roches du Val Ferret nous racontent une histoire. OÙ plutôt, trois histoires, qui retracent l'évolution paléogéographique et géologique de la région, de l'ère Primaire à aujourd'hui. Ces trois histoires correspondent à la formation des roches de la région, à l'orogénèse des Alpes, et à leur érosion.

Tout commence il y a 350 à 260 millions d'années, à la fin de l'ère primaire. A cette époque, le monde est constitué d'un continent unique, la Pangée. Une vaste chaîne de montagnes, la chaîne hercynienne, est en train de se former. Au cœur de ces montagnes en formation, des kilomètres sous la surface, des remontées de magma refroidissent lentement, pendant un million d'années, et forment un gros bloc de granite. Le climat tropical du Carbonifère favorise le développement de la végétation. Une véritable jungle tropicale recouvre le continent, et les bassins de rivières se remplissent peu à peu de sédiments, sables et argiles, très riches en matière végétale partiellement décomposée. Ces sédiments sont enfouis et les débris végétaux se transforment en charbon (figure 20).

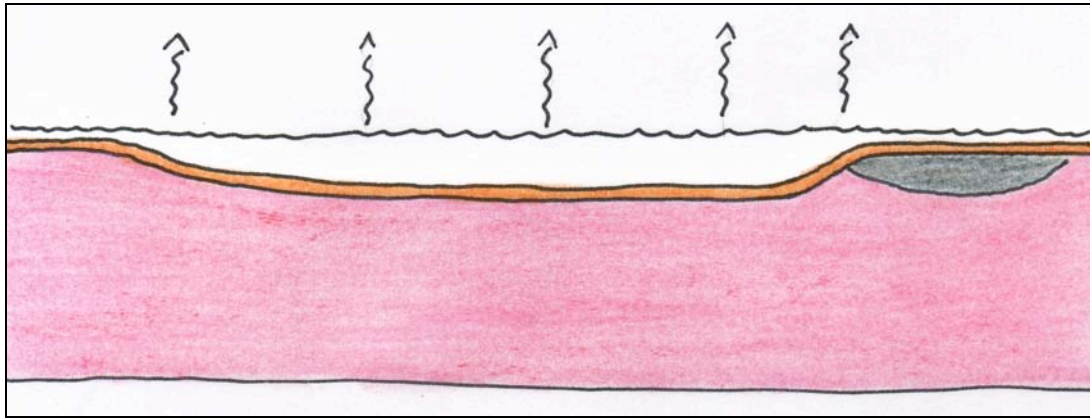


**Figure 20 : Reconstitution schématique d'une coupe dans la Pangée, au Carbonifère, il y a 300 millions d'années.**

Une plaine alluviale dépose de grandes quantités d'argile riche en débris végétaux (en gris). Dans la croûte continentale (en rose), des remontées de magmas refroidissent lentement (croix).

Dès le Trias (-250 millions d'années), un mécanisme de rifting se met en place, déchirant la Pangée. D'un continent unique se créent deux continents, séparés par deux océans, Téthys à l'est, et l'Atlantique à l'ouest. Toute la partie sud du continent Eurasiatique s'enfonce et se fait progressivement recouvrir par l'eau de mer. Au Trias, sur, la mer est peu profonde et le climat est très chaud. De nombreuses portions de cette marge continentale ne sont immergées qu'à marée haute, et l'évaporation est intense. De nombreuses mers fermées se forment et s'évaporent. Ainsi, gypse et dolomie se créent, tandis que les nombreuses plages de sable deviennent des gisements de grès (figure 21).





**Figure 21 : Reconstitution schématique d'une coupe dans la Pangée, au Trias, il y a 220 millions d'années.**

L'océan téthysien est en train de se former, et la partie sud du continent européen est immergée. Sur la croûte continentale (rose) et les gisements d'argile (gris), des dépôts sédimentaires se forment (orange). La forte évaporation, représentée par les flèches, et la faible profondeur de l'eau favorisent la formation de gypse et de dolomie. Les plages, grandes accumulations de sable deviendront du grès.

Pendant le Jurassique, l'océan s'agrandit, et ce qui sera un jour une portion des Alpes se retrouve situé de plus en plus profondément dans l'océan. Les bordures de mer foisonnent de vie abritant oursins et étoiles de mer. Le climat chaud aidant, les dépôts calcaires se généralisent. Des récifs de calcaires spathiques, puis de calcaire fin se forment. Les courants marins emportent les particules d'argiles dissoutes profondément dans l'océan, où elle se déposent. Une portion du continent européen émerge et forme une île : le Briançonnais (figure 15).

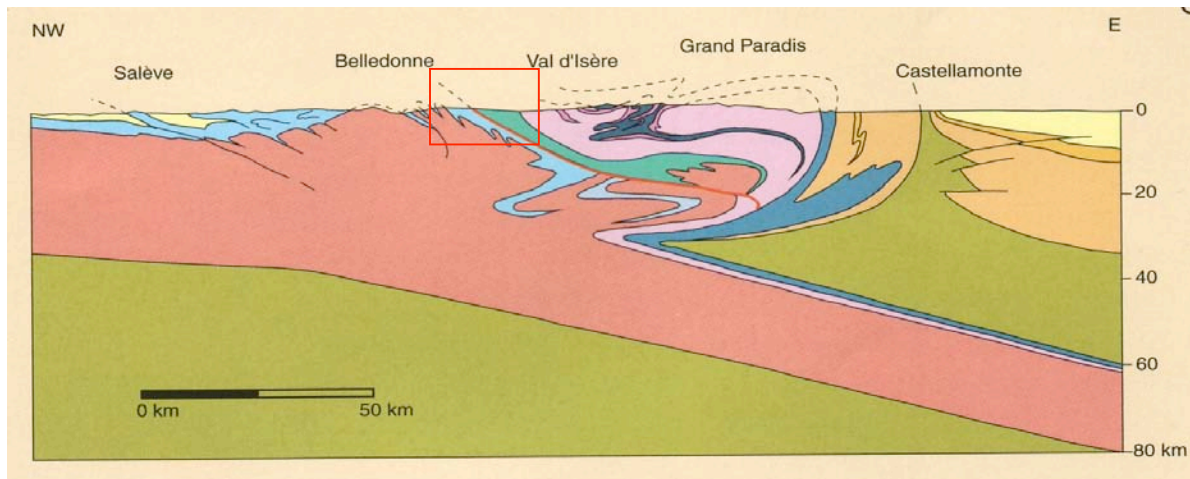
Au début du Crétacé, le rifting à l'origine de la séparation de la Pangée se complexifie. Une faille de rifting déchire le continent Européen, isolant le Briançonnais, qui fait maintenant partie d'un nouveau micro-continent, l'Ibérie. Le bras de l'océan Téthysien, comporte donc maintenant une fosse océanique profonde : le bassin valaisan. Ce nouvel océan qui s'ouvre est secoué de nombreux tremblements de terre. L'écroulement des bords du rifts génèrent des éboulements, qui se cimentent dans les fonds marins et deviennent des brèches. La forte influence des rivières et les fréquents tremblements de terres forment des flyschs (figure 16).

Ici se termine la première histoire. Il nous est donc possible maintenant de comprendre comment et où se sont formées les roches du Val Ferret. Pourtant, ces différentes roches se trouvaient, il y a 100 millions d'années, à plus de 500 kilomètres de distances. Lors des excursions, les élèves ont pu remarquer par eux même qu'aujourd'hui ces différentes zones sont regroupées les unes à côté des autres, et qu'il est possible facilement de les parcourir à pied en quelques jours. De plus, beaucoup moins de temps serait nécessaire s'il n'y avait la dénivellation. Le rapprochement de ces différentes roches constitue la deuxième histoire, qui a duré environ 100 millions d'années.

Au Crétacé se produit un changement fondamental : l'Afrique, qui s'éloignait jusqu'alors, inverse son mouvement et commence à se rapprocher. Ainsi débute un gigantesque épisode de subduction. Le Briançonnais s'engouffre sous les roches poussées par le continent Africain. Les roches du micro-continent sont raclées comme du beurre sur une tartine, et ainsi ne disparaissent pas totalement sous le continent qui se rapproche. Une partie du « beurre » s'accumule, et se rajoute dans le prisme d'accrétion ainsi formé. Mais la subduction ne s'arrête pas là, et progressivement, les millions d'années passant, l'ensemble des roches que nous avons décrit jusqu'ici vont y passer. Après le Briançonnais, suit l'océan valaisan, et finalement une partie du continent Européen. Les sédiments de l'océan valaisan vont donc se rajouter dans le prisme d'accrétion, sous les roches du Briançonnais. Les sédiments, déposés par l'océan Téthysien sur le continent européen, se font à leur tour racler par le prisme d'accrétion, poussés par l'Afrique qui se rapproche. Elles sont écrasées et plissées, comme un tapis déposé sur un escalator, qui n'aurait pas assez de place pour passer, et se rajoutent à leur tour dans le prisme (tableau 1).

Lorsque le continent Européen arrive au niveau de la subduction, ce sont véritablement deux continents qui rentrent en collision. L'Europe résiste, et ne s'enfonce pas facilement sous l'Afrique. Commence alors un soulèvement, à l'origine de l'orogénèse. Sous la force de ce carambolage titanesque, les roches accumulées dans le prisme, se plissent et se déforment, créant ainsi un futur casse-tête chinois pour les géologues (figure 20). De nombreuses roches sont modifiées par les gigantesques pressions et températures qui règnent à l'intérieur de cette chaîne de montagne en formation : l'argile se transforme en schiste et le grès en quartzite. Les mouvements des continents sont résumés dans le tableau 4.

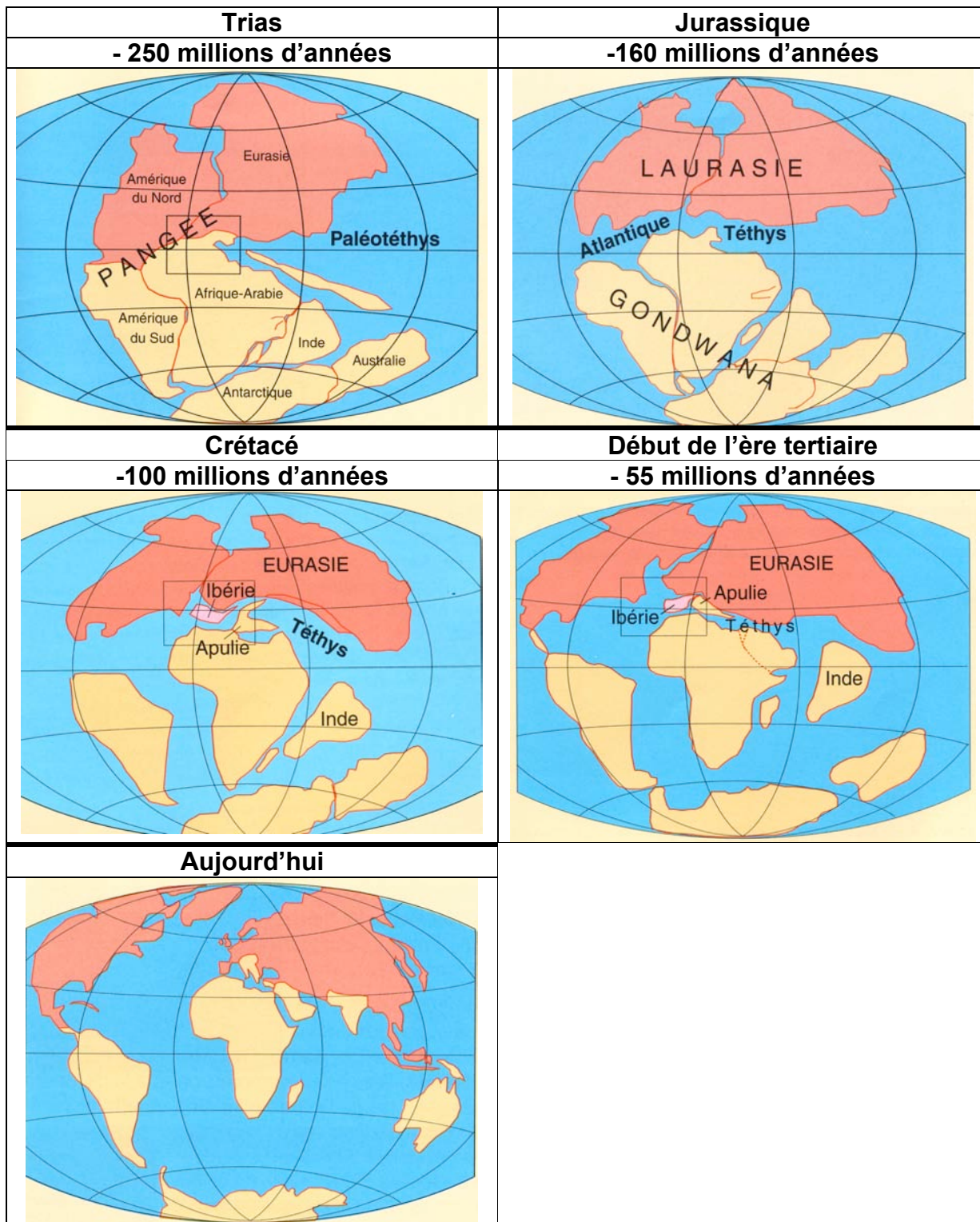
C'est pendant les deux derniers millions d'années qu'a lieu la troisième histoire, celle de l'érosion des Alpes. Les glaciations du quaternaire vont raboter l'ensemble des roches se trouvant à la surface : le climat se refroidit, et de gigantesques glaciers s'installent dans les Alpes. Ils sculptent et approfondissent les vallées, et découvrent des roches qui se trouvaient, deux millions d'années auparavant, profondément enfouies dans la montagne (figure 20). Ces derniers dix mille ans, le climat se réchauffe, et les glaciers fondent, laissant les montagnes qu'ils ont creusées sans le soutien de la glace. Les zones de fortes dénivellation sont ainsi sujettes à des éboulements. L'eau de pluie, l'eau de fonte des glaciers et des neiges sculptent à leur tour la montagne, emportant les cailloux, et râpant la roche. L'eau imbibe les moraines, qui se tassent et glissent sur la roche quand la dénivellation est trop grande. Les rivières emportent au loin les débris des montagnes, et les déposent au fond des rivières, des lacs et des océans, entamant ainsi un nouveau cycle.



**Figure 20 : Situation aujourd’hui**

Cette coupe ne se situe pas au même emplacement que celle du tableau 1. Elle illustre, dans l’encadré rouge, une situation proche de celle du Val Ferret, au niveau de la succession des différentes nappes. En rouge, la croûte continentale européenne, avec ses sédiments, en bleu clair. En vert turquoise, les sédiments de l’océan valaisan, en rose, le Briançonnais, en bleu foncé, le Piémontais, et en jaune clair, les roches originaires d’Afrique. Les pointillés montrent comment ces structures se prolongeaient avant l’érosion du quaternaire. (tiré de Mathaler, 2001, p.73)





**Tableau 4: Récapitulation des mouvements des continents de l'ère primaire à aujourd'hui.**  
(Tiré de Marthaler, 2001)

## CONCLUSION

Ce travail a proposé une avancée progressive et cohérente dans le monde de la géologie, pour des jeunes qui ne disposent pas encore de toutes les connaissances et le recul que nous avons en tant qu'adulte. Un défi proposé par le travail de terrain, qui demande de démêler et de traduire toutes les informations fournies en vrac par les paysages. Au long de différentes balades proposées, nous avons progressé de manière quasi-chronologique dans l'histoire paléogéographique des Alpes, avec quelques sauts dans le temps pour découvrir les phénomènes d'érosion du quaternaire. Avec l'avancée dans les millions d'années, la complexité est allée croissante. L'histoire débute par un continent unique, et aboutit dans un complexe carambolage de différentes roches. L'approche progressive a permis de comprendre petit à petit, les connaissances de base de la géologie. La base didactique des trois histoires a donné un cadre servant de point de repère. Les explications, organisées ainsi, se structurent dans l'esprit et permettent facilement d'avoir une vision globale de l'histoire des paysages. Cette approche, complétée par des schémas explicatifs, devrait donner à tout un chacun les outils nécessaires à la compréhension des notions de bases de la formation des Alpes.

L'organisation des postes selon le schéma des trois couleurs suppose qu'il est possible de complètement différencier les trois histoires dans un paysage, ce qui n'est souvent pas le cas. Ainsi, la couleur correspondant à un poste peut être vue comme le thème dominant. L'organisation systématiquement chronologique des explications permettant donc de compléter ce thème en le remettant dans le contexte des trois histoires.

En tant qu'étudiante en master pour l'enseignement, je ne dispose que de connaissances géologiques superficielles. Cela comporte des avantages et des inconvénients. En tant que néophyte moi-même, ma vision des phénomènes en jeu est plus simple que celle d'un spécialiste, et peut-être plus proche de celle des élèves. D'un autre côté, ces simplifications peuvent apparaître simplistes aux yeux d'un géologue, et comporter quelques inexactitudes. Par exemple les schémas explicatifs produits correspondent à ma conception personnelle du phénomène. Un spécialiste peut produire des schémas simplifiés, mais néanmoins exacts, en termes d'échelle et d'organisation des roches et de leurs contacts. L'objectif étant de faire comprendre ces phénomènes aux élèves, la priorité est de produire des illustrations facilement compréhensibles et synthétiques. Si les élèves sont intéressés, et désirent poursuivre dans cet apprentissage, ils auront tout le loisir d'apprendre les subtilités et complexités de ces phénomènes lors de la poursuite de leurs études. Il ne faut également pas perdre de vue que, pour une partie d'entre eux, le gymnase constitue la seule occasion qu'ils auront d'aborder ces notions. Pour moi, l'objectif

est que ces connaissances restent en eux et fassent partie de leur culture générale, ce idéalement pour toute leur vie.

Une des deux cartes géologiques ayant servi de référence à ce travail, celle du Grand St-Bernard, date de 1958. Certains phénomènes récents, comme les glaciers et les éboulements, ont pu évoluer depuis. De plus, cette carte a été établie à partir d'un agrandissement d'une carte topographique au 1 : 50'000. Cela pourrait constituer un sujet de travail pour un géologue ou un géographe qui, grâce à ses connaissances plus approfondies dans ce domaine, pourrait actualiser les phénomènes du quaternaire, et améliorer les aspects géologiques et scientifiques des schémas explicatifs produits. Pour approfondir et améliorer ce travail, le chapitre sur la tectonique des plaques pourrait être développé. De plus un biologiste pourrait ajouter de nombreux enseignements intéressants : étagement de la végétation avec l'altitude, colonisation des moraines par la végétation, observations d'un marais de montagne ou étude de la faune de la région

Une des meilleures façons d'améliorer ce travail reste de le mettre en pratique. C'est à travers les élèves, leurs questions et facultés de compréhension que l'on pourra au mieux détecter les points à approfondir. Ce travail constitue un matériel de base, destiné à mûrir et à évoluer, à travers son utilisation par les enseignants.

## REMERCIEMENTS

Un grand merci à Michel Marthaler, Micha Schlup et Lenka Kozlik pour leur supervision et leur soutien et disponibilité en situation d'urgence.

Merci à Alexandre pour le cours sur illustrator, et les cartes topographiques.

Merci à Papa, Julien et Denyse pour la compagnie, les pique-niques, et l'assistance cartographie.

Merci à Martine et Guy-Michel pour l'accueil, le thé et les gâteaux à la cabane. Merci à Armelle, Stéphane, Alexia, Florian et Fabrice pour m'avoir accueilli à bras ouvert au chalet, ainsi que Monique, Louis-Philippe, et les garçons. Merci à Christiane pour les massages anti-courbatures et Benoît pour la montée en télésiège.

Merci finalement à Maman et Jean-Jacques pour m'avoir supportée en situation de stress, ainsi que pour le sponsoring des impressions du travail.



## BIBLIOGRAPHIE

Burri, M. , *Les roches*. Collection « Connaître la nature en Valais », Editions Pillet, Martigny, 1987.

Burri, M., Fricker, P., Grasmück, K, Marro, C., Oulianoff, N., *Feuille et notice explicative Orsières*, Swisstopo, Berne, 1992.

Burri, M., Marthaler, M., *Roches et minéraux : une introduction à la géologie*, Matériaux pour les cours et Séminaire, Institut de Géographie et de Géologie, Université de Lausanne, 1994.

Département de la formation et de la Jeunesse du Canton de Vaud, *Ecole de culture générale et de commerce (Ecole de diplôme) : Plan d'étude, Objectifs, méthodes et programmes des cours 2006-2007*, Etat de Vaud, 2005. (<http://www.dfj.vd.ch/dgep/dgvd/documents/index.html>).

Département de la formation et de la Jeunesse du Canton de Vaud, DGEP, *Ecole de maturité) : Plan d'étude, Objectifs, méthodes et programmes des cours 2006-2007*, Etat de Vaud, 2005. (<http://www.dfj.vd.ch/dgep/dgvd/documents/index.html>).

Département de la formation et de la Jeunesse du Canton de Vaud, DGEO, *Plan d'étude vaudois*, Etat de Vaud, 2006. (<http://www.vd.ch/fr/themes/formation/scolarite-obligatoire/plan-detude-vaudois/>).

Doudin, Pierre-André, Notes du cours *Psychologie du développement de l'enfant*, cours HEP Lausanne, semestre d'hiver 2006/2007.

Marthaler, M., *Le Cervin est-il africain ? Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète*, 3<sup>e</sup> édition, Editions L.E.P., Lausanne, 2001.

Marthaler, M., *La Pierreuse, un paysage pétrifié par le temps*, in : Starobinski, P. et al., *Aux lumières du Lieu : 15 itinéraires culturels dans les Alpes vaudoises, le Chablais et le Pays-d'Enhaut*, pp. 161-179, Editions L.E.P., Le Mont-sur-Lausanne, 2004.

Opération glaciers, Universités de Fribourg et de Zürich, <http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/glaciers/welcome.htm>.

Oulianoff, N., Trümpfy, R., *Feuille et notice explicative Grand Saint-Bernard*, in : *Atlas Géologique de la Suisse*, Swisstopo, Berne, 1958.

Pralong, J.-P., *Les plis du temps : découvrir la mer par la montagne : Pont-de-Nant – Col des Perris-Blancs - Javerne*, in : Starobinski, P. et al., *Aux lumières du Lieu : 15 itinéraires culturels dans les Alpes vaudoises, le Chablais et le Pays-d'Enhaut*, pp. 121-137, Editions L.E.P., Le Mont-sur-Lausanne, 2004.

Reynard, E., *Introduction à la géographie physique : 1<sup>ère</sup> année*. Matériaux pour les cours et séminaire N° 43, IGUL, Université de Lausanne, 2005.

Schumann, W., *Guide des pierres et minéraux*, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris, 1989.

Veyret, Y., Vigneau, J.-P. , *Géographie physique : Milieux et environnement dans le système terre*, Armand Colin, Paris, 2002.

Cartes topographiques tirées de : Swiss Map 25, Sector 4 - Valais/Wallis , DVD de Swisstopo, Berne.