

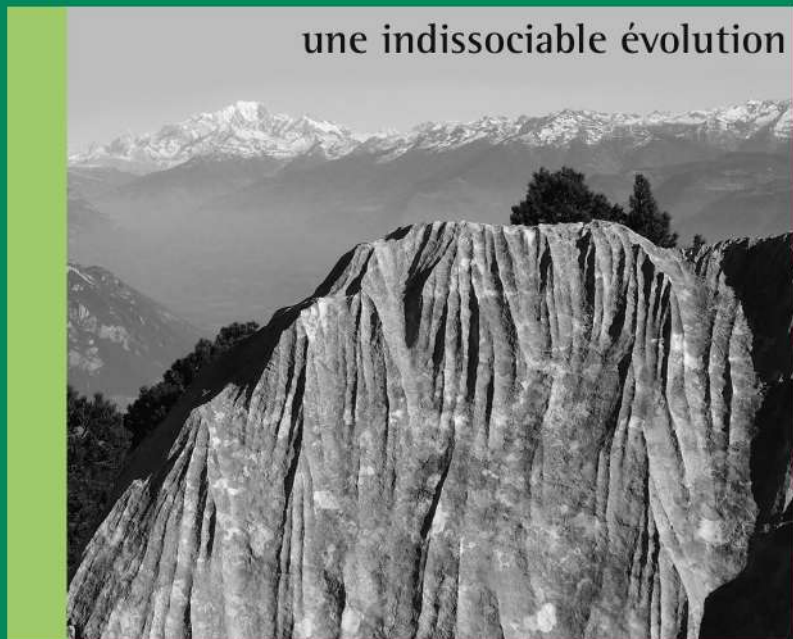


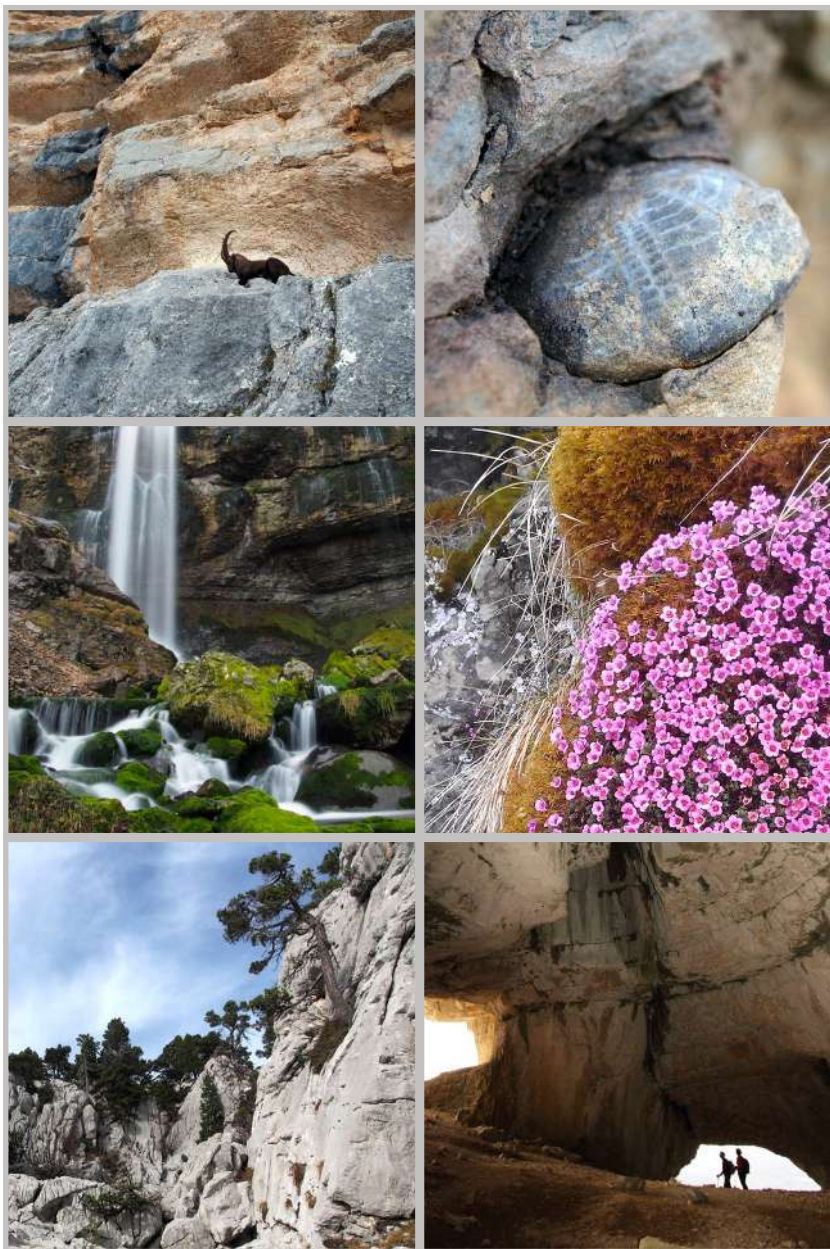
Réserve Naturelle  
HAUTS DE CHARTREUSE

# Reliefs

et environnements des Hauts de Chartreuse:

une indissociable évolution





**Photos** • Les phénomènes géologiques et les formes du relief sont des composantes essentielles de la valeur paysagère et écologique du site des Hauts de Chartreuse, en lien avec le vivant. Ils ont aussi une valeur pédagogique très importante.

Ce document a été conçu pour que, tant que possible, chaque chapitre et chaque texte puisse fonctionner indépendamment des autres. L'ordre de lecture proposé n'est qu'indicatif.

**Code couleur :** les textes de cet ouvrage sont répartis en 3 parties, identifiées ainsi :

- en vert clair, les textes « découverte pas à pas... »,

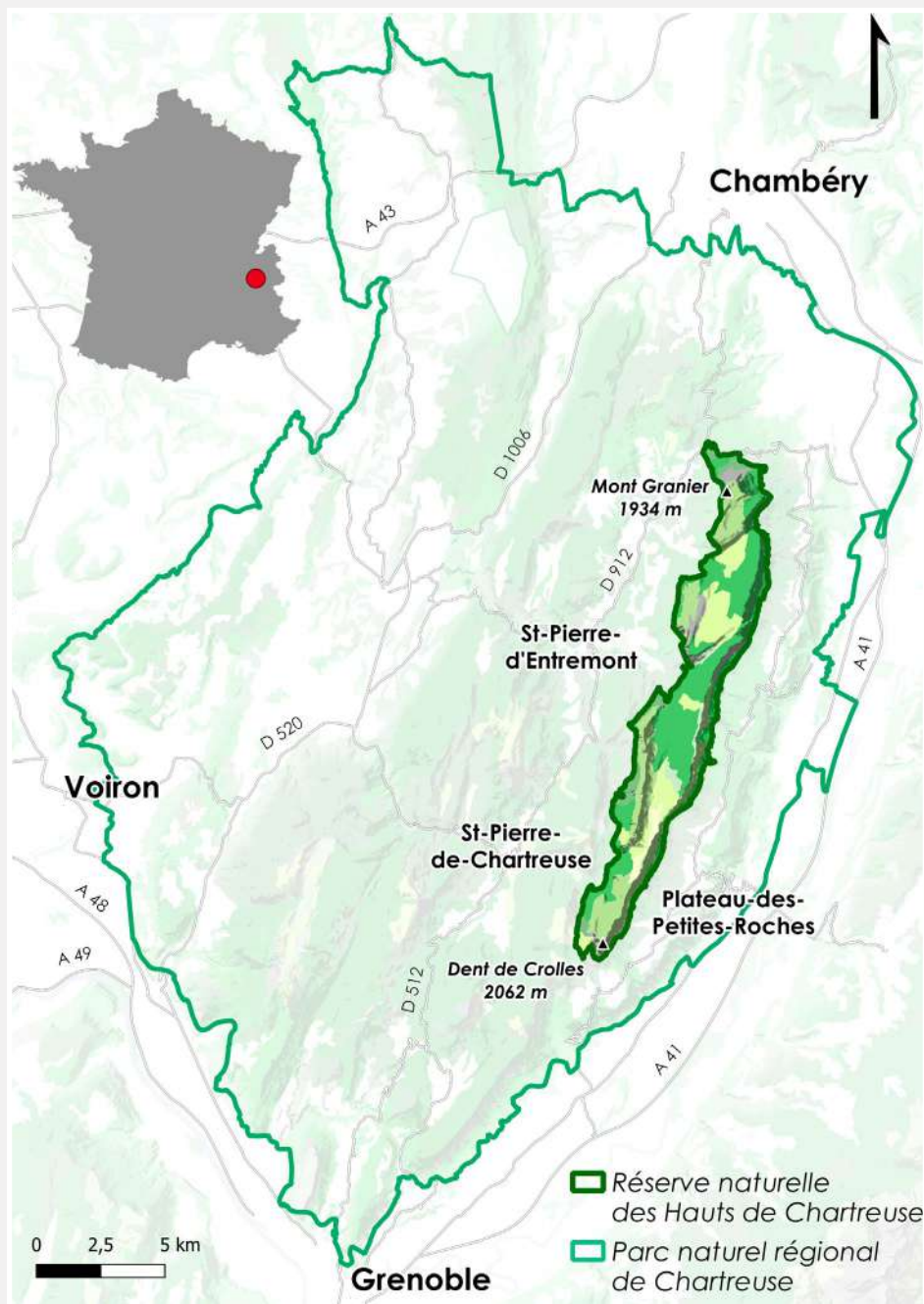
- en bleu, les textes « pour aller plus loin »,

- et en gris, les encarts thématiques dits « Zooms », pour approfondir des points particuliers

<b>Avant-propos</b> .....	7
<b>Introduction</b> .....	9
<b>Partie A / Les Hauts de Chartreuse &amp; la vallée des Entremonts :</b>	
<b>Un mosasaure au fil des grandes ères géologiques</b> .....	23
A1 – L'ère des fossiles et des (très) gros reptiles .....	25
A2 – L'ère des mammifères et des poissons en pleine évolution .....	25
A3 – L'ère des allées et venues des glaciers et de leurs compagnons de route (ou pas) ..	27
A4 – L'Holocène .....	27
A1 – L'ère secondaire en Chartreuse .....	29
A2 – L'ère tertiaire en Chartreuse .....	33
A3 – Les vigoureux plissements alpins et les glaciations du Quaternaire .....	37
A4 – Des derniers glaciers à aujourd'hui, l'Holocène .....	41
Tectonique, érosion et évolutions climatiques .....	44
<b>Partie B / Un modèle d'inversion du relief</b> .....	49
B1 – L'émergence de la structure plissée actuelle .....	51
B2 – L'évolution complexe vers un synclinal perché .....	53
B3 – Aujourd'hui .....	55
Des plissements harmonieux .....	56
Un relief de style « jurassien » ? .....	58
<b>Partie C / Les réseaux souterrains, un monde à part</b> .....	61
C1 – Situation au début du Pliocène (vers -4 MA) .....	63
C2 – Situation au milieu du Pléistocène (-700 000 ans à -300 000 ans) .....	65
C3 – Situation au début de l'Holocène (vers -10 000 ans) .....	67
C1 – À propos des environnements karstiques disparus de l'ère tertiaire .....	69
C1 à C3 – À propos des grandes grottes d'altitude de la réserve naturelle .....	69
C2 à C3 – Rôle des glaciations sur l'évolution	
des réseaux souterrains des Hauts de Chartreuse .....	72
Les concrétionnements dans les grottes et leur signification .....	77
Le karst, c'est quoi, c'est où ? .....	79
Des formes de relief très originales .....	79
Le karst et la circulation de l'eau .....	80
D'immenses réseaux de grottes .....	82

<b>Partie D / Évolution d'une dalle calcaire de –25 000 ans à aujourd'hui</b> .....	85
Des microreliefs étonnants .....	86
D1 – Entre –30 000 et –18 000 ans :	
la dernière génération de banquettes glacio-karstiques ? .....	89
D2 – Entre –9 000 et –6 000 ans, une période d'optimum climatique .....	91
D3 – Aujourd'hui : un héritage en fragile équilibre .....	93
D1 – La formation des banquettes glacio-karstiques .....	95
L'érosion glaciaire en pays calcaire, un rôle complexe et à nuancer .....	96
Le rôle des glaciations sur le relief actuel des Hauts de Chartreuse .....	99
D2 et D3 - L'évolution du climat et de la végétation durant la période holocène ...	100
La formation et l'évolution des sols et de la végétation	
du Tardiglaciaire à la période atlantique (–7 500 ans) .....	103
D3 - L'évolution des sols et de la végétation de la période atlantique à nos jour,	
sous l'influence précoce de l'Homme .....	107
L'optimum climatique holocène, une période charnière pour la formation des sols	
Comment et à quelle vitesse se sont formés les sols des Hauts de Chartreuse ? ...	116
D2 et D3 - La formation des microreliefs durant l'Holocène .....	119
<b>Partie E / Les formes karstiques de surface</b> .....	121
Les formes karstiques de surface .....	123
E1 – Le karst couvert à semi-couvert .....	123
E2 - Le karst dénudé ou « karrenfeld » .....	125
La question de la vitesse d'ablation du calcaire	
et du creusement des formes karstiques .....	126
La répartition des différents calcaires karstifiables : une influence majeure	
sur le paysage et les activités humaines des Hauts de Chartreuse .....	128
<b>Partie F / Les glaces cachées de Chartreuse</b> .....	133
Les glaces cachées de Chartreuse .....	135
Les glacières, originalités des karsts de montagne .....	136
Les glacières statiques .....	136
Les glacières dynamiques .....	136
Le suivi des glacières des Hauts de Chartreuse .....	138
Les éboulis froids .....	140
<b>Abécédaire des mots propres, noms communs et expressions</b> .....	144
<b>Bibliographie sélective</b> .....	311





À l'assaut du vaste vaisseau de pierre, le sentier parcourt un itinéraire audacieux. S'engageant dans une sombre forêt parsemée de blocs, il se faufile dans des dédales rocheux énigmatiques, esquive des cavités abyssales, s'aventure de failles en sangles, avant de gagner les prairies d'altitude. Parvenu aux crêtes sommitales, parmi les landes parfumées et les pins pluricentenaires, il s'abandonne sur un panorama vertigineux, dessinant une ligne étroite entre hautes parois et ambiance alpestre.

Au cœur des Préalpes du Nord, point de rencontre entre les grandes Alpes, le Jura et les collines de l'avant-pays, la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse est un site majestueux. Mêlant intimement patrimoine géologique, habitats naturels, faune et flore montagnardes aux nuances multiples, elle a beaucoup à montrer et protéger.

Proches de quelques villes agitées mais encore bien gardés par leurs hautes parois rocheuses, les vallons perchés des Hauts de Chartreuse ont de quoi mettre à l'épreuve votre forme physique, piquer votre curiosité scientifique et combler votre âme contemplative. Quelles que soient vos motivations pour suivre un des nombreux sentiers prenant d'assaut ce massif, nul doute que l'esprit des lieux vous gagnera. Proposant des ambiances paysagères très contrastées, le cadre est donné avant toute chose par des phénomènes géologiques et géomorphologiques variés et fascinants.

Ce premier guide thématique de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, loin d'être exhaustif, n'a qu'un modeste but. Il souhaite rendre compte de quelques éléments qui font beaucoup pour la richesse de ces lieux et de l'importance de les garder intacts. Dans ce guide, nous avons voulu vous présenter quelques aspects de la réserve naturelle à travers le prisme des reliefs et de leurs évolutions.

Avec l'aide d'une talentueuse illustratrice, nous avons tenté un exercice : la représentation, à différents niveaux d'échelles, de quelques éléments paysagers typiques des Hauts de Chartreuse, en essayant de faciliter la compréhension de leurs évolutions dans le temps.

Cet exercice s'est appuyé sur différentes études menées en Chartreuse ou sur des sites voisins avec lesquels la comparaison est justifiée du fait de leurs caractéristiques proches. Des choix difficiles de représentation ont dû être opérés.

Nous espérons, malgré tout, que ces illustrations susciteront la curiosité des petits et des grands qui apprécient ou découvrent la Chartreuse.

Puisse ce travail constituer une petite contribution à l'effort global du réseau des réserves naturelles de France pour protéger les géopatrimoines et inviter le public à les découvrir ou les redécouvrir, dans le plus grand respect des lieux.

*« Percevoir les choses comme étranges, c'est transformer son regard de telle manière que l'on a l'impression de les voir pour la première fois, en se libérant de l'habitude et de la banalité. Il ne s'agit pas seulement d'une contemplation purement esthétique, qui a sans doute une valeur capitale, mais d'un exercice destiné à nous faire dépasser notre point de vue partial et partiel, pour nous faire voir les choses et notre existence personnelle dans une perspective cosmique et universelle, de nous replacer ainsi dans l'évènement immense de l'univers, dans le mystère insondable de l'existence. »*

*Pierre Hadot, La philosophie comme manière de vivre.*



• Ammonite • Couloir karstique • Exurgence • Lapias de paroi



**Il est courant de dire, à propos des paysages de montagne, qu'ils nous semblent immuables.** Pourtant, ils sont composés de différents éléments, à grande ou petite échelle, qui ne cessent d'évoluer à bas bruit. L'Homme, bien sûr, a pris une part prépondérante dans leur transformation, y laissant l'empreinte directe ou indirecte de ses activités. Du fait des crises contemporaines auxquelles l'humanité est confrontée, qu'elles soient climatiques, sanitaires ou qu'elles concernent la perte de biodiversité, il n'a jamais été aussi difficile de distinguer les parts respectives directes de l'Homme et des processus naturels dans le façonnage du monde tel qu'il nous est donné aujourd'hui.

**La crise climatique engendrée par les rejets très excessifs de CO<sub>2</sub> liés aux activités humaines se superpose à des conditions naturelles toujours évolutives.** Ces évolutions-là sont difficiles à imaginer et pourtant elles nous sont révélées par la fonte actuelle des glaciers alpins, à travers les tourbes et les bois recouverts par les glaces autrefois, rejetés aujourd'hui et qui constituent des indices pouvant être précisément datés. Que nous enseignent-ils ? Depuis la dernière grande glaciation – terminée il y a environ 15 000 ans –, les Alpes ont été, sur plus de la moitié de la période, considérablement moins englacées qu'aujourd'hui. Au scénario, commode à se représenter, d'une longue et inexorable disparition des glaces depuis la fin de l'« âge des glaces » et considérablement accélérée par l'Homme aujourd'hui, il nous faut substituer l'idée de fluctuations beaucoup plus complexes, rapides et de grande importance.

**Alors que les glaciers alpins ne cessent de fondre sous nos yeux,** il peut être difficile d'imaginer que les Alpes ont été moins englacées durant plus de la moitié de la période allant des 15 000 dernières années à aujourd'hui...

Les glaciers ne sont que l'un des indices de ces fluctuations climatiques. Formation et érosion des sols, couverture végétale, populations animales, processus d'érosion et hydrologiques, entre autres, ont été également marqués par de nombreuses fluctuations dont les causes sont multifactorielles et interdépendantes.

Si ce constat scientifique ne peut guère nous consoler du changement climatique en cours, beaucoup trop rapide, et du trop peu de cas réservé à la nature par notre société, il nous invite à mettre les choses en perspective.



**Au moindre signe dans un sens ou dans l'autre, la nature réagit.** Il y a 6 500 ans, un rien dans l'histoire de la Terre, alors que nos ancêtres préhistoriques parcouraient déjà les mêmes lieux que nous, un climat légèrement plus chaud et humide que l'actuel offrait aux Alpes et à la Chartreuse un visage à la fois familier et très différent. Beaucoup d'éléments naturels participant aujourd'hui à l'identité intrinsèque de la Chartreuse n'existaient pas, ou de façon très discrète. La Chartreuse d'alors, sans les paysages traditionnels que nous choyons aujourd'hui, ne plairait peut-être pas à tous. Il y avait pourtant sans aucun doute de beaux milieux naturels, des ambiances et des espèces qu'il nous serait précieux de connaître, de comprendre, et une vie foisonnante.

De la glace, mystérieuse car invisible en surface, participe aux originalités notables du patrimoine naturel de Chartreuse : **glacières souterraines** et « **éboulis froids** » renferment des glaces de différentes origines. Là encore, l'intuition pourrait nous conduire à attribuer ce patrimoine particulier à des héritages de la dernière grande glaciation, mais il n'en est rien.

**Photo 2** • *Les glacières souterraines des Hauts de Chartreuse ne sont pas un héritage des glaciations de l'ère Quaternaire mais des glaces récentes. Elles sont principalement dues au regel de l'eau d'infiltration dans des cavités piégeant de l'air froid. Leur évolution fait l'objet d'un suivi associant la réserve naturelle et les spéléologues.*

Ces exemples soulignent l'intérêt pour nous tous de renouveler notre regard sur le patrimoine naturel. Celui-ci ne devrait pas être envisagé comme un ensemble d'objets figés ou des reliques à préserver, mais comme le résultat de processus vivants et fascinants en **constante évolution**. Cette approche dynamique ne signifie pas qu'il faille relativiser l'urgence de leur conservation et le respect des processus d'évolution naturelle, bien au contraire. **Renforcer la prise de conscience de leur valeur intrinsèque au regard de nos brèves vies humaines et de nos cycles de civilisations, c'est là tout le sens de leur protection.**

**La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, vaste vaisseau de pierre perché au-dessus de nos vallées animées**, forte de ses glaces mystérieuses, de ses ossements d'ours des cavernes, de ses abris préhistoriques, de ses sculptures rocheuses multimillénaires et de ses labyrinthes de réseaux souterrains, protège un site hors du commun. Sa configuration géographique originale doit demeurer la garantie d'une liberté particulière pour ses visiteurs. Une liberté supplémentaire, sur un site réglementé ? Peut-être celle, au cours d'une simple randonnée, de pouvoir prendre la mesure des processus naturels qui composent des paysages, dans des lieux qui n'ont pas encore été totalement aménagés, voire désenchantés par l'Homme.

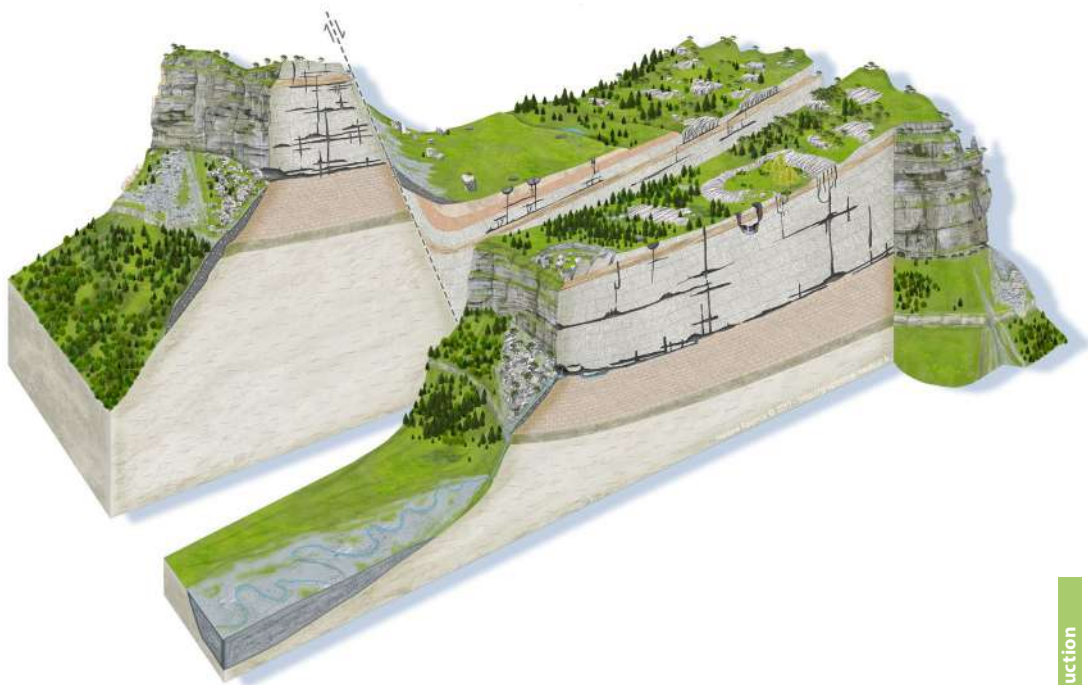


• *Lapiaz de ruissellement*

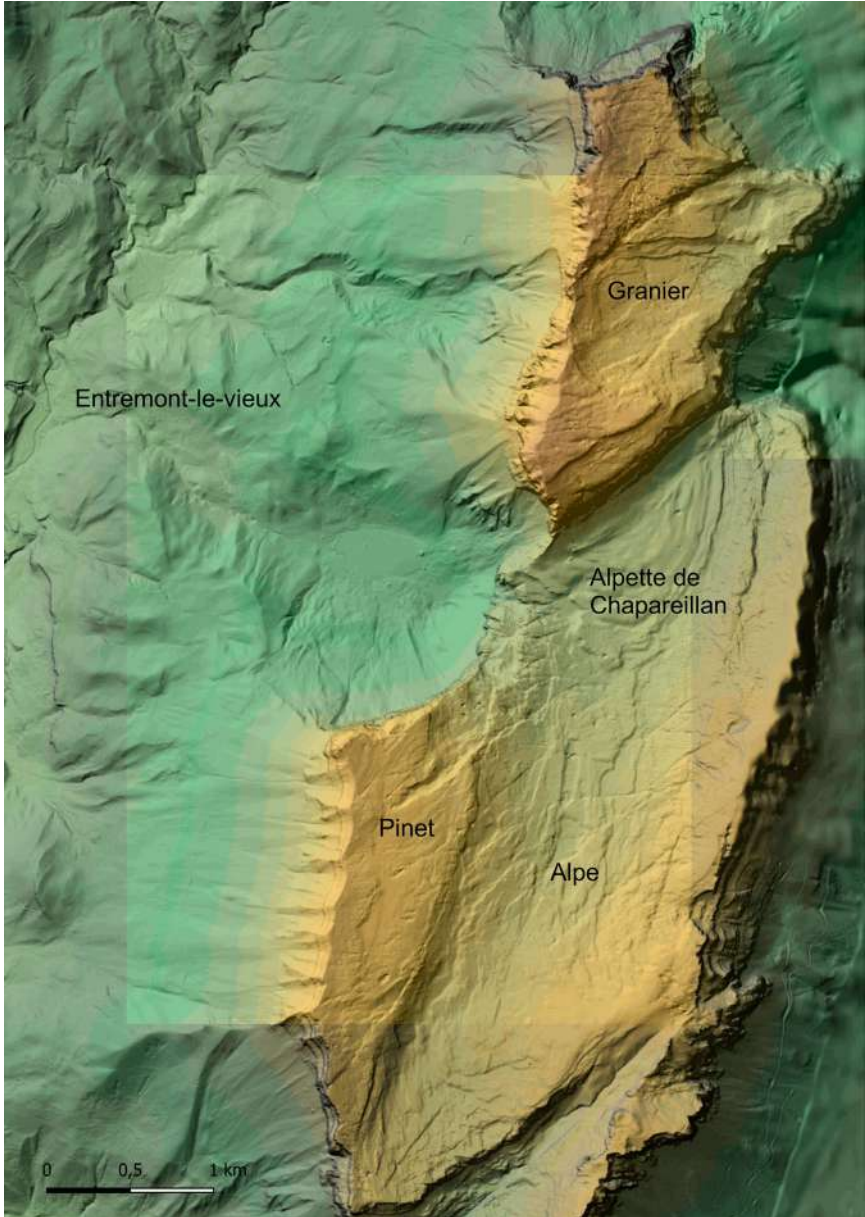
La liberté, aussi, de pouvoir s'immerger en douceur au cœur d'un site naturel qui nous parle du temps de la terre, des paysages, de l'adaptation de l'Homme à une géographie particulière.

**Cette liberté devient rare et précieuse, mais elle existe, pour qui a encore le temps de la marche contemplative en nature, dans le respect des lieux.**

**C'est le sens de la réserve naturelle.**



- Coupe simplifiée des Hauts de Chartreuse, en deux tranches distinctes.  
Les différentes couches rocheuses sont désignées et décrites en Annexe 4, page 17.  
Les formes de relief de surface et souterraines sont l'objet des différents chapitres.



- La télédétection par la technologie LIDAR (en anglais : Light Detection And Ranging), permet d'obtenir des images représentant très précisément le relief, sans la couverture végétale. Cet extrait cartographique représentant la topographie par ombrages et les altitudes par couleurs permet de saisir en un clin d'œil l'importance et l'originalité des microreliefs des Hauts de Chartreuse par rapport à ceux de la vallée des Entremonts, par exemple.



# CHARTE CHRONOSTRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE

www.stratigraphy.org

Commission Internationale de Stratigraphie

v 2019/05



Séries / Epoque	Etage/Age	CSGP	Age (Ma)	Ecosystème / Era	
				Ecosystème / Era	Système / Période
Holocène	Méholocène		présent	Quaternaire	Holocène
	Holocène		0,0117		
Pléistocène	Stépléocène		0,126	Quaternaire	Pléistocène
	Moyen		0,781		
	Calabrien		1,80		
Pliocène	Gélasien		2,58	Quaternaire	Pliocène
	Plaisancien		3,600		
Néogène	Zancéen		5,333	Cénozoïque	Néogène
	Tortonien		7,246		
	Messinien		11,63		
	Serravallien		13,82		
	Langhien		15,97		
	Burdigalien		20,44		
	Aquitanien		23,03		
	Chattien		27,82		
	Rupélien		33,9		
	Priabonien		37,8		
Paléogène	Bartonien		41,2	Cénozoïque	Paléogène
	Eocène		47,8		
Paléocène	Lutétien		47,8	Cénozoïque	Paléocène
	Yprésien		56,0		
	Thanétien		59,2		
	Sélandien		61,6		
	Danien		66,0		
	Maastrichtien		72,1 ± 0,2		
	Campanien		83,6 ± 0,2		
	Santonien		86,3 ± 0,5		
	Coniacien		89,8 ± 0,3		
	Turonien		93,9		
Supérieur	Cénomaniens		100,5	Cénozoïque	Supérieur
	Albien		-113,0		
Crétacé	Aptien		-125,0	Cénozoïque	Crétacé
	Barrémien		-129,4		
Inférieur	Hauteriviens		-132,9	Cénozoïque	Inférieur
	Valanginiens		-139,8		
Berriasiens		-145,0			

Séries / Epoque	Etage/Age	CSGP	Age (Ma)	Ecosystème / Era	
				Ecosystème / Era	Système / Période
Supérieur	Tithonien		152,1 ± 0,9	Jurassique	Supérieur
	Kimmeridgien		157,3 ± 1,0		
Moyen	Oxfordien		163,5 ± 1,0	Jurassique	Moyen
	Callovien		166,1 ± 1,2		
	Bathonien		168,9 ± 1,3		
	Aalénien		170,3 ± 1,4		
	Toarcien		174,1 ± 1,0		
	Pliensbachien		182,7 ± 1,0		
Inférieur	Sinemurien		190,8 ± 1,0	Jurassique	Inférieur
	Hettangien		199,3 ± 0,3		
Trias	Rhétien		201,3 ± 0,2	Mésozoïque	Trias
	Norien		-208,5		
Supérieur	Carlien		-227	Trias	Supérieur
	Ladinien		-237		
Moyen	Anisien		-242	Trias	Moyen
	Ottavien		247,2		
Inférieur	Changhsingien		251,2	Trias	Inférieur
	Wuchiapingien		251,902 ± 0,024		
Permien	Lopingien		254,14 ± 0,07	Mésozoïque	Permien
	Capitanien		259,1 ± 0,5		
Guadalupien	Worden		265,1 ± 0,4	Mésozoïque	Permien
	Roadien		268,8 ± 0,5		
Koungourien	Roadien		272,95 ± 0,11	Mésozoïque	Permien
	Artinskien		283,5 ± 0,6		
Cisuralien	Artinskien		290,1 ± 0,26	Mésozoïque	Permien
	Sakmarien		293,52 ± 0,17		
Assélien	Assélien		298,9 ± 0,15	Mésozoïque	Permien
	Gzhélien		303,7 ± 0,1		
Supérieur	Kasimovien		307,0 ± 1,1	Mésozoïque	Permien
	Bashkiriens		315,2 ± 0,2		
Moyen	Serpukhovien		323,2 ± 0,4	Mésozoïque	Permien
	Viséens		330,9 ± 0,2		
Inférieur	Viséens		346,7 ± 0,4	Mésozoïque	Permien
	Tournaisiens		358,9 ± 0,4		

Séries / Epoque	Etage/Age	CSGP	Age (Ma)	Ecosystème / Era	
				Ecosystème / Era	Système / Période
Supérieur	Famennien		372,2 ± 1,6	Dévonien	Supérieur
	Frasnien		382,7 ± 1,6		
Moyen	Givétien		387,7 ± 0,8	Dévonien	Moyen
	Eiféliens		393,3 ± 1,2		
Inférieur	Emsien		407,6 ± 2,6	Dévonien	Inférieur
	Pragien		410,8 ± 2,8		
Silurien	Lochkovien		419,2 ± 3,2	Silurien	Inférieur
	Pridoli		423,0 ± 2,3		
Ludlow	Ludfordien		425,0 ± 0,9	Silurien	Moyen
	Gorstien		427,4 ± 0,5		
Wenlock	Homériens		430,5 ± 0,7	Silurien	Moyen
	Stenwoodien		433,4 ± 0,8		
Llandovery	Télychien		438,5 ± 1,1	Silurien	Supérieur
	Aéronien		440,8 ± 1,2		
Rhuddanien	Rhuddanien		443,9 ± 1,5	Silurien	Supérieur
	Hirnantien		445,2 ± 1,4		
Ordoïvien	Katien		453,0 ± 0,7	Ordoïvien	Supérieur
	Sandbien		458,4 ± 0,9		
Moyen	Dartmoulien		467,1 ± 1,1	Ordoïvien	Moyen
	Dapingien		470,0 ± 1,4		
Inférieur	Floien		477,7 ± 1,4	Ordoïvien	Inférieur
	Tremadocien		485,4 ± 1,9		
Furongien	Étage 10		-485,5	Ordoïvien	Moyen
	Jiangshaniens		-494		
Pabien	Pabien		-497	Ordoïvien	Moyen
	Guzhangien		-500,5		
Miaoliangien	Drumien		-504,5	Ordoïvien	Moyen
	Wulien		-509		
Séries 2	Étage 4		-514	Ordoïvien	Moyen
	Étage 3		-521		
Terreneuviens	Étage 2		-529	Ordoïvien	Moyen
	Fortunien		541,0 ± 1,0		

Séries / Epoque	Etage/Age	CSGP	Age (Ma)	Ecosystème / Era	
				Ecosystème / Era	Système / Période
Néo-protéozoïque	Édiacarien		~ 635	Protéozoïque	Néo-protéozoïque
	Cryogénien		~ 720		
Mésoprotozoïque	onien		1000	Protéozoïque	Mésoprotozoïque
	Sténien		1200		
	Ectasian		1400		
	Calymmien		1600		
Paléoprotozoïque	Stathériens		1800	Protéozoïque	Paléoprotozoïque
	Crosirien		2050		
Néo-archéen	Rhyaciens		2300	Protéozoïque	Néo-archéen
	Sidériens		2500		
Més-archéen			2800	Protéozoïque	Més-archéen
			3200		
Paléo-archéen			3600	Protéozoïque	Paléo-archéen
			4000		
Eo-archéen			~ 4800	Protéozoïque	Eo-archéen
			~ 4800		
Hadéen			~ 4800	Protéozoïque	Hadéen
			~ 4800		

La définition de la limite inférieure de chaque unité formée par un point précis dans la coupe d'un stratotype de limite global (GSSP-Global Boundary Stratotype Section and Point) est encore en cours, y compris celle des unités de l'Archéen et du Protéozoïque, auparavant définies par des âges absolus (GSA-Global Stratigraphic Age). Les noms en italique indiquent des unités informelles et l'espace pour des unités à nommer. Les chartes et des informations plus détaillées sur les GSSP sont disponibles sur le site web de l'International Commission on Stratigraphy (ICS) [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org).

Les âges numérotés sont sujets à révision et ne définissent pas les limites du Phanérozoïque et de l'Éocène, seuls les GSSP le font. Pour les limites du Phanérozoïque qui n'ont pas de GSSP ratifiés ou des âges numérotés caduques, un âge numérique approximatif (\*) est indiqué.

Les sous-séries/sous-époques ratifiées sont abrégées par S (Supérieur), M (Moyen) et Inférieur). Les âges numérotés de tous les systèmes à l'exception du Quaternaire, Paléogène supérieur, Crétacé, Trias, Permien et Précambrien sont liés de l'ère A Geological Time Scale 2012 par Gradstein et al. (2012) ; ceux du Quaternaire, Paléogène supérieur, Crétacé, Trias, Permien et Précambrien ont été définis par les sous-commissions de l'ICS.

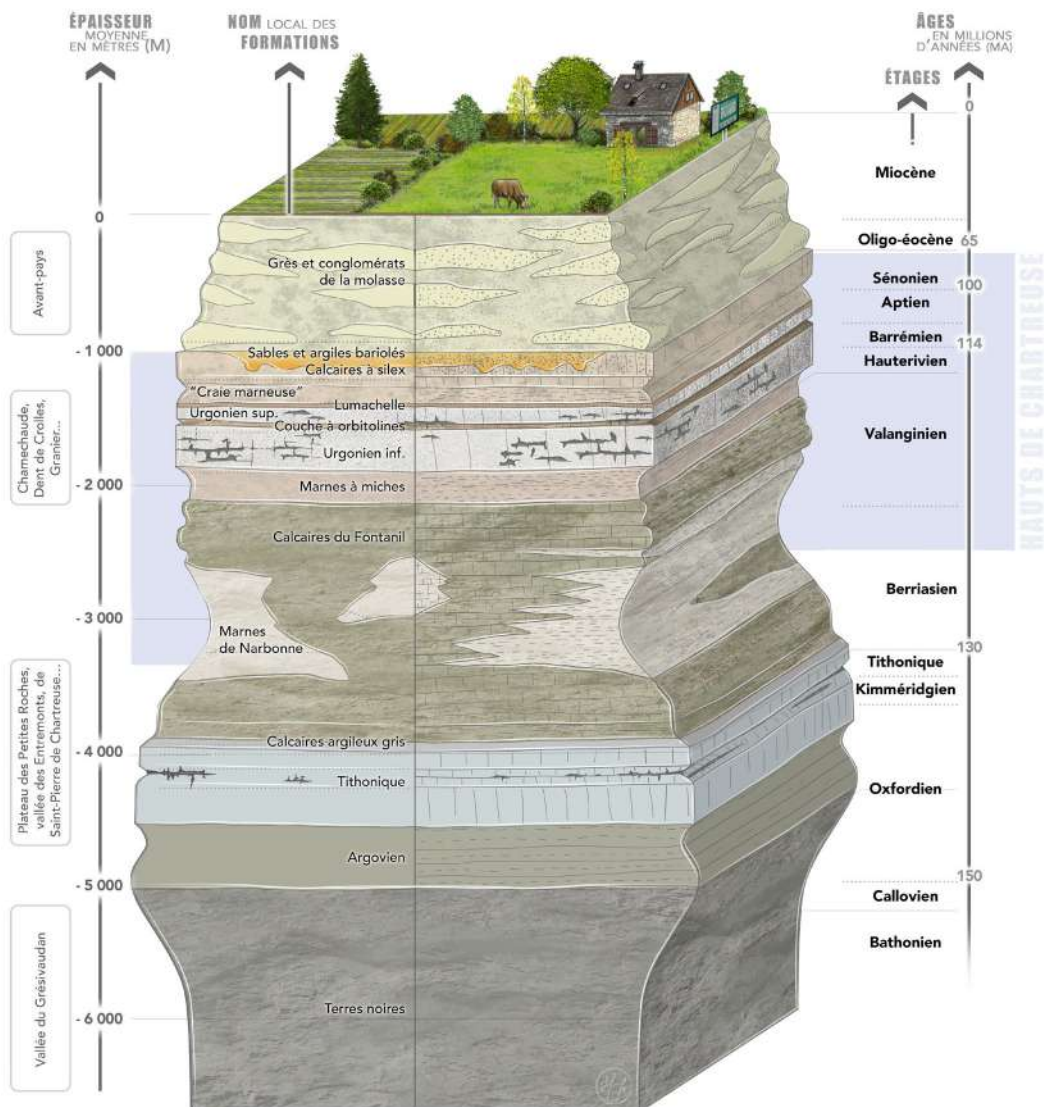
Les couleurs suivent les recommandations de la Commission de la Carte Géologique du Monde ([www.cgm.org](http://www.cgm.org)).

Chart faite par K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, J.X. Fan (© Commission internationale de Stratigraphie, Ma 2019)

Créateur: Cohen, K.M., Frenoy, S.C., Cohen, P.L., Fan, J.X. (2013) updated. The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36:199-204.

URL : <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratigraphicChart2019-05/French.pdf>

## Annexe 3 • Échelle stratigraphique générale de la Chartreuse et positionnement des terrains observables sur les Hauts de Chartreuse



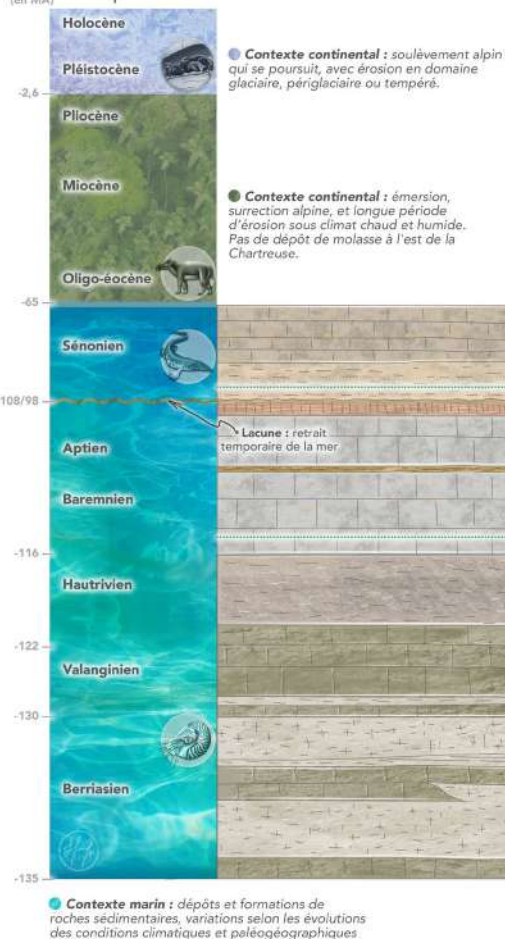
- Les rentrants et sortants représentent la résistance différentielle indicative des roches face à l'érosion. Les niveaux en proéminence forment généralement des parois rocheuses visibles dans le paysages, les zones en retrait des talus ou des dépressions masqués par la végétation. Les grottes signalent les principaux niveaux karstifiables. La colonne est représentée comme si la tectonique et les plissements n'avaient rien modifié, mais sur le terrain et selon les secteurs, d'importants niveaux ont été érodés, décalés, déplacés, plissés...



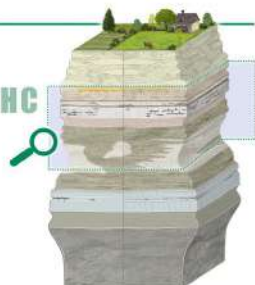
## Annexe 4 • Colonne stratigraphique des Hauts de Chartreuse et profil de versant schématisique de ses versants de bordure

### ÂGES OU ÉPOQUES GÉOLOGIQUES ET CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

(en MA)



RNHC



### DESCRIPTION DES PRINCIPALES STRATES ROCHEUSES

• **Calcaires blancs à silex**, lités en bancs de 0,3 m à 1 m. Les silex sont le plus souvent de couleur miel.

• **Craies marneuses** : gris clair à patine blanche, s'effritent facilement.

• **Lumachelle**. Calcaires grossiers peu cimentés à patine rouge, composés de nombreux débris.

• **Calcaires urgoniens**, très clairs et massifs, pâte finement cimentée par des cristallisations de calcite pure. Intercalation d'un niveau marneux, la **couche à orbitolines** (formant une vire).

• **Marnes noires à miches**. Tendance à la fragmentation en boules dans certains bancs.

• **Calcaires du Fontanil**. Bicolores, patine rouge. Bancs métriques à décamétriques séparés par des joints argileux interstrates fréquents.

• **Marnes de Narbonne**. Couleur gris bleuté à patine jaunâtre. Litage fin souligné par de petits lits plus calcaires d'épaisseur décimétrique.

Disparition progressive des niveaux supérieurs plus ou moins avancée selon leur position dans le relief



Niveaux complètement disparus sur la RNHC



Niveaux en cours de démantèlement sur la RNHC

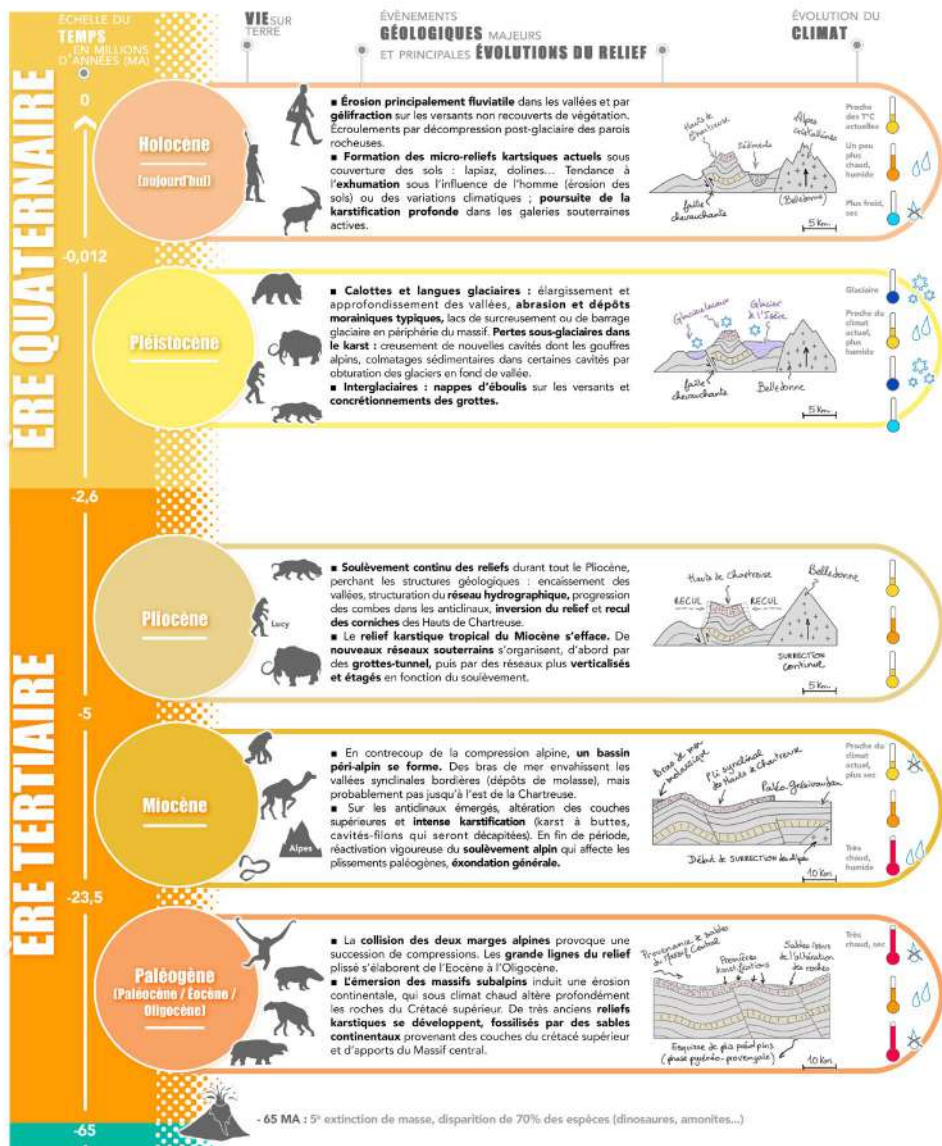
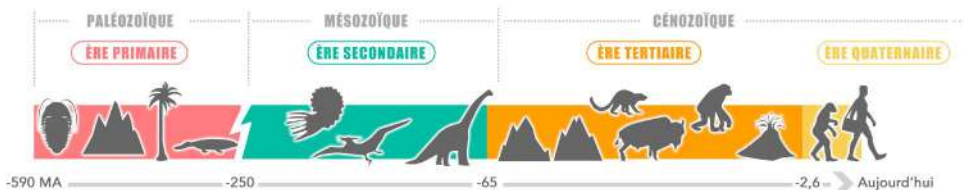


Niveaux encore enfouis, attaqués seulement sur les bordures

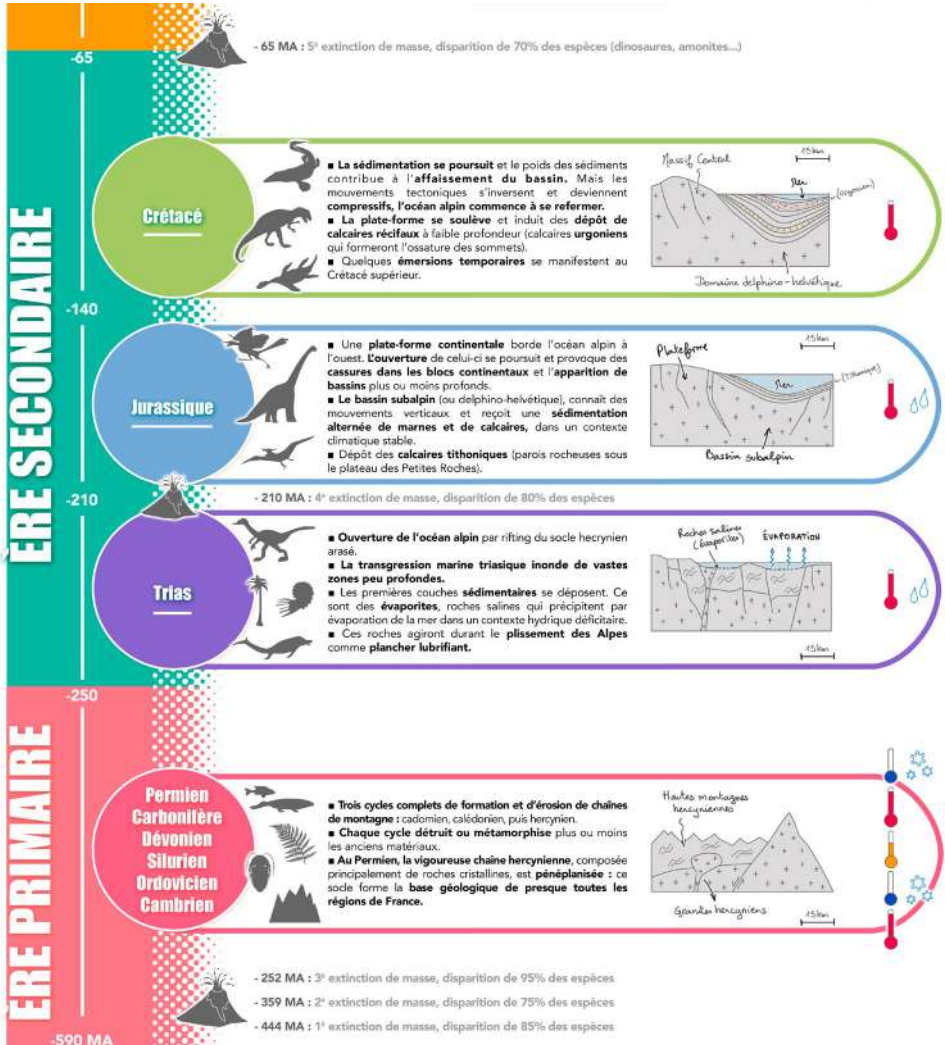
Éboulis **holocènes**  
Moraines et éboulis **pléistocènes**

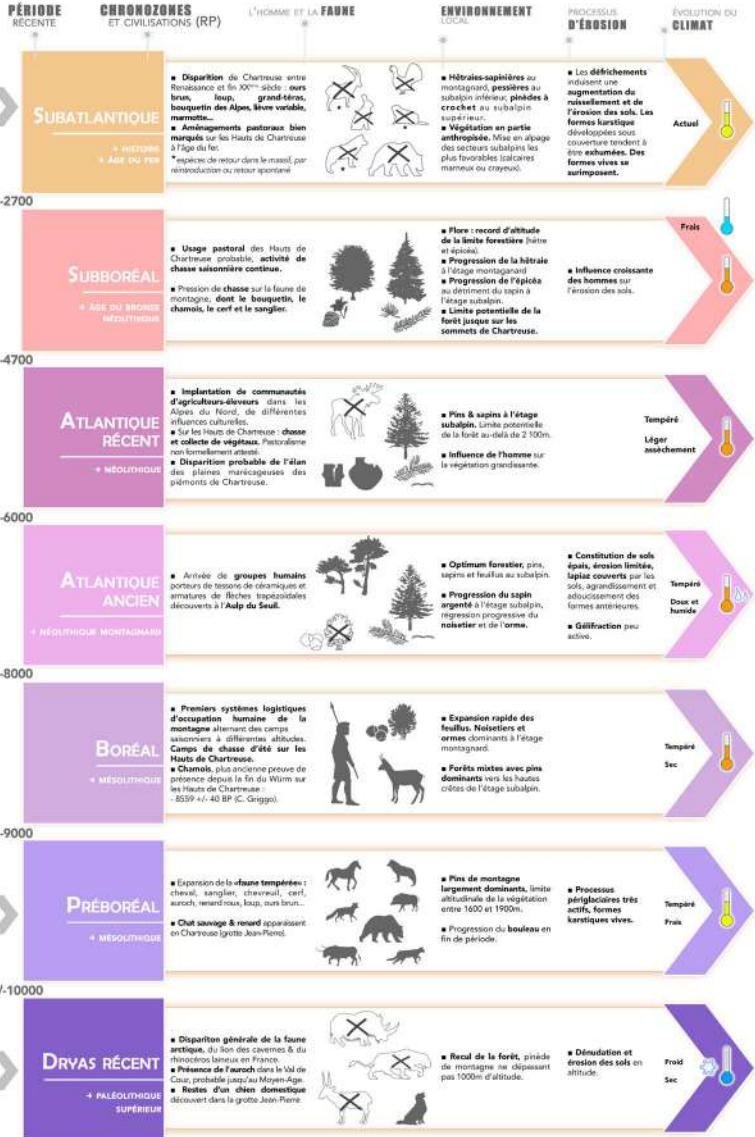
100m

• Zoom sur l'échelle stratigraphique, au niveau des couches concernant les Hauts de Chartreuse, avec une contextualisation environnementale.

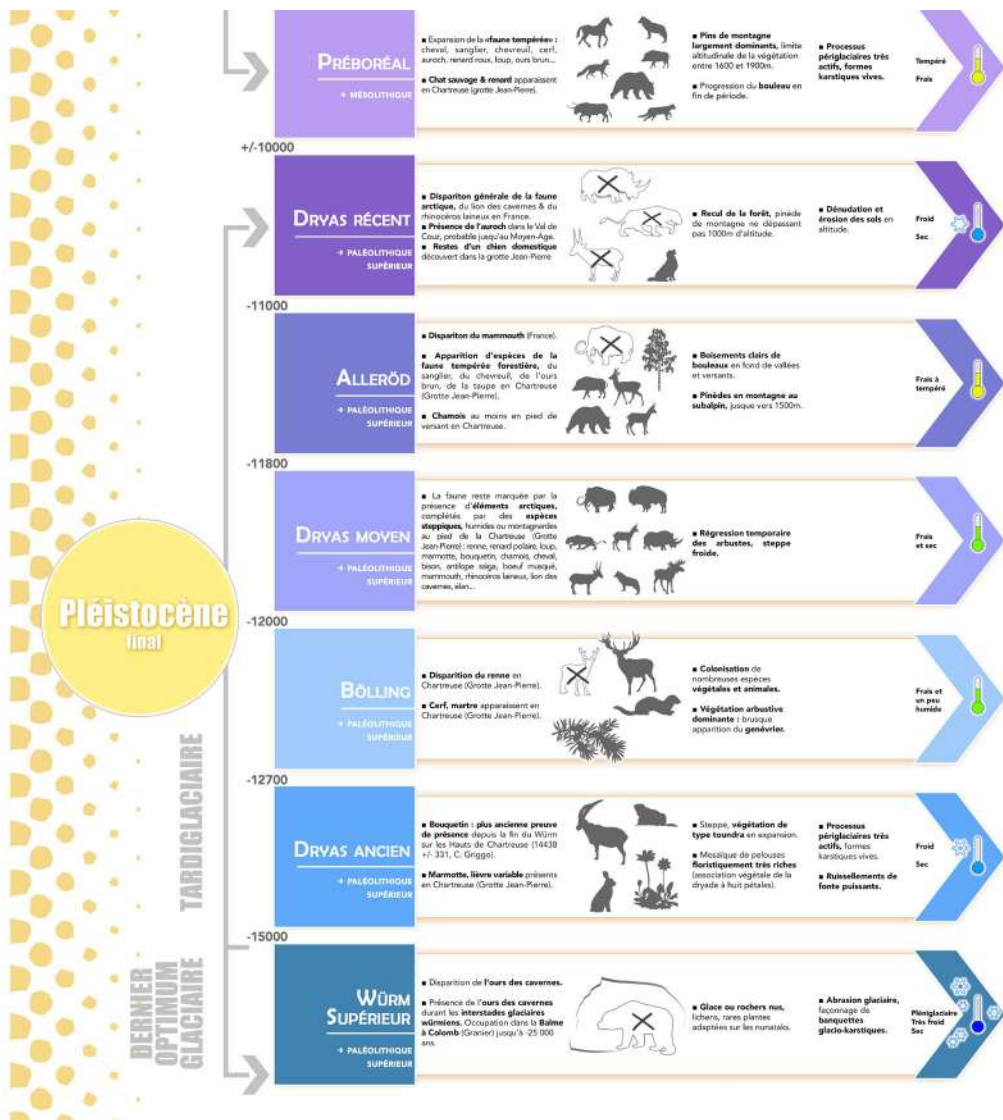


Avant-propos & introduction





**Holocène**  
(aujourd'hui)



Légendes SILHOUETTES :

■ Présent pendant ladite période ou en forte expansion



Disparu à minima de la Chartreuse ou en forte régression dans la période

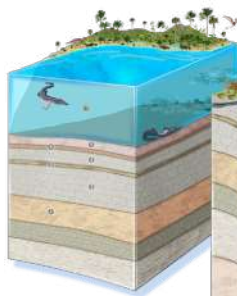


## Les Hauts de Chartreuse & la vallée des Entremonts : Un mosaïque au fil des grandes ères géologiques



**A1**

Ère secondaire  
Vers -75 MA



**A2**

Ère tertiaire  
Vers -10 MA



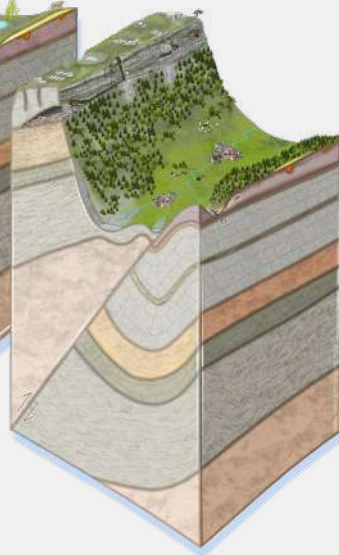
**A3**

Ère Quaternaire  
Vers -40 000 ans  
(Würm 2)



**A4**

Holocène -  
Anthropocène  
Aujourd'hui





## A1 – L'ère des fossiles et des (très) gros reptiles

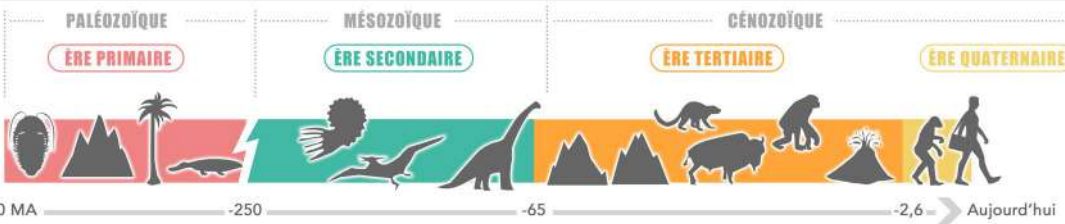
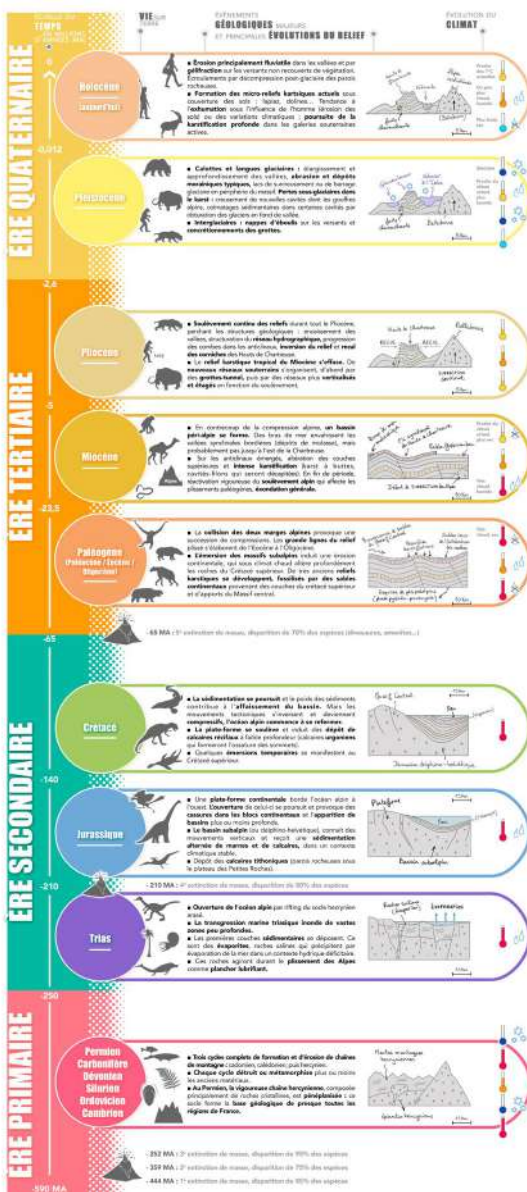
Il y a **70 millions d'années (MA)**, tandis que les dinosaures règnent sur les terres émergées lointaines, des **mosasaures**, reptiles géants superprédateurs, se rencontrent dans tous les milieux aquatiques, **dont la mer chaude qui occupe le futur emplacement des Alpes**. Il existe alors de multiples espèces de mosasaures à travers le monde, qui se nourrissent de poissons, d'**ammonites**, de nautilus ou encore de leurs congénères. Au fond de la mer alpine se sont déposées d'épaisses couches de roches sédimentaires, enfouissant et fossilisant de nombreux restes d'êtres vivants. Pour chaque période, ils resteront les témoins d'un climat et d'un environnement particuliers. Si les petits organismes vivants sont nombreux à être fossilisés dans la roche, ce n'est pas le cas des **mosasaures** beaucoup plus rares.

À l'emplacement de la Chartreuse, un cadavre de mosasaure est lentement enfoui par de fines particules sédimentaires déposées au fond de la mer. Elles se transformeront progressivement en roche dure, crayeuse et **calcaire\***.

## A2 – L'ère des mammifères et des poissons en pleine évolution

Les dinosaures et les mosasaures s'éteignent vers **-65 millions d'années**, laissant la place à de nombreuses espèces de mammifères, d'oiseaux ou encore de poissons qui se diversifient très vite et préfigurent notre faune d'aujourd'hui. Le **mégalo**don est une espèce de requin géant venue occuper la même niche écologique que les mosasaures plusieurs dizaines de millions d'années plus tard. L'émersion lente des premiers reliefs de la région débute également aux alentours de **-65 millions d'années**, mettant progressivement en place des plateaux très faiblement plissés. Sur ces terres émergées, les calcaires sont soumis pendant de longues périodes à un environnement forestier tropical. **Il en résulte un relief particulier: le karst à buttes et les cavités-filons**, dont certains creux piègent des sables issus de l'altération des roches sous climat chaud et humide. Puis le climat tend vers un rafraîchissement et un assèchement, la végétation devient steppique. Le plissement progressif des Alpes conduit à la présence d'une mer dans le bassin d'avant-pays vers **-20 millions d'années**. Elle est peu profonde et rapidement comblée par de la molasse. Ce mélange de roches sédimentaires grossières est issu des débris des premiers reliefs en cours de surrection, dans un contexte d'érosion très active. Situé dans un point bas du relief en cours de plissement, un **fossile de mosasaure est resté à l'abri de toutes ces évolutions**.

\* Retrouvez les mots **soulignés en vert** dans l'abécédaire interactif.

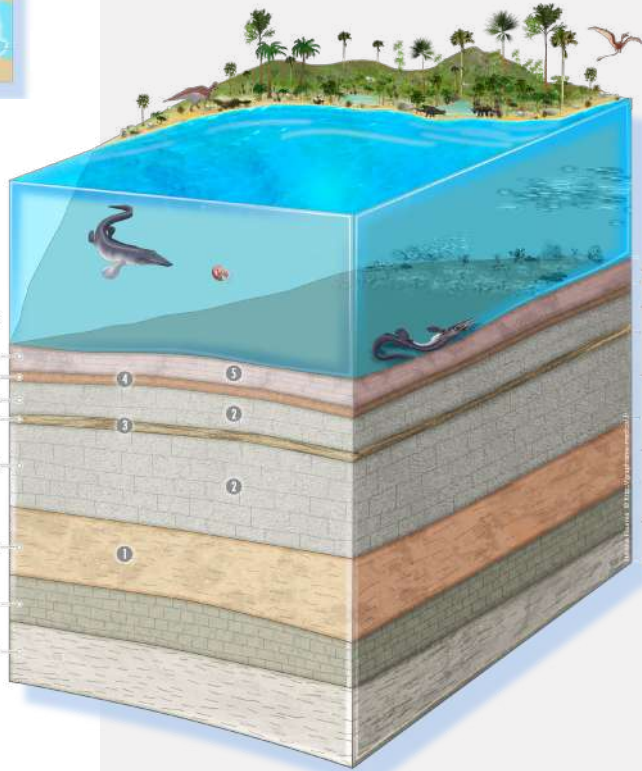


## A3 – L'ère des allées et venues des glaciers et de leurs compagnons de route (ou pas)

À partir de -5 millions d'années, la formation des Alpes crée des pressions telles que certaines couches rocheuses ne se contentent plus de se plisser comme une *couverture souple*, mais cassent et se déplacent vers l'ouest. Ainsi, de grandes *failles* chevauchantes viennent bouleverser par endroits l'ordonnement des couches sédimentaires. **Les strates supérieures subissent une érosion active et disparaissent rapidement, sauf dans certains secteurs plissés en creux, comme cette portion de strate contenant le fossile de mosasaure.** Dans les roches calcaires, d'importants réseaux de *grottes* se développent. Certaines **galeries** abandonnées par les eaux servent plus tard de sites d'hivernation réguliers à l'**ours des cavernes**. Après plusieurs oscillations rapides, le climat se refroidit franchement, et à partir de -1,8 million d'années, plusieurs **périodes glaciaires** se succèdent, sélectionnant des espèces végétales et animales adaptées. Lors de la dernière grande glaciation (Würm, à partir de -115 000 ans), dans les vallées internes de Chartreuse, de petits glaciers occupent les sommets tandis que les *glaciers géants* des vallées périphériques envahissent par les cols une partie de celles de Chartreuse.

## A4 – L'Holocène

Il y a 15 000 ans, le Würm touche à sa fin dans les Alpes. En Chartreuse, les derniers glaciers se sont probablement retirés plus tôt, sans doute vers -18 000 ans. Très vite, les **hommes préhistoriques** ont la possibilité de parcourir le massif. Attirés par une faune de montagne abondante, en particulier le bouquetin des Alpes, ils établissent des **camps de chasse** saisonniers. Les évolutions environnementales rapides ainsi que la pression humaine conduisent à la disparition de nombreuses espèces quaternaires devenues inadaptées, comme l'*ours des cavernes*. Les reliefs n'évoluent plus qu'à la marge: les **moraines** laissées par les glaciers et les versants recouverts d'éboulis sont rapidement masqués par la végétation qui reprend ses droits. Ces matériaux morainiques influencent l'emplacement des sources et donc l'implantation des hameaux; l'**Homme se sédentarise**. L'érosion mécanique, bien que pondérée par la couverture végétale, poursuit son travail, et les cours d'eau, même modestes, approfondissent leur lit. Ils incisent des talus également sensibles à l'effritement des roches par l'alternance répétée du gel et du dégel. **Petit à petit, des vertèbres du mosasaure fossile sont ainsi libérées** de leur gangue de pierre et offertes à notre regard, malgré tous les aléas qui auraient pu entraîner leur disparition depuis 70 millions d'années.



FORMATIONS ROCHEUSES

- Marno-calcaires crazeux
- Calcaire crinoïdien
- Calcaires massifs urgoniens
- Couches à trilobites
- Calcaires massifs urgoniens
- Marnes à micras
- Calcaires du Fontenil
- Marnes de Narbonne

- AGES
- Sénonien
- 92 MA
- Apélin
- Barroisien
- 114 MA
- Mautouzien
- Vatongien
- 125 MA



## A1 – L'ère secondaire en Chartreuse

Il y a environ 70 millions d'années, vers la fin de l'ère secondaire, une grande partie de l'espace français actuel est encore envahie par une mer peu profonde, installée depuis au moins 150 millions d'années. Seuls émergent des secteurs issus des racines d'une vieille chaîne de montagnes, dite « hercynienne » : la Bretagne, le Massif central et les Vosges. Là où les massifs subalpins (dont la Chartreuse) commencent à émerger, de très épaisses couches de sédiments marins se sont déjà transformées en roches sous leur propre poids (diagenèse). Celles-ci sont composées de l'accumulation de dépôts au fond de la mer alpine durant tout le Jurassique et presque tout le Crétacé, c'est-à-dire environ 135 millions d'années. Ce sont principalement soit des vases issues de l'érosion des continents, soit des débris de coquillages et de squelettes de microalgues et d'animaux marins contenant du carbonate de calcium.

La colonne de strates rocheuses ainsi déposées est de l'ordre de 4 000 à 6 000 mètres, dont seule une partie est représentée. Lors de son dépôt, cette accumulation ne parvient néanmoins pas à combler le bassin océanique qui la reçoit, car le fond de celui-ci s'approfondit au fur et à mesure sous le poids des sédiments. De plus, le mouvement des plaques tectoniques provoque des affaissements qui compensent le retrait progressif de la mer vers l'ouest. Cette régression marine est liée à la fermeture progressive du bassin océanique (l'océan Téthys), annonçant les prémices de la formation des Alpes et la fin de la longue séquence de sédimentation marine de l'ère secondaire.

La succession des couches matérialise les variations de climat, de la géographie et des modalités d'érosion sur les continents dont proviennent les particules déposées. Les calcaires massifs, très pauvres en argile, correspondent à des périodes chaudes et stables dans un environnement marin peu profond et calme, tandis que les calcaires marneux correspondent à des périodes un peu plus fraîches et/ou instables. Au cours d'une même période, la nature ou l'épaisseur des roches peut également varier latéralement, les conditions géographiques locales n'étant pas toujours homogènes – pas plus qu'aujourd'hui au large de nos côtes marines.



- 1 • Fossiles de rudistes, abondants dans les calcaires de faciès urgoniens
- 2 • Ammonite dans les calcaires du crétacé supérieur

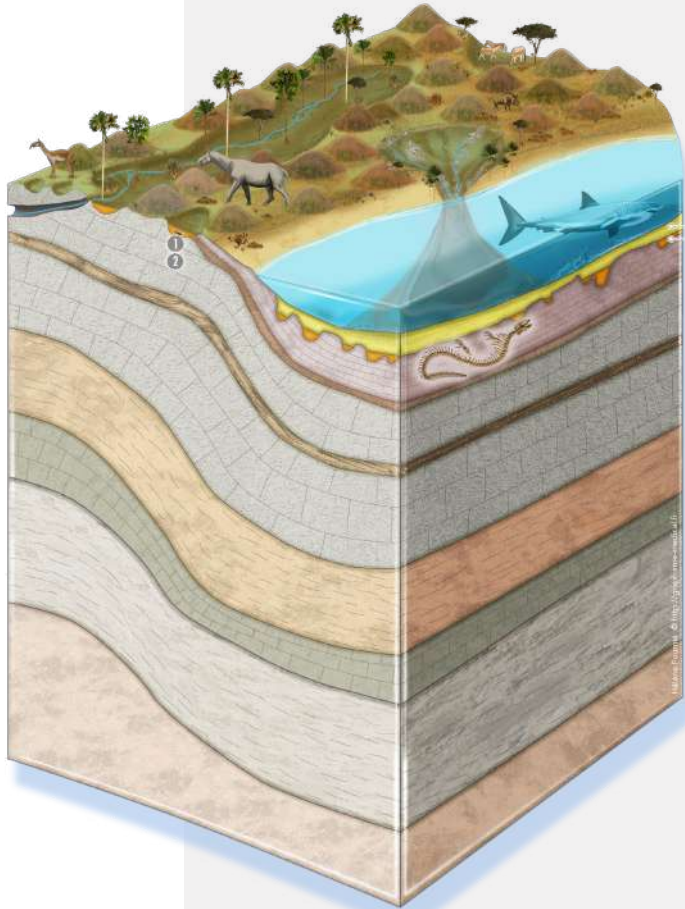
Dans chaque niveau sédimentaire se sont fossilisés des organismes vivants plus ou moins caractéristiques de leur époque. Piégés, ils se transforment en même temps que le sédiment qui devient progressivement leur gangue de pierre. Certaines couches rocheuses sont ainsi particulièrement riches en **fossiles** et nous renseignent sur les conditions environnementales de ces périodes, notamment par comparaison avec le milieu de vie d'espèces proches observables aujourd'hui. Ces fossiles servent ainsi de point de repère pour dater les différentes formations géologiques (méthode dite de datation relative).

Le groupe des **ammonites** est le plus propice, car d'innombrables espèces se sont diversifiées au cours du temps et sont devenues des marqueurs chronologiques précis.

**À –70 millions d'années donc, le climat est chaud et humide et les pôles ne sont pas englacés.** Les dinosaures, dont les espèces sont extrêmement diversifiées, sont présents partout sur le globe et représentent la majorité de la grande faune. De même, les mosasaures se trouvent dans tous les milieux marins et lacustres. Quelques espèces de mammifères, d'oiseaux et de poissons occupent déjà discrètement certaines **niches écologiques**.

À la fin du Crétacé supérieur, la période est instable d'un point de vue tectonique, et l'emplacement actuel de la Chartreuse correspond alors à une rampe marine assez peu profonde et inclinée. **Le mosasaure découvert en Chartreuse en 2015 évolue dans une mer profonde de plusieurs dizaines de mètres à 200 mètres environ.** Son cadavre a-t-il été enfoui complètement par les sédiments ou bien était-il déjà démembré par des mosasaures charognards ? À l'époque, bien des aléas, déjà, pouvaient compromettre la conservation d'un squelette complet.

**Il y a environ 65 millions d'années survient l'une des plus grandes crises d'extinction des espèces,** qui provoque, entre autres, la **disparition des dinosaures et des mosasaures**. Les causes de cette extinction massive qui a été très rapide mais probablement pas cataclysmique sont encore discutées. Un cumul de facteurs défavorables plutôt qu'une cause unique est le scénario actuellement privilégié (volcanisme intense, météorite...). Pour l'histoire de la géologie, cette crise marque le passage de l'ère **secondaire** (ou Mésozoïque) à l'ère tertiaire (ou Cénozoïque). Dès lors, de nombreux nouveaux groupes d'espèces apparaissent et évoluent rapidement, profitant des niches écologiques laissées libres. C'est ce que l'on nomme une « radiation évolutive ».



Masse miocène  
Sables et argiles  
oligocènes / éocènes





L'ère tertiaire (ou Cénozoïque inférieur) est marquée dans nos régions par la formation de chaînes de montagnes complexes, de phénomènes d'érosions multiples des terres émergées, et d'évolutions climatiques. Beaucoup d'indices ont donc été détruits ou mal conservés, compliquant le travail des géologues et paléogéographes, et la possibilité de proposer une vision précise de l'évolution durant ces périodes.

Dès le début de cette longue séquence (- 65 millions d'années), le mouvement des plaques tectoniques, lent mais inexorable, devient **compressif dans notre région**. Il conduit à la fermeture de la mer alpine (Téthys), puis à l'émersion de continents se recouvrant de forêts tropicales denses pour plusieurs millions d'années, dans un contexte de **climat chaud**, humide, et plutôt homogène.

**Sous l'épaisse couverture végétale**, les sols humides se comportent comme une compresse sous laquelle une érosion chimique active qui affecte tous les reliefs, dont les points hauts qui tendent à rapidement s'adoucir (pénéplanation). Les calcaires du Campanien, ou plus largement du Sénonien) correspondent à la **période de fossilisation du mosasaure de Chartreuse**. Ils font partie des dernières couches déposées et donc des plus affectées par cette phase d'érosion. En bien des endroits, ils sont très vite entamés. Par chance, la portion de strate où repose le mosasaure s'est probablement retrouvée très tôt dans une inflexion basse du relief, ce qui l'a préservée de la longue période de l'érosion tertiaire ! En d'autres secteurs proches, certaines couches sous-jacentes, comme les strates de calcaire urgonien, sont pourtant elles aussi très vite entamées, probablement dès la fin du tertiaire.

Là où les couches du Sénonien sont « digérées » par dissolution du calcaire, les résidus non solubles comme le quartz, abondant dans ce niveau, restent sur place ou sont faiblement remaniés. Ils produisent des **sables rouges** (ou « sables réfractaires »). Ces sables sont parfois piégés et conservés dans les cavités formées dans les calcaires urgoniens sous-jacents, favorables au développement d'un **relief karstique**. L'origine locale de ces dépôts sableux fut confirmée en 1898 par Wilfrid Kilian, un éminent géologue qui examine les sables réfractaires et découvre une **mandibule de lophiodon** au sein d'une poche de sable rouge en Chartreuse (Les Échelles). Cet ancêtre du tapir ayant vécu durant la période de l'Éocène, entre -55 millions d'années et -35 millions d'années environ, la découverte confirme l'âge et la provenance de ces sables.

Le relief karstique présente des formes originales d'érosion dans des calcaires résistants mécaniquement mais sensibles à la dissolution chimique (grottes et autres formes induisant souvent la circulation de l'eau en sous-sol plutôt qu'en surface).

• Exemple d'affleurement de molasse dans le Dauphiné



La géomorphologie de surface produite dans ce contexte climatique tropical correspond alors très probablement à un relief de type « karst à buttes », ou « boîte à œufs », traversé par des « cavités-tunnels ». On peut l'observer aujourd'hui dans les régions calcaires de l'Asie du sud-est notamment.

Au **Miocène**, vers –20 millions d'années, alors que des reliefs plus vigoureux s'amorcent sous la poussée tectonique, une dépression bordière formée sous le poids de la charge résultante est occupée par une mer peu profonde : la dépression périalpine. À l'image de la côte dalmate actuelle, cette mer s'insinue entre les premières inflexions occidentales et centrales du relief chartrousin en formation qui émergent par îlots. **Avec l'exhaussement des reliefs, les processus d'érosion s'accroissent.** À l'érosion chimique des roches se combine une érosion mécanique qui implique de plus en plus de produits grossiers. Ces matériaux « molassiques » viennent se déverser dans la bordure marine en formant des cônes de déjection constitués d'un mélange de débris rocheux variés et mal triés. La molasse occupe aujourd'hui tout le piémont de la Chartreuse et des massifs préalpins en général. Elle fournit les **matériaux de construction traditionnels** des maisons dans une grande partie du Dauphiné et de l'avant-pays savoyard.

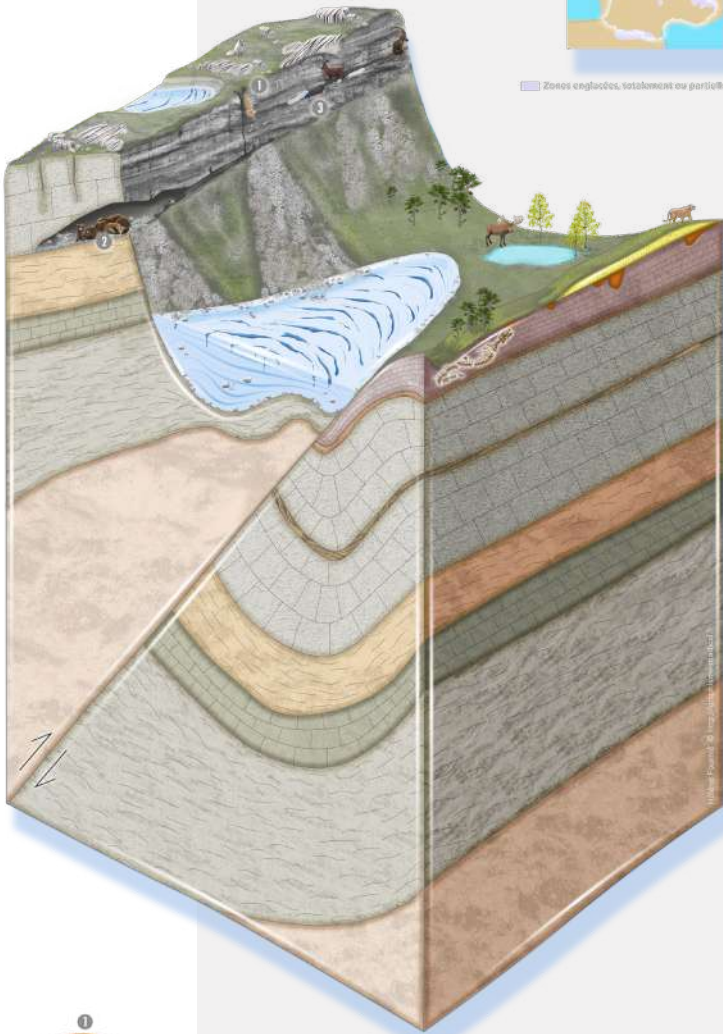
On ne trouve pas de molasse dans le synclinal des Hauts de Chartreuse qui forme la réserve naturelle, parce qu'elle ne s'y est probablement jamais déposée. La zone qui correspond aujourd'hui à l'est de la Chartreuse était probablement déjà trop éloignée de la bordure de cette mer périalpine et peut-être déjà un peu surélevée pour pouvoir en recevoir.

À –10 millions d'années, le climat va vers un rafraîchissement et un assèchement, impliquant une végétation de **steppes et de savanes**. À la même période, les mammifères et les oiseaux, entre autres, ont depuis longtemps profité de la disparition des dinosaures, conquérant rapidement les niches écologiques laissées libres et développant de nombreuses formes d'adaptations. Durant tout le Tertiaire, de nombreuses espèces apparaissent et disparaissent. Vers –10 millions d'années, certaines commencent à ressembler à celles que l'on connaît aujourd'hui, mais ce sont encore loin d'être les mêmes !

Dans les eaux côtières chaudes rôde notamment le **mégalodon**, requin géant se nourrissant de grands poissons et de petites baleines. L'espèce disparaît à son tour vers –2,6 millions d'années.



Zones englacées, totalement ou partiellement



**La formation des Alpes est le résultat de plusieurs phases de compressions tectoniques complexes** impliquant plissements, coulissements, translations et surrections des masses rocheuses. Pour compliquer encore un peu la situation, deux phases intermédiaires d'aplanissement des reliefs, au moins partielles, seraient intervenues. La dernière pourrait dater de l'aube du Quaternaire, dans une période située entre -3,6 et -1,8 million d'années et pourrait expliquer certaines troncatures des couches, des surfaces planes ou encore l'alignement à des altitudes comparables de certains sommets des massifs subalpins.

**Les forces de construction des reliefs sont cependant dominantes à la fin du tertiaire et durant le Quaternaire.** Les reliefs tels que nous les connaissons aujourd'hui se mettent réellement en place à cette période, même si l'ébauche des structures est déjà entamée depuis longtemps. Dans les massifs subalpins, dont la Chartreuse, des plis dits « de couverture souple » se décollent du socle et deviennent progressivement chevauchants de l'est vers l'ouest. Les chevauchements s'accroissant, la plasticité des roches n'est plus suffisante pour absorber les déformations : la roche casse par endroits. De grandes failles apparaissent dans certains plis, provoquent le raccourcissement des structures géologiques et aboutissent à des recouvrements anormaux de terrains plus récents par des plus anciens. **C'est ainsi qu'en Chartreuse, les « beaux » plis simples à l'est laissent place, vers l'ouest, à des structures plus complexes et moins lisibles dans le paysage.** Dans la vallée des Entremonts, une grande faille chevauchante vient superposer des terrains peu résistants à l'érosion, « les marnes de Narbonne », sur des terrains plus solides, plissés en creux. Dans ces marnes, le relief ouvert et plutôt mou s'explique par une érosion qui ne rencontre désormais plus aucun niveau particulièrement cohérent, si bien que la vallée s'y affouille dans une succession monotone de roches tendres. Le contraste est saisissant avec les crêts du Granier et du Pinet qui dominent la vallée, formés dans les calcaires urgoniens, particulièrement résistants à l'érosion mécanique. Ce contraste géologique sert de cadre à la remarquable harmonie paysagère de la vallée des Entremonts.

**Sur l'autre versant, à l'emplacement du mosasaure,** le redressement et le plissement des couches du Crétacé supérieur ne sont pas suffisants pour les détruire ou les exposer à l'érosion. Ceci relève presque du miracle si l'on considère la proximité du chevauchement majeur dit de la « Chartreuse orientale » qui implique un recouvrement et un broyage considérable de la même couche quelques centaines de mètres seulement plus à l'est.

**La surrection générale du massif bouleverse l'organisation de l'écoulement** et provoque un encaissement général des cours d'eau dans les structures géologiques (gorges du Guiers vif et du Guiers mort notamment). Dans les assises calcaires favorables à un relief karstique, plusieurs générations de conduits souterrains se succèdent verticalement pour s'adapter au niveau de base hydrologique qui s'approfondit de plus en plus. C'est ainsi que se créent de vastes réseaux de galeries

souterraines étagées et reliées par des puits verticaux. Les grottes les plus anciennes sont définitivement abandonnées par les eaux, comme la Balme à Colomb, et peuvent servir d'abri à la faune préhistorique, notamment comme **site d'hivernation pour l'ours des cavernes**.

**À la même période, les évolutions climatiques sont majeures.** Alors que toute l'ère tertiaire est marquée par un climat chaud, depuis environ 1 million d'années, notre région est soumise à plusieurs cycles alternant périodes de **glaciation** et **périodes interglaciaires à climat tempéré**. Ces phénomènes s'expliquent par des variations de l'orbite terrestre et des cycles d'activité du soleil. L'action du froid a pour effet, directement ou indirectement, de modifier profondément les actions de l'érosion sur le paysage, les milieux naturels, la flore et la faune.

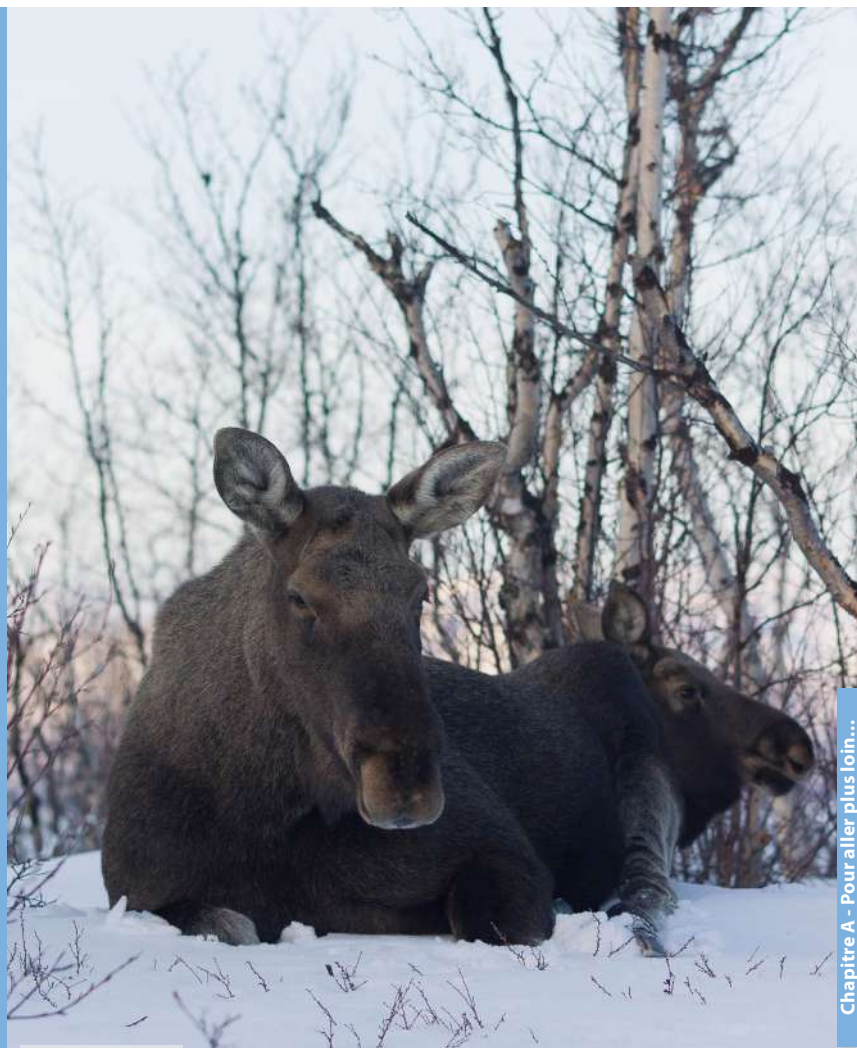
**Durant les périodes pléniglaciaires, d'immenses inlandsis, alimentés pas de grands glaciers de vallée, débordent largement des Alpes.** Durant l'avant-dernier épisode glaciaire, nommé « Riss », l'un d'entre eux atteint l'emplacement futur de Lyon. En Chartreuse, les sommets alimentent des glaciers locaux de cirques et de vallées qui ne parviennent pas à recouvrir l'ensemble du massif. Dans les vallées internes de Chartreuse, et en particulier dans les Entremonts, une langue secondaire de l'immense glacier occupant la cluse de Chambéry déborde dans le massif par le col du Granier, atteignant l'altitude de 1 300 mètres environ. Dans des secteurs non englacés, l'écoulement des eaux est parfois empêché par l'inlandsis qui barre les débouchés des rivières du massif à l'ouest, si bien que des lacs d'obturation glaciaires occupent les gorges du Guiers vif comme du Guiers mort. Durant ces périodes, les **lacs et de vastes zones humides** à l'intérieur et en périphérie du massif, liés aux phénomènes glaciaires et périglaciaires sont très présents.

Sur les versants, plus particulièrement durant les périodes interglaciaires, l'alternance répétée des cycles de gel-dégel de l'eau contenue dans les fissures rocheuses, alimente d'importants éboulis au pied des parois calcaires, constituant de véritables « tabliers » recouvrant la totalité de certains versants.

La succession des périodes **glaciaires** et tempérées cause de profondes et rapides modifications de la répartition et de la composition de la faune et de la flore. Certaines espèces s'adaptent progressivement au froid ; d'autres, venues du nord pendant les phases froides, se retrouvent isolées de leurs origines nordiques durant les interglaciaires et se réfugient en montagne. C'est ainsi que des sous-espèces, voire des espèces nouvelles, se développent. Certains mammifères présentent des formes de gigantisme, ce qui est supposé être un mode d'adaptation au froid (rhinocéros laineux, mammoth, cerfs géants, tigres à dents de sabre...). Il y a 40 000 ans, au cœur de la dernière période glaciaire (Würm), cohabitent ainsi dans nos régions des animaux qui nous sont familiers aujourd'hui (par exemple **le bouquetin** des Alpes, apparu il y a 250 000 ans sous sa forme actuelle) et d'autres totalement disparus (**l'ours des cavernes, le lion des cavernes**). D'autres encore ne font aujourd'hui plus partie de la faune de France mais se sont maintenues dans d'autres régions (**l'élan**). Après chaque épisode glaciaire, les différentes essences d'arbres recolonisent plus ou moins rapidement, leur niche écologique d'origine en fonction de leurs capacités colonisatrices et l'éloignement de leur zone refuge. Différents faciès de végétation

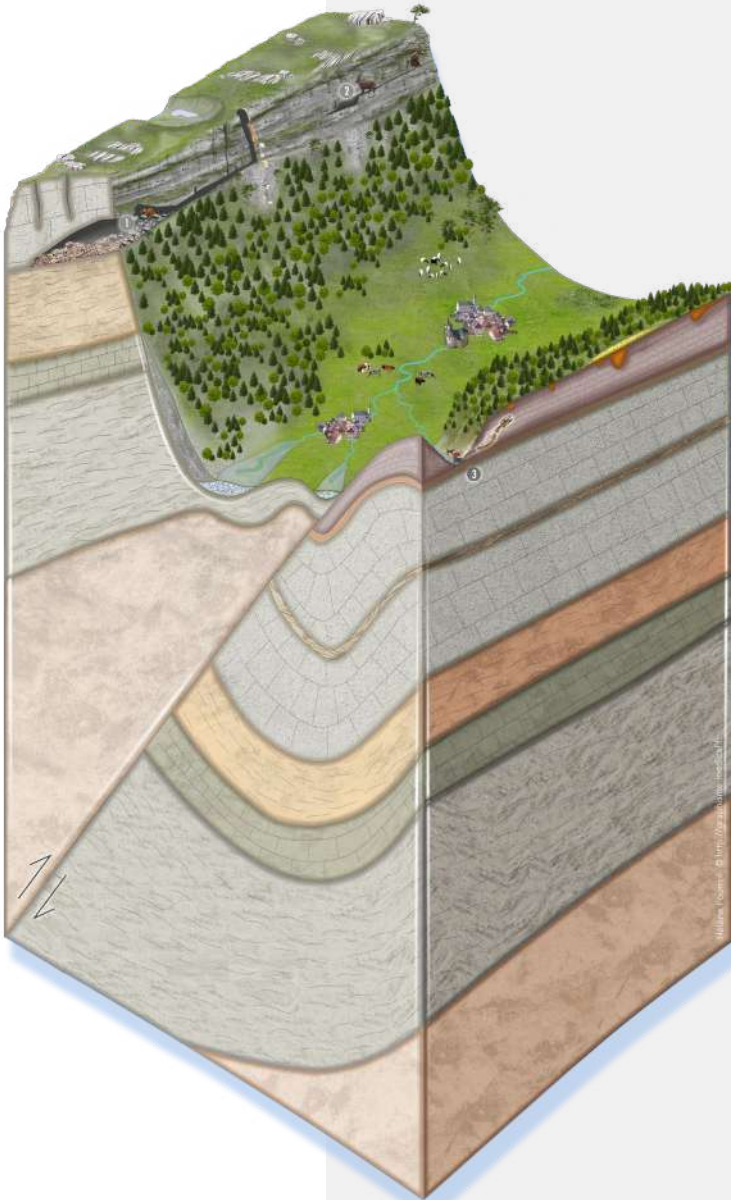
et d'habitats naturels, loin d'être immuables, se succèdent donc au gré des variations climatiques. À la même période, la dernière glaciation connaît un interstade plus clément durant lequel **pins de montagne, épicéas et bouleaux** notamment peuvent prendre place en deçà de 1 700 mètres d'altitude dans un paysage restant globalement très clairsemé.

- *L'élan était présent dans les vastes zones marécageuses des piémonts de Chartreuse au Quaternaire et au moins jusqu'à la préhistoire*



Cliché : E.Fournié

- 10.000 ans à aujourd'hui - Holocène





Lors de la fin de la dernière glaciation, les *massifs préalpins* sont, de par leur position et leur altitude, les premiers dans les Alpes progressivement accessibles aux hommes. La déglaciation totale de la Chartreuse serait intervenue dès –18 000 ans.

Le relief karstique offre aux groupes nomades de nombreuses grottes et *abris-sous-roche* et facilite l’organisation de points de repos ou de camps de chasse saisonniers. C’est dans le val de Couz que l’on retrouvera l’un des premiers indices de domestication du chien au niveau mondial.

Entre –15 000 et –12 000 ans, du fait de causes cumulatives – dont la modification rapide de leur environnement et la pression de la chasse –, de nombreuses espèces disparaissent : ours et lion des cavernes, rhinocéros laineux, mégacéros (cerf géant), hyène des cavernes, mammouths, etc. À cette époque, d’autres partent définitivement de la région, pour les milieux naturels qui leur sont plus favorables ou disponibles sur des surfaces suffisantes : renne, renard polaire ou encore antilope saïga. D’autres encore ne disparaîtront que très récemment de Chartreuse (lièvre variable dans les années 1990). Il en résulte aujourd’hui une composition de la faune très fortement modifiée et appauvrie. L’homme a parfois cherché à en restaurer certaines. Ainsi, en Chartreuse, le chamois a été sauvé *in extremis* dans les années 1980 par des renforcements de populations (provenance : Bauges). Le bouquetin des Alpes, qui avait probablement disparu du massif à la Renaissance, a été réintroduit en 2010-2011 (provenance : *Belledonne* et Vanoise). Parmi la faune et la flore encore présentes aujourd’hui, de nombreuses espèces relictées spécialisées trouvent refuge, depuis la période glaciaire, dans les milieux naturels les plus frais de Chartreuse.

Depuis 40 000 ans, si l’aspect paysager a été profondément modifié par l’évolution climatique et l’installation humaine, le cadre géologique et géomorphologique n’a évolué qu’en surface, ce qui suffit toutefois à en bouleverser fortement notre perception. Les dépôts liés aux glaciers ont été fortement masqués par la végétation et les lacs rapidement comblés par les sédiments. Les vastes nappes d’éboulis ont été transformées en *brèche de pente*. Ce sont des agrégats de blocailles calcaires cimentées entre elles et aujourd’hui masquées par les sols des forêts de versants ou par des éboulis plus récents. Les dépôts morainiques laissés par les glaciers peuvent, quant à eux, avoir un rôle d’*aquifère* local et alimenter çà et là une source.

Les cycles gel-dégel actuels et la *décompression* naturelle des roches alimentent des éboulis actifs ou des écroulements en masse parfois désastreux, comme celui de la face nord du Granier en 1248. À l’entrée des grottes, les *éboulements* peuvent obturer des galeries anciennes, et réserver de belles découvertes pour les spéléologues.

**C’est le cas à la Balme à Colomb en 1988** : deux membres du Spéléo-club de Savoie trouvent le moyen de franchir un éboulis souterrain obturant une très grande galerie et découvrent un site exceptionnel d’ossements d’ours des cavernes.



D'importantes recherches sur ce site révéleront que les milliers d'os accumulés sur plusieurs dizaines de milliers d'années concernent de nombreuses générations d'ours morts pendant leur hibernation dans un site très favorable.

Même les plus petits ruisseaux continuent inlassablement d'approfondir et d'élargir leur lit. Dans un petit ravin forestier des Entremonts, quelques petits écoulements intermittents s'encaissent dans les calcaires crayeux du Sénonien, créant des ravines où la végétation parvient difficilement à se maintenir et laissant la roche à nu. Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle et un certain attrait pour les sciences naturelles, quelques naturalistes de renom ont remarqué l'originalité de cette roche très blanche et crayeuse à l'aspect proche de celles du Bassin parisien. À l'époque, la compréhension de la formation des Alpes et l'histoire sédimentaire des massifs subalpins sont en pleine progression, et les géologues sont surpris de découvrir ce *faciès* sédimentaire dans la région. Il faut dire que ce niveau est très peu observable dans ces massifs, car rarement en situation d'avoir échappé à une **érosion complète**. L'attrait qu'il suscite est d'autant plus grand que ce niveau renferme beaucoup d'espèces d'ammonites et attire donc, depuis longtemps, les collectionneurs de **fossiles**.

C'est d'ailleurs à la recherche d'ammonites que **Frédéric Dumont** (†) parcourt en 2015 un de ces petits ravins forestiers comme il en avait parcouru tant d'autres. Et c'est avec la perspicacité d'un **paléontologue** averti qu'il repère dans la roche quelque chose qu'il n'avait encore jamais vu et qui se révélera être une vertèbre de mosasaure. Le mosasaure, ou tout du moins ce qu'il en reste, a été rattrapé par l'érosion d'un talus creusé par un ruisselet mineur de Chartreuse dans une roche sensible à la **gélifraction**, et délivré de sa gangue de pierre 70 millions d'années après sa mort et tant d'aléas qui auraient dû rendre sa découverte... impossible!

Aujourd'hui, cette découverte reste un cas unique de **fossile de mosasaure** connu dans l'ensemble des Alpes et de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

**Toute forme de relief est au départ liée à des phénomènes de création de volumes rocheux plus ou moins prononcés.** D'une façon générale, nous parlerons de la **tectonique** pour évoquer ces forces. Elles sont liées aux mouvements divergents ou convergents des plaques continentales et océaniques les unes par rapport aux autres, provoquant selon les régions du monde, de vastes affaissements se relevant sur leurs bords (Bassin parisien), de vastes bombements ailleurs (boucliers des socles canadien, brésilien, scandinave) ou encore de vigoureuses chaînes de montagne, dont l'érosion est plus ou moins aboutie (massif armoricain, ancien, ou chaîne des Alpes, jeune). Face à ces forces de construction tectonique, des forces de destruction du relief sont donc à l'œuvre en permanence, on parle de **phénomènes d'érosion**.

Une première difficulté de compréhension n'est pas seulement de composer avec un temps géologique qui nous paraît démesuré pour former, déformer, soulever et déplacer des volumes gigantesques de roches. Il faut aussi imaginer, en parallèle, la réalité d'une érosion qui s'active dès la naissance des premiers reliefs, sans discontinuer. Il faut admettre que des formes de reliefs structurées par la tectonique n'ont parfois jamais été abouties ; les parties les plus émergentes étant au fur et à mesure entamées et partiellement « digérées » par l'érosion. Quand ces formes sont, au moins partiellement, bien reconnaissables, on dit que ce sont des **formes structurales**.

La question de l'altitude qu'auraient pu atteindre les sommets armoricains ou même de la Chartreuse au plus haut de leur forme en projetant la géométrie des plis vers le haut doit tenir compte de cette évidence qui agit au quotidien sous nos yeux : pour faire son travail, l'érosion n'a pas attendu des millions d'années que les montagnes aient fini de se former ! Non, la chaîne hercynienne armoricaine n'a jamais atteint les 20 000 mètres d'altitude... contrairement à ce que pourrait laisser penser la projection de certains plissements anciens.

Mais tout schéma cherchant à représenter cette évidence devient de plus en plus complexe en remontant dans le temps et avec les inconnues qui s'accumulent.

**Le relief excite l'érosion** : plus les processus tectoniques sont vigoureux, plus l'érosion, liée entre autres à la pente, est active. Comment quantifier et caractériser cette érosion au fil du temps ? Voici une grande partie du problème ; tout comme il est difficile de reconstituer la vitesse et l'ampleur des différentes phases des forces tectoniques. De quoi animer, depuis plusieurs générations, de vifs débats parmi les géographes et géologues au gré des hypothèses et travaux de recherches de terrain.



**Photo 1 • Le pilier NE du Granier** a illustré récemment le lien entre une forme de relief bien visible en haut de la paroi, et une formation d'accumulation de matériaux en aval, avec pour agent de transport la seule gravité. Le cône de déjection sera ensuite repris plus ou moins violemment par l'eau de ruissellement qui imposera une nouvelle forme, et de nouveaux dépôts des matériaux remaniés et plus ou moins triés par l'eau, en aval.



Non seulement l'érosion ne s'arrête jamais, mais sous ce terme opèrent une quantité de processus mécaniques ou chimiques différents, qui vont de la préparation/fragilisation des roches (**météorisation ou altération des roches**), à la « digestion chimique ». Le terme implique également l'évacuation plus ou moins lointaine et soudaine des matériaux (**agents de transport**). Chaque type de roche ne répond pas de la même façon aux mêmes processus d'érosion. Par exemple, une argile n'est pas soluble au contact de l'eau de pluie, contrairement au calcaire. En revanche, le calcaire, roche compacte, n'est pas sensible à l'impact mécanique d'une goutte de pluie, alors que les particules d'argile se laissent facilement prendre en charge par les filets d'eau.

**Photo 2 • Les pipkrakes** sont de petites

aiguilles de glace de quelques centimètres de haut survenant dans des sols humides durant un gel intense. À leur fonte, sur les pentes, les particules de sol soulevées seront redéposées quelques centimètres en aval. Ce processus d'érosion, en apparence insignifiant parce que lent et peu perceptible, fait en réalité partie d'une famille de processus d'érosion très efficaces (**cryoturbation**) à l'échelle d'un versant de roches meubles dénudées, tandis qu'il est inopérant sur des roches calcaires compactes.

Pour chaque processus d'érosion, gardons l'idée que, au point de départ, à un enlèvement de matière correspond **une forme d'érosion** ; qu'un **agent de transport** (eau, vent, neige, glace...) fait transiter cette matière érodée plus ou moins conséquente (molécules chimiques recomposées, particules fines, blocs rocheux...); et que finalement, l'abandon de ces dépôts constitue toujours une **formation** quelque part en aval (cône de déjection d'avalanche, stalactites, sédiments lacustres, graviers de rivière, éboulis, etc.). Ces formations, qui sont des accumulations de matériaux pouvant prendre diverses formes, peuvent subir à leur tour une érosion par d'autres processus, et ainsi de suite...

Chaque élément de paysage qui retient notre attention peut ainsi être interrogé : forme d'érosion, agent de transport ou forme/accumulation ? Grâce à cette grille d'analyse simple, il est possible, à défaut de pouvoir nommer ces éléments au départ, de progresser très vite dans la compréhension des paysages de montagnes et une multitude de questions émergeront sans doute !

Il faut ajouter que les mêmes formes structurales de relief, les mêmes roches, soumises à des climats différents, peuvent aboutir à des formes de relief très différentes. Or le climat a considérablement varié depuis plusieurs dizaines de millions d'années, effaçant, surimposant ou combinant les agencements de formes en fonction des évolutions climatiques et environnementales passées. La végétation, le régime des eaux, l'apparition ou la disparition de glaciers, de sols végétaux, la faune aussi, ont considérablement évolué et sont autant de facteurs entrés en interaction dans un ensemble indissociable. En fonction de la combinaison de ces facteurs, on parlera de **système morphogénique**.

**Le résultat, sans compter l'influence récente de l'Homme, est le paysage d'aujourd'hui !**

# Zoom



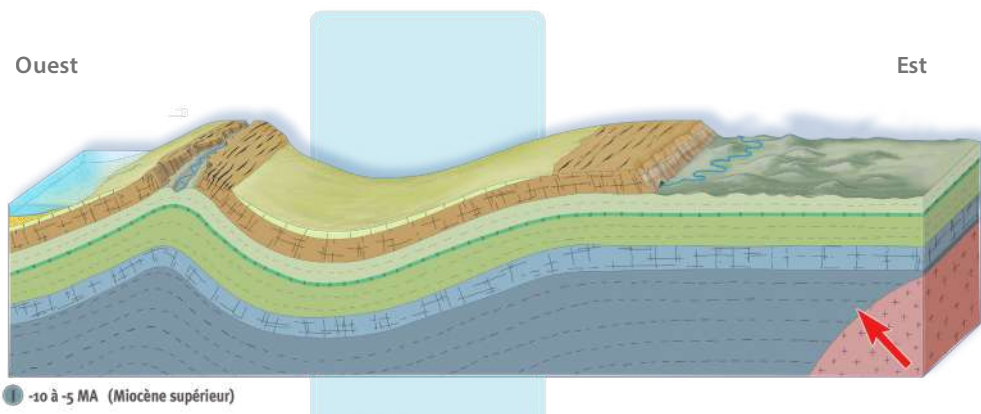




## Un modèle d'inversion du relief



## Évolution probable de la bordure orientale de Chartreuse en relief inversé



### LÉGENDES

Glacier et blocs morainiques	Marnes Hauteriviennes
Dépôts fluvio-glaciaires quaternaires	Calcaires du Valanginien
Molasses tertiaires	Marnes du Valanginien / Berriasien
Calcaires et craies du Crétacé Sup.	Calcaires du Tithonique
Calcaires de faciès urgonien	Marnes noires de l'Oxfordien
	Socle cristallin

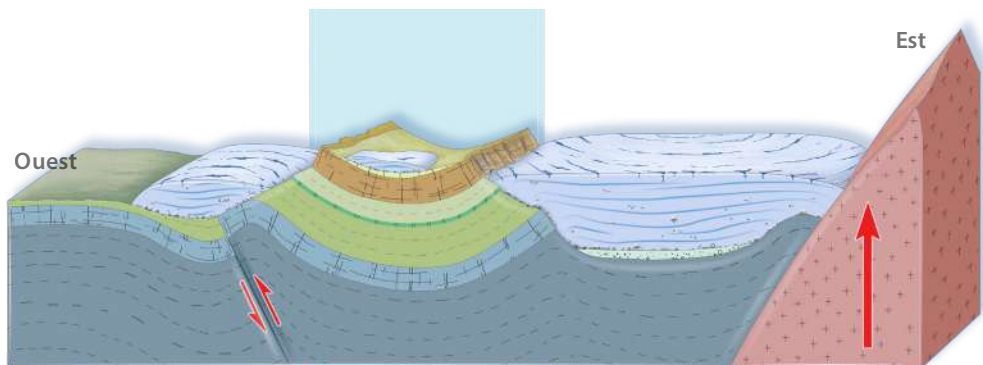


- Il y a 10 MA, la bordure orientale de la Chartreuse s'étendait beaucoup plus loin vers l'est et à basse altitude ; le Grésivaudan n'était pas ou très peu creusé... (Rochers de L'Alpe et vue sur le Grésivaudan, vers le sud).

C'est vers -10 millions d'années que commencent à apparaître les reliefs de Chartreuse tels que nous les connaissons, à la suite du soulèvement du socle qui fait progressivement jaillir les massifs cristallins externes (Belledonne, Lauzière, Mont-Blanc...).

En conséquence, dans les massifs subalpins, un plissement des couches sédimentaires en « **couverture souple** » se manifeste, affectant des reliefs modestes déjà esquissés antérieurement. Il alterne des ondulations anticlinales (plis en voûtes) et synclinales (plis en creux). Cette succession de plis est accidentée par des failles et des chevauchements qui s'accroissent de l'est vers l'ouest. La mise en place de ce relief plus vigoureux va guider progressivement le travail de l'érosion. À la voûte des anticlinaux, des fractures d'extension constituent des amorces initiales à partir desquelles l'eau peut progresser rapidement. Elle peut alors dégager les niveaux supérieurs constitués de roches calcaires pourtant relativement résistantes au fur et à mesure de leur plissement. Les épaisses couches marneuses sous-jacentes, facilement affouillables, permettent ensuite l'ébauche d'une vallée. Pendant ce temps, les couches calcaires du synclinal correspondant au secteur des Hauts de Chartreuse restent préservées. À l'ouest du massif, l'avant-pays et certains points bas de Chartreuse sont encore envahis par des bras de mer peu profonds (transgression miocène) dans lesquels se déposent d'épaisses couches de sédiments grossiers (la molasse), issus de l'érosion de ces reliefs en formation. À l'est, l'emplacement actuel du Grésivaudan est une zone de transition avec les **massifs cristallins naissants**.

Elle ne constitue pas encore la profonde vallée de l'Isère telle que nous la connaissons aujourd'hui. Les niveaux supérieurs des couches géologiques formant la **réserve naturelle des Hauts de Chartreuse** s'étendent alors beaucoup plus loin vers l'est et le sud.



2 - 700 000 à - 500 000 ans (milieu du Quaternaire)

LÉGENDES

- |                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Glacier et blocs morainiques          | Marnes Hauteriviennes              |
| Dépôts fluvio-glaciaires quaternaires | Calcaires du Valanginien           |
| Molasses tertiaires                   | Marnes du Valanginien / Berriasien |
| Calcaires et craies du Crétacé Sup.   | Calcaires du Tithonique            |
| Calcaires de faciès urgonien          | Marnes noires de l'Oxfordien       |
|                                       | Socle cristallin                   |

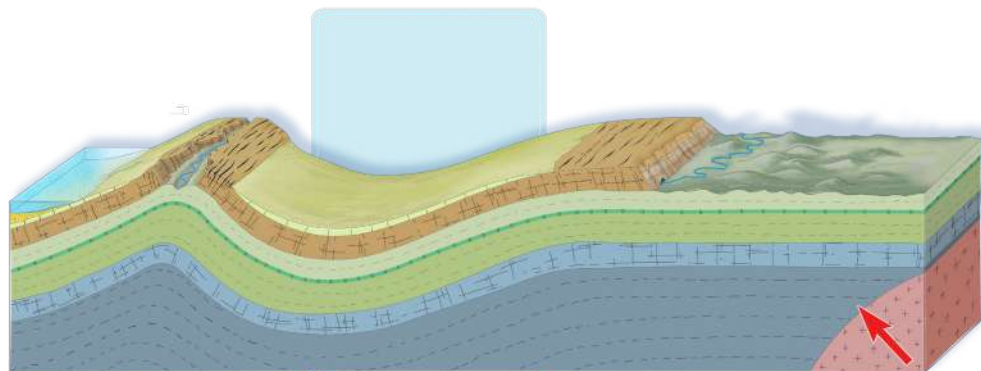


## B2 – L'évolution complexe vers un synclinal perché

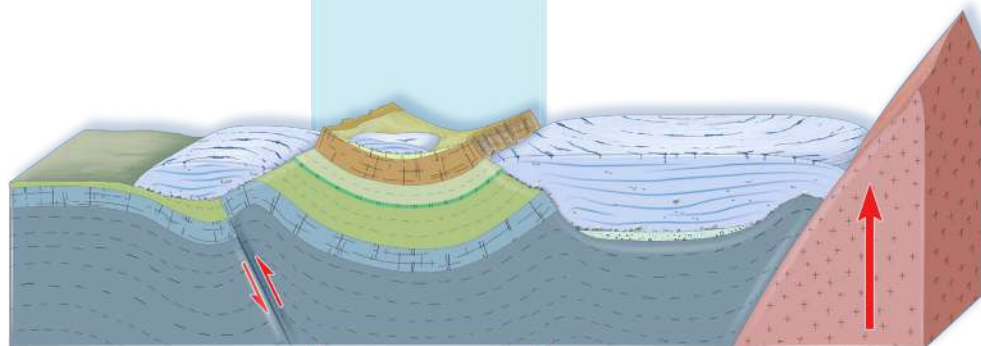
Entre –5 millions d'années et le milieu de l'époque *pléistocène*, il y a environ 700 000 ans, les événements tectoniques et les évolutions climatiques sont particulièrement intenses dans toutes les Alpes et les régions environnantes. Entre –5 et –2 millions d'années, le climat encore chaud tend peut-être à aplanir la surface d'une partie du relief en cours de formation. Une érosion homogène de toutes les couches sous couverture forestière pourrait expliquer les énigmatiques surfaces planes de certains sommets de Chartreuse (Grande Sure notamment) et d'autres massifs subalpins (Le Revard/Nivolet dans les Bauges). Mais cette période qui pose encore de nombreuses questions est difficile à illustrer. À partir de –2 millions d'années, l'**exacerbation du soulèvement des massifs cristallins** externes conduit à exagérer les premiers plissements par raccourcissement des structures géologiques, ce qui provoque les grandes failles chevauchantes vers l'ouest de la Chartreuse. Le soulèvement tectonique devient continu, et perche les formes plissées à environ 1 000 mètres d'altitude. Dans le même temps, le climat commence à se refroidir et, à partir de –1,8 million d'années, l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires se met en place. Ces changements de conditions modifient et accélèrent fortement les processus de façonnement des vallées. Un processus d'*érosion différentielle* poursuit le travail d'inversion du relief sur une structure géologique désormais considérablement surélevée. À partir de surfaces probablement biseautées par le climat précédent, les ruisseaux s'encaissent très vite et les vallées actuelles s'élargissent dans les terrains les plus meubles, tandis que les couches dures restent relativement préservées. Progressivement, le synclinal des Hauts de Chartreuse, en position initialement basse dans la topographie, devient un « val perché » qui domine le paysage. À cette période, l'**approfondissement de la vallée du Grésivaudan** a commencé dans les terrains marneux peu résistants. Mais au plus fort des épisodes glaciaires anciens, le glacier de l'Isère peut encore atteindre le pied des parois de calcaire urgonien des Hauts de Chartreuse.

**Des eaux de fonte glaciaire viennent envahir les réseaux souterrains du massif** en empruntant d'anciennes grottes recoupées par le recul progressif des parois rocheuses.

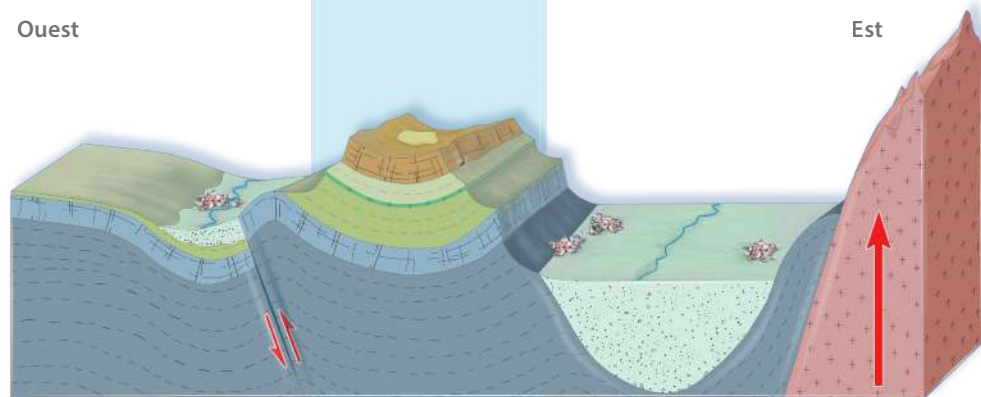
## Évolution probable de la bordure orientale de Chartreuse en relief inversé



1 -10 à -5 MA (Miocène supérieur)



2 - 700 000 à - 500 000 ans (milieu du Quaternaire)














3 Aujourd'hui

**Le soulèvement des Alpes s’est poursuivi probablement durant l’ensemble de la période Quaternaire**, à un rythme de plus de 1 mm/an dans les massifs subalpins. Le massif cristallin externe de la chaîne de Belledonne présente, face à la Chartreuse, un relief de haute montagne récente fait d’aiguilles et de dalles rocheuses verticales ciselées par le gel le long des fractures.

Au moins 17 alternances de périodes glaciaires et interglaciaires, plus ou moins marquées, auraient participé au surcreusement du Grésivaudan et plusieurs générations de lacs remblayés sont venues participer à son comblement. Aujourd’hui, le fond rocheux de cette vallée se situe sous plusieurs centaines de mètres d'alluvions! Dans les vallées internes de Chartreuse, les dépôts glaciaires sont beaucoup moins épais mais enrobent en partie les fonds de vallées. Sur les Hauts de Chartreuse, le synclinal perché a poursuivi son évolution et sa surface se réduit petit à petit, par recul progressif des parois rocheuses. La déstabilisation de ces dernières est le plus souvent liée à l’érosion des terrains sous-jacents, néanmoins, après avoir été compressées par les masses glaciaires, elles se «détendent» également, ce qui implique des fissures en arrière des parois et un appel au vide. L’alternance de cycles de gel-dégel permet quant à elle un recul discret mais efficace, en détachant débris par débris.

**À la surface du val perché, les calcaires urgoniens affleurent largement.** Mais dans le cœur de certains synclinaux, les terrains du Crétacé supérieur ont pu être encore étonnamment préservés de cette longue évolution. Ces terrains jouent aujourd’hui un rôle majeur dans les paysages des Hauts de Chartreuse, car ils ont été plus favorables à l’installation des pâturages que les calcaires urgoniens.

LÉGENDES			
	Glacier et blocs morainiques		Marnes Hauteriviennes
	Dépôts fluvio-glaciaires quaternaires		Calcaires du Valanginien
	Molasses tertiaires		Marnes du Valanginien / Berriasien
	Calcaires et craies du Crétacé Sup.		Calcaires du Tithonique
	Calcaires de faciès urgonien		Marnes noires de l'Oxfordien
			Socle cristallin

### Un massif fait de roches sédimentaires et pas seulement « calcaire »

Avant le plissement des massifs subalpins dont la Chartreuse, une très longue phase d'accumulation de sédiments marins a abouti à une épaisseur considérable de couches rocheuses alternant des bancs plus ou moins épais durant presque toute l'ère secondaire (- 250 MA à - 65 MA – environ 6 000 mètres de sédiments transformés en roches). Des couches marneuses, c'est-à-dire un mélange de calcaire et d'argile, se sont ainsi intercalées avec des couches calcaires plus ou moins pures. L'alternance de ces épaisseurs n'est pas régulière dans le temps ni dans l'espace. Cette **variation stratigraphique**, combinée aux styles de plissements, se répercute dans les paysages actuels. Comme pour l'ensemble des massifs alpins, la surrection de la Chartreuse résulte d'un processus qui ne peut pas se résumer à un mouvement vertical. Paradoxalement, ce sont de considérables mouvements horizontaux, liés au rapprochement de deux plaques tectoniques (européenne à l'ouest et africaine à l'est), qui ont provoqué un raccourcissement horizontal des fonds de l'ancienne mer alpine séparant les deux plaques. Ceci s'est traduit par un surépaississement de la croûte terrestre et un mouvement vertical : une compensation isostatique.

- Même au sein d'un même niveau sédimentaire théoriquement homogène (ici l'urgonien), de multiples strates s'identifient en fonction de critères subtils, notamment leur contenance en argile ou leur compacité.

Dans les calcaires urgoniens massifs, la résistance relative des bancs à l'érosion est très bien mise en relief, comme ici, sur la paroi occidentale du Pinet. Les niveaux les plus argileux ont formé les vires ou sangles de Chartreuse, bien connues des randonneurs amateurs de randonnées du vertige.





**Soumis à des efforts tectoniques importants, les calcaires seuls se cassent davantage qu'ils ne se plissent.** Les roches très argileuses au contraire se froissent de façon très plastique et sans niveau rigide, marquent très difficilement de « beaux plissements ». Dans les massifs subalpins, la stratigraphie propose une alternance heureuse de ces deux types de roches sédimentaires et a permis la constitution de plissements harmonieux, les niveaux calcaires formant l'ossature, accompagnés et amortis dans leurs mouvements par les niveaux plus argileux. Bien que situés en marge occidentale externe du plissement alpin, ces massifs ont été soumis à des plissements vigoureux. Des failles décalant ou faisant chevaucher des compartiments les uns par rapport aux autres sont même apparues par endroits, mais jamais au point d'aboutir à un déracinement ou une déstructuration complète des strates rocheuses. Dans le cas contraire, des charriages seraient survenus, et auraient rendu la structure géologique très difficilement lisible dans le paysage. C'est le cas de certains massifs alpins, le Chablais ou la Vanoise par exemple, qui exigent un œil expert pour lire les structures géologiques dans le paysage. Dans la partie orientale de la Chartreuse, les failles chevauchantes n'existent pas, contrairement à l'ouest du massif. De grandes failles de décrochement, en revanche, affectent les Hauts de Chartreuse, impliquant des déplacements de structure davantage horizontaux que verticaux ou tangentiels. Mais partout dans la réserve naturelle, c'est bien le même pli synclinal que l'on parcourt. Les Hauts de Chartreuse ne sont pas un plateau, mais une vaste et magnifique *gouttière synclinale* plissée, dont l'alignement a été plus ou moins décalé par les failles décrochantes et dont les flancs occidentaux ont été parfois épargnés par l'érosion, parfois pas.

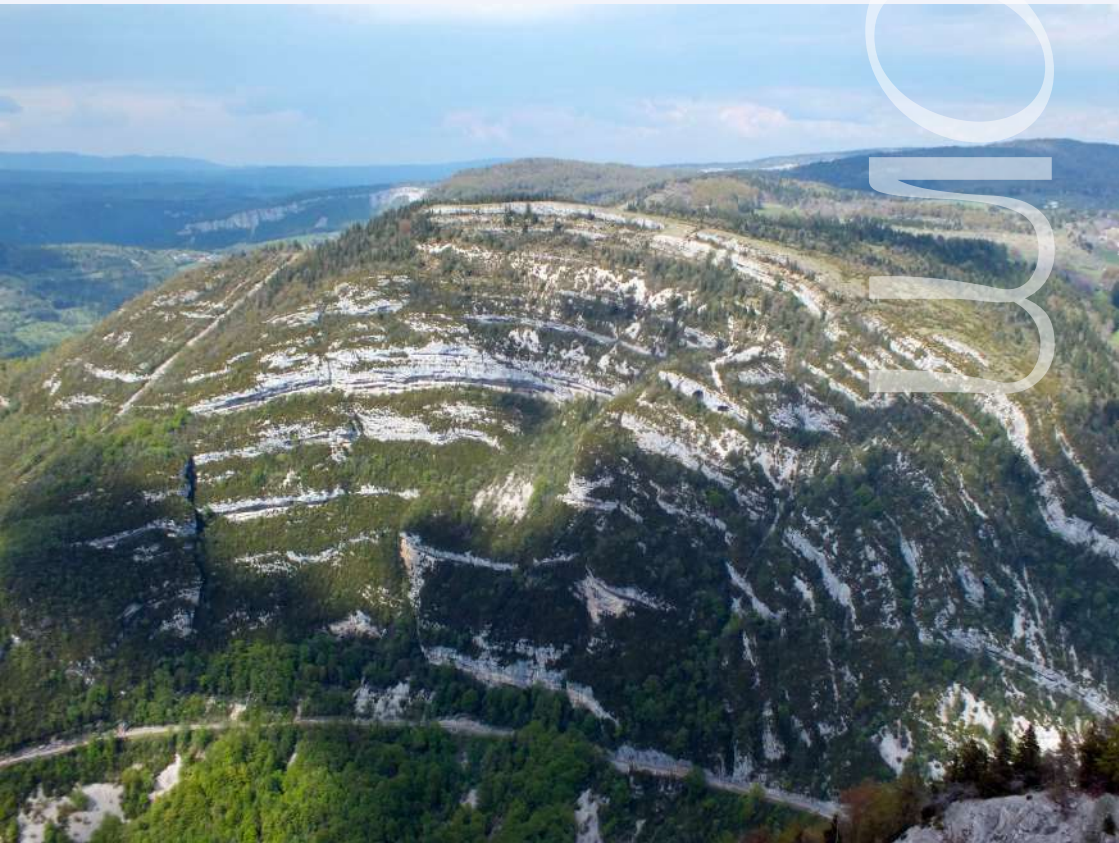


Le type de relief dit « *jurassien* » s'observe dans différents massifs. Il est associé à une terminologie linguistique franco-provençale originaire du *Jura* et de la Savoie où des formes caractéristiques de reliefs sédimentaires ont été désignées dans l'usage courant par des noms de lieux (villes de Cluses, La Clusaz...). Pour les géographes, le « relief jurassien » désigne un ensemble de formes développées dans des chaînes de plissement de type couverture souple et présentant différents degrés d'évolution par rapport à la structure plissée initiale. C'est ainsi qu'une vallée conforme à une structure en creux (**synclinal**) sera désignée comme un **val**, mais ce sera une **combe** si elle a été creusée dans le cœur d'un anticlinal (vallée des Entremonts), ou encore une **cluse** si elle recoupe perpendiculairement tous les plissements (gorges du Guiers, col de la Cluse entre Entremont et Corbel...). Pour les sommets, un **anticlinal** resté en relief sera un **mont**, et s'il est entamé par une combe, des **crêts** forment deux sommets de part et d'autre.

Par rapport à cette terminologie, les Hauts de Chartreuse correspondent non pas à un « plateau » comme il est souvent dit, mais à un **val perché**. Lorsque vous vous promenez dans le fond des vallons de la réserve naturelle, vous êtes bien au fond d'un creux de plissement géologique initial en « U », tout en étant très haut en altitude par rapport au fond des vallées adjacentes : les monts sont devenus depuis longtemps de vastes combes très approfondies, et tous les sommets du site sont **des crêts**. Le val perché est la forme typique d'un **relief inversé**, une phase très avancée de la destruction du relief jurassien initial. Lorsque un relief de type jurassien montre systématiquement des formes d'inversion, on parle parfois de **relief préalpin**.

**C'est particulièrement le cas pour la partie orientale de la Chartreuse correspondant à la Réserve Naturelle.**

• **Photo 1** / Dans le Jura, cet exemple de relief de « mont » correspond au plissement en voûte bien visible des **strates calcaires** (anticlinal de Septmoncel). On parle alors d'un **relief structural** ou **relief conforme** (à la structure géologique des couches). En revanche, la vallée transversale qui a permis de rendre visibles ces couches et qui a incisé le mont perpendiculairement (**une cluse**) n'est pas un relief « structural ». Si les flancs de la cluse continuent à s'approfondir, le mont sera grignoté et un vallon perpendiculaire à la cluse se formera, créant une « **combe** ». On parlera alors de **relief dérivé** (par rapport à la structure). Si l'érosion se poursuit encore davantage, dans des conditions de soulèvement des reliefs accentuées, la dérivation des reliefs peut aboutir à une inversion des reliefs : les points hauts structuraux initiaux (les monts) disparaissent totalement et les synclinaux (plis en creux) sont mis en relief dans le paysage. Le sommet du mont est alors divisé en deux crêts longitudinaux se faisant face. On parle souvent de « relief du type jurassien » pour les massifs préalpins car dans les deux cas, il s'agit de roches sédimentaires plissées de façon assez vigoureuse. Selon l'intensité des plissements de ces massifs, le relief est resté plutôt conforme (Jura, Vercors, Bauges occidentales), dérivé (Bornes centrales) ou inversé (Bauges et Chartreuse orientale, Haut Giffre). La Chartreuse occidentale a subi des failles importantes qui compliquent la lecture de ce modèle.

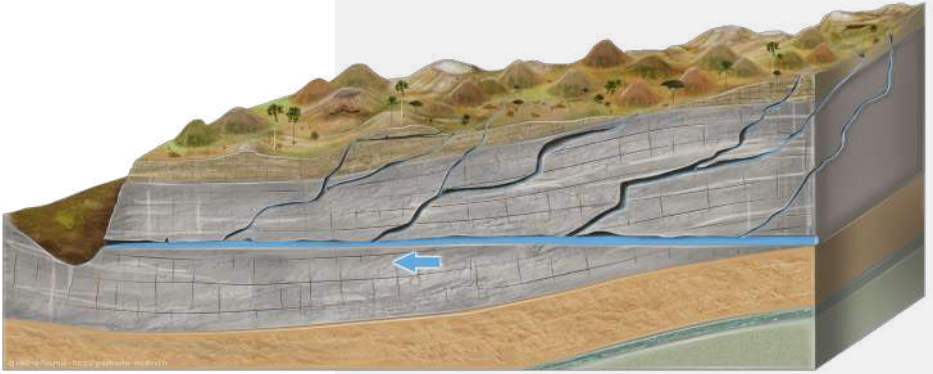


# Zoom



## Les réseaux souterrains, un monde à part





### C1 - Pliocène

- Sénonien
- Urgonien
- Hauterivien
- Valanginien
- Marnes du Valanginien

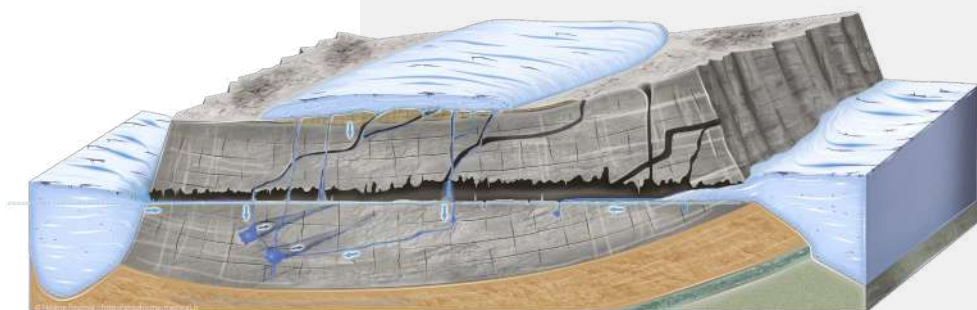
• **Photo** / Certaines grottes de grandes dimensions aujourd'hui perchées en altitude étaient des drains remplis d'eau dans un contexte géographique très différent.



Cliché : J.Bailly

## C1 – Situation au début du Pliocène (vers –4 MA)

Au début du Pliocène, vers –5 MA, la Chartreuse se présente comme un relief d'aspect tabulaire encore modestement soulevé et plissé, et portant les marques d'une longue phase d'érosion dans un contexte de climat chaud et humide. Le paysage présente probablement des buttes et des *dépressions karstiques*, ainsi que des systèmes de *grotte-tunnels*, aujourd'hui totalement disparus. Alors que la vallée du Grésivaudan est encore inexistante, les premiers reliefs orientaux de Chartreuse sont beaucoup plus étendus. Les écoulements s'organisent alors sans aucun lien avec l'organisation hydrologique du massif d'aujourd'hui. Mais les conditions sont en pleine évolution. Le climat s'assèche et la végétation tropicale évolue en savane. Dans le même temps, le plissement et le soulèvement de la Chartreuse s'accélère.. Les grottes-tunnels du Miocène sont progressivement abandonnées par l'eau. De nouveaux réseaux karstiques qui drainent ce vaste plateau absorbent peut-être des écoulements de surfaces des régions alentour. De gros collecteurs souterrains se mettent en place et traversent de part en part l'ossature karstifiable des calcaires urgoniens, sans rencontrer les niveaux argileux étanches qui sont encore situés sous le fond des vallées. Ces collecteurs correspondent à de vastes grottes fossiles énigmatiques observables aujourd'hui entre 1 600 et 1 800 mètres d'altitude sur la réserve naturelle (Balme à Colomb, Trou du Glaz...) et dont l'âge minimum serait de –4,3 à –3,4 MA.



## C2 - Pléistocène

- Sénonien
- Urgonien
- Hauterivien
- Valanginien
- Marnes du Valanginien

• **Photo** / Les nappes de stratus occupant parfois la vallée du Grésivaudan aident à se représenter l'étendue et le travail des glaciers durant certaines périodes du Quaternaire. Si les dernières glaciations ne sont pas montées au-delà de 1 400 mètres d'altitude, il est certain que des glaciations plus anciennes atteignaient le pied des parois urgoniennes, vers 1 700 mètres d'altitude aujourd'hui et ont pu venir encombrer l'entrée de certaines grottes.

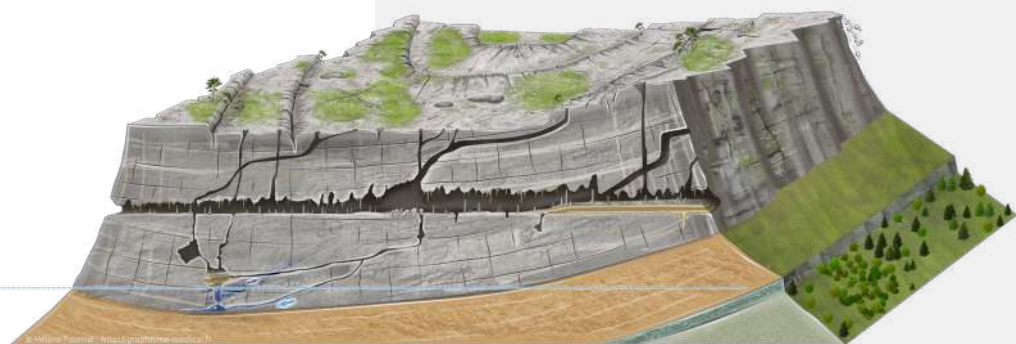




## C2 – Situation au milieu du Pléistocène (–700 000 ans à –300 000 ans)

Durant la deuxième partie du Pliocène et pendant tout le Pléistocène, la tectonique continue de plisser et de soulever les structures géologiques de Chartreuse. En conséquence, les vallées s'approfondissent rapidement, et la base étanche des calcaires urgoniens (marno-calcaires hauteriviens) finit par se retrouver perchée au-dessus du niveau des vallées. Les réseaux souterrains s'adaptent à ces nouvelles conditions : de nouvelles générations de drains collecteurs s'étagent au fur et à mesure du soulèvement du massif. Suivant ce mouvement, des puits verticaux recouperont à l'emporte-pièce les anciennes cavités qui traversaient le massif de façon plus ou moins horizontale. La direction des drains collecteurs peut aussi changer radicalement, en fonction de l'inclinaison des structures plissées ou de nouvelles failles tectoniques qui les guident. Le refroidissement climatique – qui intervient dès le Pléistocène ancien – implique désormais une succession de périodes glaciaires et interglaciaires qui influencent très fortement le relief de surface et le karst souterrain. Selon leur position par rapport aux zones du karst, les glaciers contribuent à envoyer et combler les grottes en formant des bouchons d'obturation au pied du massif karstique, ou, au contraire, accélèrent les processus d'érosion par le déferlement d'abondantes eaux de fonte. Les périodes interglaciaires, plus chaudes, marquent pour leur part les réseaux souterrains de leur empreinte par des concrétionnements de calcite. Il s'agit du calcaire dissout et transporté par l'eau depuis la surface qui se redépose dans des conditions particulières (stalactites, stalagmites, planchers stalagmitiques). Une telle phase de concrétionnement massif a pu être datée à environ –350 000 ans dans les galeries souterraines des Hauts de Chartreuse. Ces anciennes concrétions sont parfois affectées par des déferlements d'eaux de fonte glaciaire plus récents.

En surface, le décapage des anciens reliefs karstiques se fait par le travail combiné du rochage glaciaire et d'une dissolution active pendant les périodes interglaciaires. C'est probablement à cette période que les calcaires de l'urgonien commencent à être débarrassés de leur gange du Crétacé supérieur.



C3-Holocène

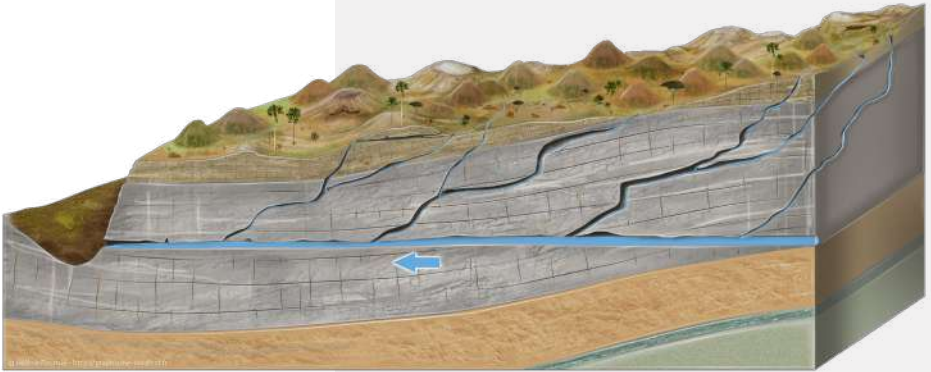
- Sénonien
- Urgonien
- Hauterivien
- Valanginien
- Marnes du Valanginien

## C3 – Situation au début de l’Holocène (vers –10 000 ans)

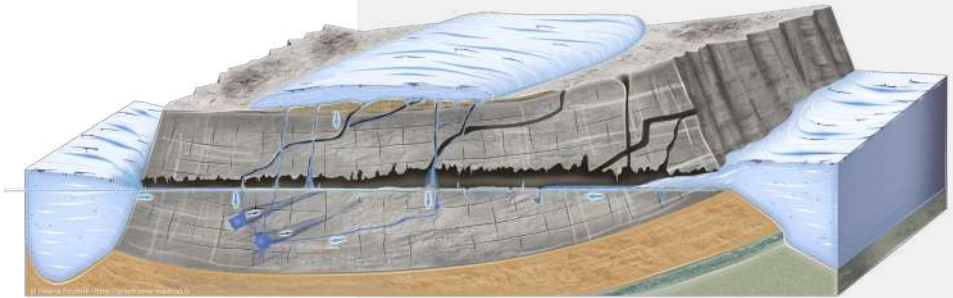
Durant tout le *Quaternaire*, le **soulèvement des Alpes et le creusement des vallées se poursuivent**. La karstification, toujours soumise à une énergie gravitaire importante, génère la formation de galeries souterraines profondes, caractéristiques d’une érosion linéaire. Ces conduits à dominante verticale permettent à l’eau infiltrée en surface de rejoindre les collecteurs immergés qui s’enfoncent de plus en plus dans le massif. La succession de périodes glaciaires et interglaciaires durant tout le Quaternaire contribue finalement largement à l’aménagement général des réseaux souterrains. Des conduits de différentes générations se surimposent en recoupant les précédents, ce qui explique la complexité et la densité de l’écheveau de galeries souterraines des Hauts de Chartreuse. Les parties *actives* du réseau finissent par atteindre le niveau de base définitif constitué par le plafond étanche des roches marno-calcaires de l’Hauterivien. Les vastes réseaux karstiques, remplis de sédiments détritiques et chimiques restés à l’abri de l’érosion extérieure, ont aujourd’hui valeur d’archives environnementales et climatiques (concrétionnements, remplissages sédimentaires...).

En surface, le recul des parois rocheuses se poursuit de façon sporadique par des écroulements, et réduit progressivement la surface des bassins-versants karstiques. En alternant de nombreuses périodes glaciaires et interglaciaires, jusqu’à –12 000 ans, le Quaternaire a presque entièrement « digéré » les niveaux de calcaire du Crétacé supérieur, sauf dans quelques creux de synclinaux les mieux protégés de l’érosion. Les calcaires urgoniens ont également été largement entamés sur plusieurs dizaines de mètres d’épaisseur. Dans la topographie de surface, le paysage de *banquettes* et de cirques *glacio-karstique* mis à nu par les derniers glaciers du Würm a plus ou moins évolué jusqu’à aujourd’hui selon leur position dans le paysage et le rôle joué par la végétation.

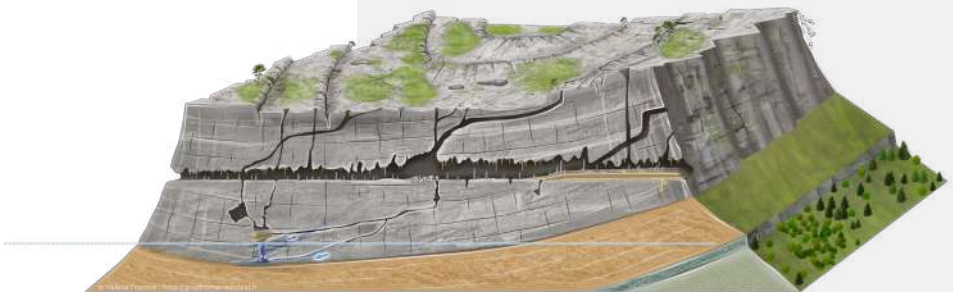
- Sénonien
- Urgonien
- Hauterivien
- Valanginien
- Marnes du Valanginien



C1/ Pliocène



C2/ Pléistocène



C3/ Holocène

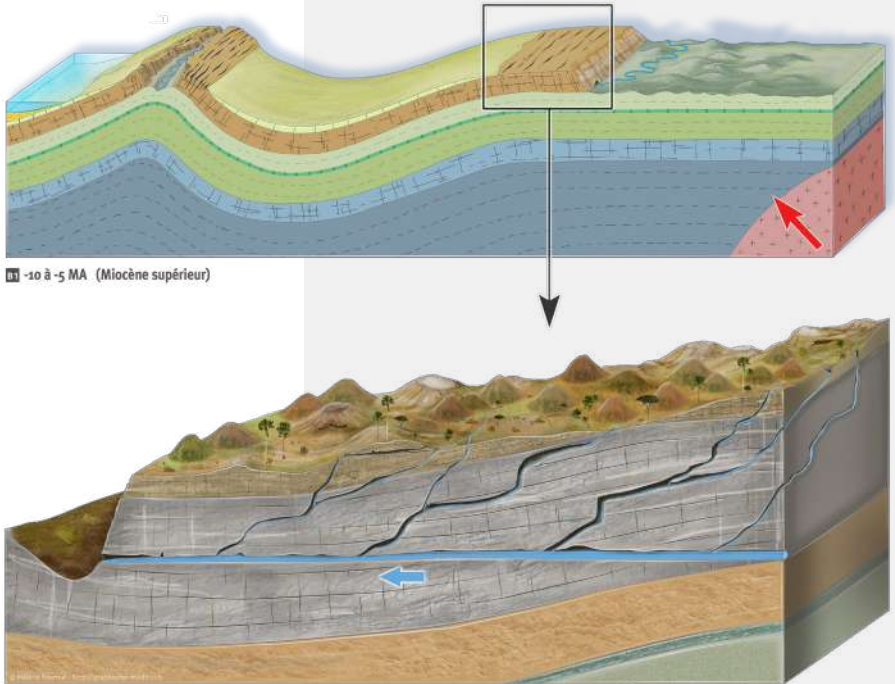
## C1 - À propos des environnements karstiques disparus de l'ère tertiaire

**Au Pliocène supérieur, vers -5 MA, les paysages et les reliefs ont déjà enregistré et probablement effacé bien des phases d'évolution.** L'apparition des premières terres émergées dans le secteur débute théoriquement il y a -65 MA. Ce fut peut-être un peu plus tardif pour ce secteur, l'époque paléocène n'ayant pas laissé de traces connues en Chartreuse orientale. Plus à l'ouest dans le massif, aux Échelles notamment, quelques poches de *sables rouges* issues de l'altération des premiers reliefs soumis à un climat chaud et humide témoignent d'une érosion continentale et d'une intense karstification dans la région à cette période.

De -35 MA à -10 MA, les reliefs émergés de la région ont connu encore de longues phases de **karstification**, dans un contexte de reliefs peu marqués et dans un climat globalement chaud et humide. Les premières couches exposées à cette érosion étaient les calcaires du Crétacé supérieur, recouvrant les calcaires urgoniens et également favorables à la karstification. Le type de relief établi dans ce contexte présentait probablement une alternance caractéristique de buttes, dépressions et grottes-tunnels typiques des karsts tropicaux comme ceux observables aujourd'hui dans le sud-est de la Chine ou à Cuba notamment. De tels vestiges de reliefs énigmatiques ont été épargnés par l'érosion dans le massif des Coulmes, en Vercors, ce qui n'est pas le cas en Chartreuse : le plissement alpin y a été plus vigoureux ce qui en a probablement accéléré l'effacement.

## C1 à C3 - À propos des grandes grottes d'altitude de la réserve naturelle

**Il y a environ -10 MA, des mouvements tectoniques plus importants apparaissent et les formes de plissements que nous connaissons aujourd'hui s'ébauchent.** Le tracé des rivières actuel et le creusement des vallées commencent à se mettre en place en conséquence. L'enfoncement des vallées s'accélère probablement entre -6 MA et -5 MA, alors que la fermeture de la mer Méditerranée provoque un creusement généralisé de la vallée du Rhône et de ses affluents (*crise messinienne*). Au début du Pliocène, vers -5 MA, La structure plissée est bien amorcée mais le soulèvement du massif et le creusement des vallées sont toujours très loin de ce que nous connaissons actuellement. La *transgression pliocène* (-5,33 MA), liée à l'ouverture du détroit de Gibraltar, met fin à la crise messinienne par le rehaussement du niveau de la Méditerranée, ce qui ralentit temporairement le creusement des vallées malgré le soulèvement alpin. Cela permet sans doute une période de relative stabilité des conditions de creusement du karst expliquant peut-être, en partie, la mise en place de réseaux de drainage aussi bien développés.



• **Illustrations :** *Il y a -5 MA, la vallée du Grésivaudan n'existe pas en tant que telle et il faut imaginer, probablement, un vaste plateau calcaire ondulé sur une trame qui commence à ressembler aux plissements actuels, dont ne figure sur le schéma B1 que la partie correspondant à la réserve naturelle aujourd'hui.*

Ainsi, le trou du Glaz, la balme à Colomb ou encore la grotte du Biolet, portions de vastes grottes horizontales perchées en altitude et bien connues des randonneurs et spéléologues, dont l'emplacement et les dimensions ne peuvent s'expliquer que par un environnement fort différent d'aujourd'hui, pourraient bien être rattachés à cette période. En effet, ces cavités impressionnantes, situées à une altitude d'environ 1 700 m d'altitude actuellement, étaient alors proches du niveau de base des vallées!



C'est peut-être dans ce contexte favorable que s'est mise en place une importante génération de conduits souterrains que l'on peut explorer aujourd'hui dans la réserve naturelle.



• Photos 1 & 2 : L'ampleur et la position des grottes fossiles comme celles de la Balme à Colomb et de Pincherin supposent des conditions géographiques fort différentes d'aujourd'hui.

Clichés : L.Thierry

Ce plateau s'étend beaucoup plus à l'est, dans des proportions qu'il est difficile de se représenter précisément car le massif de **Belledonne** débute à peine son soulèvement. Le réseau de galeries souterraines draine des surfaces sans commune mesure avec celles qui correspondent aux plissements actuels. Des rivières provenant des zones imperméables non karstiques, au sud et à l'est, viennent donc peut-être aussi se perdre au contact du plateau et contribuent alors à alimenter en eau ces réseaux.

Le soulèvement en cours des Alpes oriente les écoulements vers l'extérieur du massif, c'est-à-dire du sud-est vers le nord-ouest. Les réseaux souterrains s'organisent en conséquence et ne peuvent se creuser en dessous du niveau de base hydrologique régional, commandé par l'ébauche des cluses de Grenoble et Chambéry. Ce niveau de base est alors plus haut que le soubassement étanche des calcaires urgoniens (niveau marneux de l'Hauterivien): les collecteurs peuvent donc transpercer horizontalement, d'est en ouest, la structure plissée synclinale au cœur des calcaires

urgoniens avant de ressortir à l'air libre. Cette configuration typique est très bien représentée sur le secteur de la dent de Crolles notamment, expliquant la fameuse traversée spéléologique reliant le **trou du Glaz** (versant ouest) aux **grottes Annette et Chevallier** (versant est). Ces galeries proches du niveau de base fonctionnent alors comme des conduites forcées alimentées par des drains adaptés à la structure géologique et hydrologique de l'époque.

**Dans le réseau du Granier**, le second niveau de galeries les plus hautes, perchées entre 1 630 et 1 700 mètres d'altitude, abrite des sables et galets fluviatiles contenant des témoins des couches supérieures du Crétacé supérieur aujourd'hui totalement disparues de la surface. Ces sédiments ont été enfouis entre -4,3 MA et -3,4 MA d'après une datation effectuée à partir de la méthode des radionucléides cosmogéniques (F. Hobléa, 2006).

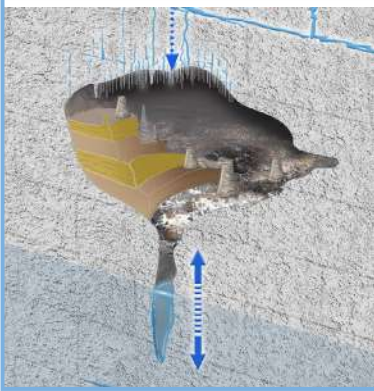
## C2 à C3 - À propos du rôle des glaciations sur l'évolution des réseaux souterrains des Hauts de Chartreuse

**Lors des épisodes glaciaires du Quaternaire**, tous les vallons des Hauts de Chartreuse sont occupés par des petites calottes glaciaires qui fluent vers les fonds de vallées de Chartreuse par l'ouest (**cirques glacio-karstiques de La Plagne/col de l'Alpette, vallon de Pratcel, Guiers vif et Guiers mort...**). Ces glaciers locaux participent à leur mesure à l'alimentation des vastes glaciers alpins qui, au plus fort des épisodes glaciaires, peuvent diffuser en Chartreuse intérieure par les cols (**col du Granier, col du Coq...**). Les glaciers des Hauts de Chartreuse ont contribué à la disparition des volets occidentaux du synclinal perché par endroits. Ceci est particulièrement marqué dans le secteur de **Bellefont**, ou encore de l'Alpette de la Dame, deux secteurs de la réserve naturelle où l'on randonne sans être coupé visuellement de la Chartreuse intérieure. Mais il ne faudrait pas exagérer le rôle des glaciers dans ce travail : ils ont largement exploité des zones fracturées par des **failles décrochantes**, fragilité qui a été exploitée aussi par d'autres processus d'érosion.

Les glaciers qui occupaient les Hauts de Chartreuse ont, durant leur fonte saisonnière ou définitive, libéré des masses d'eau considérables et de façon brutale. Ces flux d'eaux chargés de débris fins (farines glaciaires) ou de cailloux grossiers, sont venus engorger les réseaux souterrains. Au début des épisodes glaciaires, la taille des conduits n'est pas adaptée à l'évacuation de tels volumes d'eau et aux points d'entrée de l'eau dans les réseaux souterrains, à la semelle du glacier, des gouffres se forment rapidement ou s'agrandissent. Les galeries empruntées connaissent une forte érosion mécanique, avec le creusement de marmites de géant, d'encoches sur les parois ou de **niches de corrosion** au plafond des grottes. Vers le bas des réseaux, les mises en charge sont considérables, d'autant que des glaciers de vallée viennent obstruer les exutoires et gêner l'écoulement normal au pied du massif karstique. Dans ces zones longtemps ennoyées, une décantation progressive en fonction de la taille de débris transportés se met en place ; en témoignent des successions sédimentaires saisonnières de limons très fins (varves carbonatées).

Durant ces périodes glaciaires, le réseau de galeries s'adapte à ces nouvelles conditions de circulation de l'eau et de nouveaux puits-méandres se creusent, qui rejoignent les circulations hypogées profondes. Ils recoupent parfois à l'emporte-pièce des conduits anciens, plus

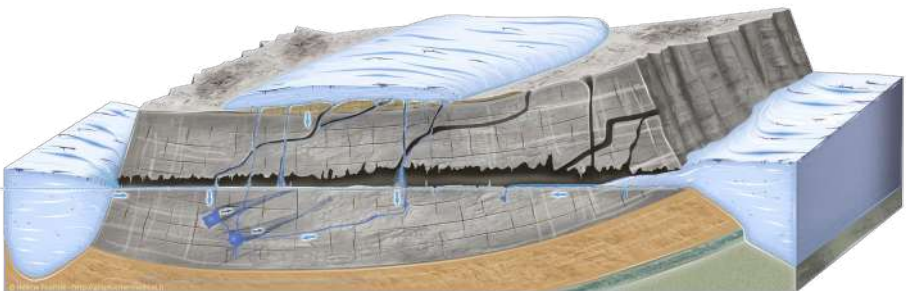




horizontaux. Les eaux glaciaires les réempruntent éventuellement et les réaménagent, le plus souvent en les surcreusant en forme de « trou de serrure » avec une forte composante d'érosion mécanique.

Le flanc oriental des Hauts de Chartreuse présente une situation particulière vis-à-vis de la glaciation. Dans le réseau de la Dent de Crolles, les grottes Annette et Chevallier, perchées à près de 1 700 mètres d'altitude, contiennent encore aujourd'hui des débris rocheux remaniés qui ne proviennent pas de roches existant en Chartreuse (Ph. Audra, 1994). La présence importante de *silicates* et de *quartz* suggère une origine *allochtone*, et probablement des *massifs cristallins externes* (Mont-Blanc, Beaufortain, Lauzière, Belledonne). Comment ces débris rocheux sont-ils parvenus jusque dans ces grottes ? La réponse la plus vraisemblable est l'apport de ces matériaux par le *glacier de l'Isère* qui descend alors de ces massifs et transporte avec lui des moraines riches de ces débris rocheux cristallins. Si cela était impossible à la dernière période glaciaire, durant laquelle les glaciers du Würm n'ont jamais dépassé l'altitude de 1 400 mètres environ, cela est tout à fait envisageable pour des épisodes glaciaires plus anciens. Le creusement de la vallée du Grésivaudan est alors beaucoup moins avancé et les glaciers sont, à certaines périodes, plus puissants. Ils atteignent

le pied des parois de calcaire urgonien de la réserve naturelle et sont en mesure d'injecter une partie des *moraines latérales* qu'ils transportent. Cette injection peut se faire soit par fluage d'une excroissance du glacier à l'intérieur de la grotte, comme cela est connu dans certaines régions glaciaires actuelles, soit par l'écoulement, depuis l'extérieur et à proximité du glacier, de puissantes eaux de fontes capables de transporter des matériaux morainiques jusque dans les galeries souterraines.



C2/ Pléistocène

La répétition des glaciations quaternaires rabote les plateaux karstiques de façon inégale. Sur les pentes des versants du **synclinal**, l'épaisseur retirée aux calcaires représente en moyenne une cinquantaine de mètres au niveau de la réserve naturelle. Cela peut-être davantage sur les compartiments les plus exposés à l'érosion par leur position altitudinale (dalle sommitale du **Granier** où l'enlèvement est plutôt d'environ 90 mètres, Lances de Malissard), ou au contraire au fond de **cirques** surcreusés par l'**érosion glaciaire** (cirque du Guiers mort, cirque des Rochers du Biolet...).

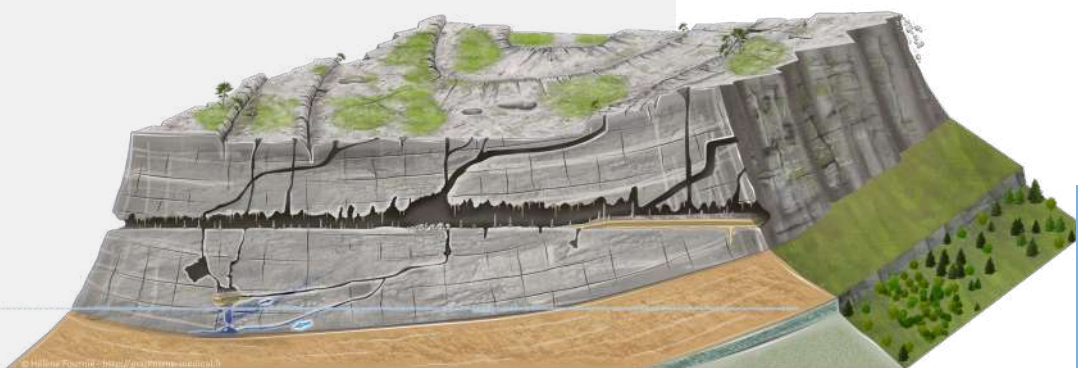
L'**ablation de surface** ainsi que le recul des parois de bordure du **synclinal** conduisent à recouper et décapiter un certain nombre de cavités de différentes générations selon leur situation : grottes horizontales et gouffres verticaux deviennent ainsi autant de portes d'entrée de ces réseaux pour leur exploration spéléologique.

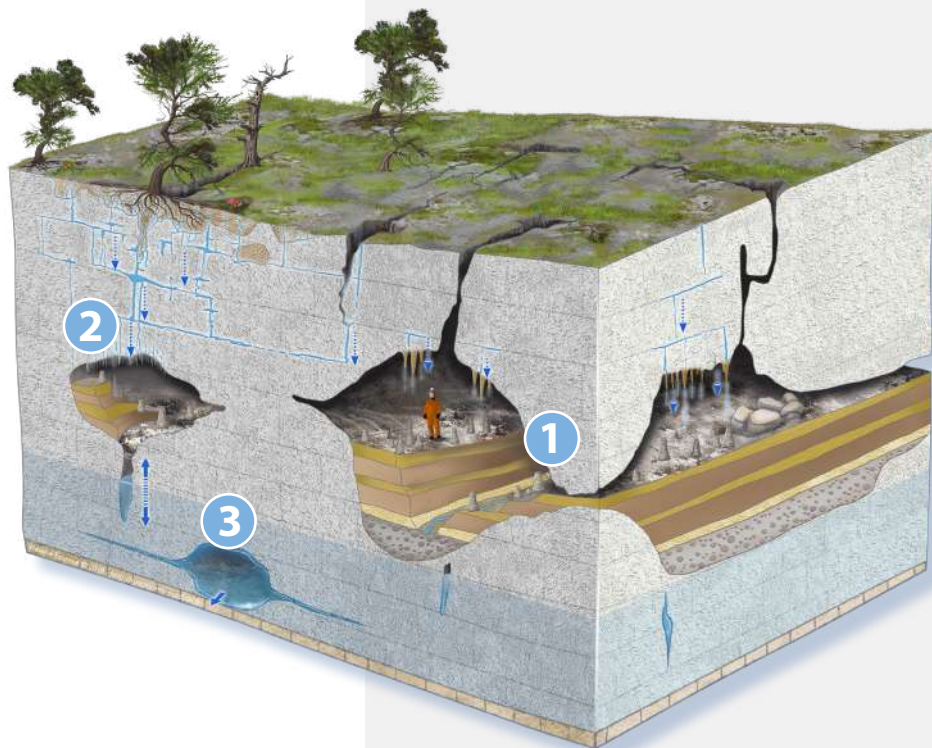
Au total, on dénombre au moins cinq générations de galeries étagées, creusées depuis 5 MA environ jusqu'à aujourd'hui, au sein des massifs karstiques de la réserve naturelle. Et c'est sans compter les générations de grottes antérieures probablement creusées avant la formation des Alpes dans les roches calcaires du Crétacé supérieur qui ont été digérées par l'érosion.

**Aujourd'hui, les réseaux karstiques de la réserve naturelle sont à la fois immenses, complexes et font partie d'un patrimoine naturel exceptionnel.**

**Photo •** Sur le flanc est du synclinal de l'Aulp du Seuil très redressé, l'enlèvement partiel des couches supérieures des calcaires urgoniens a progressé plus rapidement qu'ailleurs à cause d'une activité d'abrasion glaciaire probablement plus efficace du fait de la pente. Les parties encore préservées tendent à former des chevrons. Au fond du synclinal, les couches supérieures, plus favorables aux alpages, n'ont pas encore été dénudées par l'érosion (alpages recouverts de neige à droite du cliché).

**Illustration •** C3 / Holocène





• **Illustration : trois types de grottes**

**1/** grotte fossile ayant été creusée dans un contexte géographique différent, et déconnectée du drainage souterrain actuel. Elle a connu plusieurs épisodes de comblements partiels liés aux alternances climatiques et notamment glaciaires qui ont laissé plusieurs types de sédiments détritiques et chimiques.

**2/** ancienne conduite forcée en partie colmatée puis surcreusée en trou de serrure suite à une réorganisation des écoulements plus en profondeur dans le massif.

**3/** galerie active en conduite forcée récente, bloquée sur un plancher de roches imperméables. Le creusement va se poursuivre latéralement, en suivant les joints de stratification de la roche.

## Les concrétionnements dans les grottes et leur signification

**Durant le Quaternaire, les périodes interglaciaires ont joué également un rôle important dans le façonnement des réseaux souterrains.**

Durant ces périodes, les cavités ont vu apparaître des **concrétionnements** ou **spéléothèmes** (*stalactites*, *stalagmites*, **planchers de calcite**, **gours...**) dans les parties de réseaux peu actives au niveau hydrologique. Il existe une relation étroite entre la formation de spéléothèmes et la température moyenne annuelle extérieure, ce qui en fait des marqueurs des évolutions climatiques et environnementales très probants. Plus l'épaisseur des sols est importante, plus la production de **dioxyde de carbone** rend les eaux infiltrées agressives avant qu'elles ne pénètrent dans le réseau karstique de fissures. Lorsqu'elles parviennent dans les grandes galeries fossiles aérées par les courants d'air extérieurs, ces eaux chargées en calcaire dissous subissent des phénomènes de dégazage. Cela provoque le dépôt, au débouché des fissures ou par un faible ruissellement au sol, de concrétions de calcite colorées par les particules solides également entraînées par l'eau. Ainsi se sont formés stalactites, stalagmites, planchers stalagmitiques, gours, etc. Exceptionnellement, des formes translucides, non polluées par des particules de sol peuvent apparaître (*fistuleuses* ou *macaronis...*).

L'étude des concrétionnements peut être très riche d'enseignements **paléogéographiques**: la présence de spéléothèmes massifs est liée à des périodes d'activité biologique importante au niveau du sol et à une végétation boisée. La diminution et la disparition de ces processus témoignent au contraire de périodes plus froides, à végétation éparse ou absente produisant peu de CO<sub>2</sub> disponible pour les eaux d'infiltration.



Dans les réseaux souterrains de Chartreuse, la simple observation de l'aspect terne et grisâtre de nombreuses concrétions témoigne donc directement de plusieurs phases de l'évolution des grottes en lien avec l'environnement de surface. La taille des concrétions séniles, souvent supérieure aux concrétions brillantes et cristallines liées à la phase climatique actuelle, indique d'anciennes et longues périodes climatiques favorables. Leur corrosion, voire leur cassure, correspond à la reprise ultérieure d'écoulements, parfois violents, qui témoignent du passage d'eaux de fonte glaciaire très puissantes. Ces successions d'événements, plus ou moins bien enregistrées selon les cavités, sont de précieux indicateurs paléoenvironnementaux. La cassure des stalagmites par ces écoulements n'est pas rare : elle permet d'observer leur structure cristalline interne, qui elle aussi témoigne des conditions environnementales passées. Un aspect transparent traduit une phase de croissance rapide en période climatique chaude, stable, avec peu d'érosion en surface, signe de la présence d'un sol bien constitué. Au contraire, un aspect brunâtre ou rougeâtre, témoigne d'un environnement extérieur en déséquilibre, généralement un climat en cours de refroidissement, des sols s'érodant et polluant la concrétion par des particules telles que des argiles. Parfois, des pollens sont piégés dans la structure cristalline des concrétions. Ils peuvent contribuer à dater et à caractériser un ancien couvert végétal.

La datation des plus anciennes concrétions contenues dans les grottes des Hauts de Chartreuse est confrontée à la limite de la méthode de datation absolue uranium/thorium utilisée. Cette méthode est jugée fiable mais ne permet pas de dater des objets plus vieux que 350 000 ans environ. Une autre méthode, le **paléomagnétisme**, permet de remonter plus loin mais elle est beaucoup moins précise. Dans la grotte Chevallier appartenant au réseau souterrain de la dent de Crolles, une concrétion a pu être datée d'environ -350 000 à -400 000 ans. C'est la plus ancienne preuve connue à ce jour d'une phase chaude et de concrétionnement ayant affecté ces réseaux souterrains après leur abandon par les cours d'eau qui les avaient créés. Ces indices peuvent être corrélés avec des indices des phases climatiques froides, générant plutôt des sédiments détritiques et de la corrosion pour comprendre l'histoire globale des réseaux. On parle de **datation relative** lorsque l'on tente de replacer les différents éléments les uns par rapport aux autres dans un ordre chronologique.

Mais il est possible que d'autres concrétions, aujourd'hui détruites ou recouvertes par d'autres générations de spéléothèmes soient encore plus anciennes.



## Le karst, c'est quoi, c'est où ? Des formes de relief très originales

Le terme provient à l'origine de la région du *Carso* en italien, principalement située en Slovénie où des formes typiques ont été décrites pour la première fois par les géographes. Mais les régions karstiques sont réparties dans de très nombreuses régions du monde. En France, les principales régions karstiques sont disséminées dans le Jura, les Alpes, les Pyrénées, le sud du Massif central (les Causses), l'Ardèche, la Haute Provence, le pourtour du Bassin parisien.

Le relief karstique, ou tout simplement karst, correspond à un ensemble de formes très originales qui se développent presque uniquement dans les roches calcaires suffisamment pures et épaisses, du fait de la dissolution chimique du **carbonate de calcium** au contact de l'eau acide (eau de pluie, eau de percolation des sols, de fonte des neiges...).

Ces formes se développent en surface, mais aussi en profondeur, au sein de la masse rocheuse, développant des systèmes de drainage souterrains pouvant être très profonds et représenter des réseaux de grottes de plusieurs dizaines de kilomètres. Le schéma de ces réseaux est lié aux chemins complexes de l'eau souterraine, actuels ou abandonnés. Cette particularité chimique engendre donc des vides, en surface comme en profondeur, dans une roche par ailleurs compacte et cohérente. Dans la réalité observable sur le terrain, les formes d'érosion karstiques sont souvent guidées par les fractures initiales de la roche et se combinent parfois à d'autres processus d'érosion (glaciaire, action mécanique des eaux...). Mais toutes les formes d'érosion en région karstique ne sont pas liées à ce phénomène même s'il en donne le caractère dominant.



• photos  
1 & 2 :  
*paysages  
karstiques  
typiques sur  
les Hauts de  
Chartreuse*

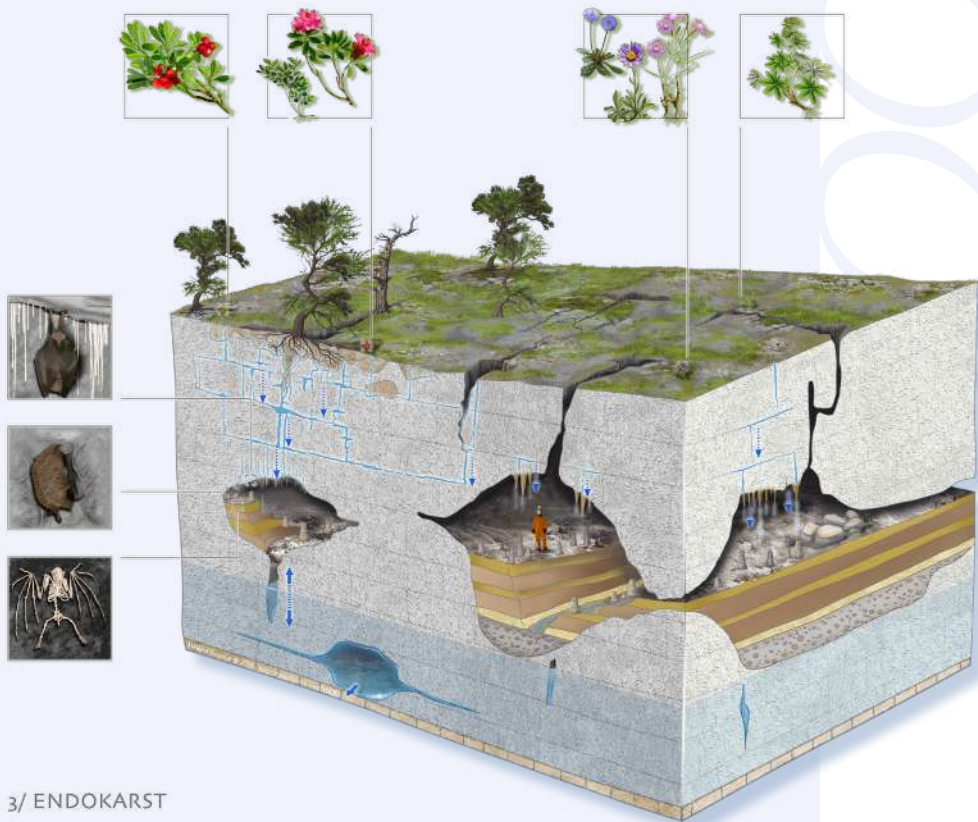
## Le karst et la circulation de l'eau

**Le développement d'un karst implique une infiltration rapide de l'eau de ruissellement pour un drainage en profondeur**, d'où l'absence ou la grande rareté de ruisseaux ou rivières en surface. Ce phénomène s'arrête dès que l'eau rencontre une roche à dominante argileuse. Dans ce cas, l'approfondissement des réseaux souterrains est bloqué, l'eau ressort dès que possible en fonction du recoupement entre le plancher imperméable argileux et le versant de montagne le plus proche. En aval du réseau karstique, l'eau circule alors à nouveau en organisant un réseau de ruisseaux et de rivières hiérarchisés en surface. Sur la réserve naturelle, les surfaces karstiques se développent sur la totalité du val perché, tandis que les surfaces non karstiques concernent l'ensemble des versants en contrebas des hautes parois calcaires de ceinture. En circulant rapidement à travers le réseau de fissures et de grottes, l'eau issue des karsts n'est pas filtrée, et toute pollution se transmet tout aussi rapidement. Ces particularités hydrologiques des massifs karstiques impliquent également de la sécheresse localisée dans des régions qui peuvent pourtant être très arrosées, ce qui est le cas en Chartreuse, qui bat des records pluviométriques en France. Il en résulte des habitats naturels et une flore très contrastés, des espèces adaptées à une forte sécheresse pouvant côtoyer une flore recherchant une très forte humidité.

**Sur les Hauts de Chartreuse**, l'absence de sons liés à la présence de ruissellements dans une ambiance pourtant souvent ombrageuse et humide participe à l'atmosphère particulière des lieux.

• **Illustrations ci-contre** : le relief karstique crée des originalités tant en surface qu'en profondeur. Il influence fortement la composition des habitats naturels et la répartition des espèces floristiques, et parfois même faunistiques, en favorisant la présence de chiroptères par exemple (chauve-souris). En profondeur, différentes générations de grottes ont pu s'étagier. Dans les niveaux les plus anciens, les plus hauts en altitude, des remplissages détritiques ainsi que des concrétionnements chimiques restés à l'abri de l'érosion de surface s'avèrent de véritables archives sur l'évolution passée des massifs karstiques et de leur région. Plus bas, des galeries actives assurent le drainage avant d'émerger au pied du massif (exurgence de Saint-Même, du Guiers mort...)





3/ ENDOKARST

## D'immenses réseaux de grottes

**Les massifs subalpins, et en particulier les Hauts de Chartreuse, sont particulièrement favorables au développement d'un relief karstique bien développé, en surface comme en profondeur.** Les calcaires urgoniens, principalement, d'une épaisseur totale de 200 à 300 mètres et qui affleurent largement sur les sommets, sont très karstifiables. Leur teneur très faible en argile (moins de 1 %) permet l'apparition de formes de dissolution très pures, car elles ne sont pas colmatées par l'argile résiduelle libérée au fur et à mesure de la réaction chimique. Le contexte climatique est également propice, car les précipitations sont abondantes et le froid laisse le temps à la dissolution chimique d'opérer jusque loin en profondeur. Le plissement alpin ayant incliné ces couches favorables de différentes manières, notamment en « gouttières », plusieurs réseaux karstiques des massifs subalpins dépassent la cote de -1 000 mètres de dénivellation entre les plus hautes entrées et le point de sortie des eaux (gouffres Mirolda et Jean-Bernard dans le Haut Giffre, gouffre des Prad'zeures/Tournette dans les Bornes, gouffre Berger dans le Vercors). En Chartreuse, la configuration du plissement des couches ne permet pas d'atteindre cette cote, mais d'immenses réseaux souterrains, parmi les plus renommés de la spéléologie mondiale, se sont développés, sur plusieurs dizaines de kilomètres et plusieurs centaines de mètres de dénivellation (Granier, Dent de Crolles, Alpe, Aulp du seuil...). Les plus grands réseaux karstiques de Chartreuse, et pour une grande part des Préalpes, sont situés sur la réserve naturelle parce que la structure géologique en gouttières synclinales inclinées y est particulièrement favorable. Plus à l'ouest en Chartreuse, les failles chevauchantes impliquent en général des réseaux plus contraints et cloisonnés par la structure géologique des couches calcaires.

**Ces immenses réseaux souterrains de la réserve naturelle présentent des structures très complexes en galeries étagées,** qui ont posé problème à de nombreuses équipes de spéléologues et qui peuvent paraître énigmatiques (*cf. infra*). L'exploration de ces réseaux et leur lever topographique ont permis de réaliser des cartographies très abouties, en 3D pour certains (mont Granier). Ces données permettent d'évaluer un indice de cavernement qui donne une idée de la quantité de vides dans la masse montagneuse. Dans les Hauts de Chartreuse, il est l'un des plus élevés au monde.



Zoom



## Évolution d'une dalle calcaire de -25 000 ans à aujourd'hui



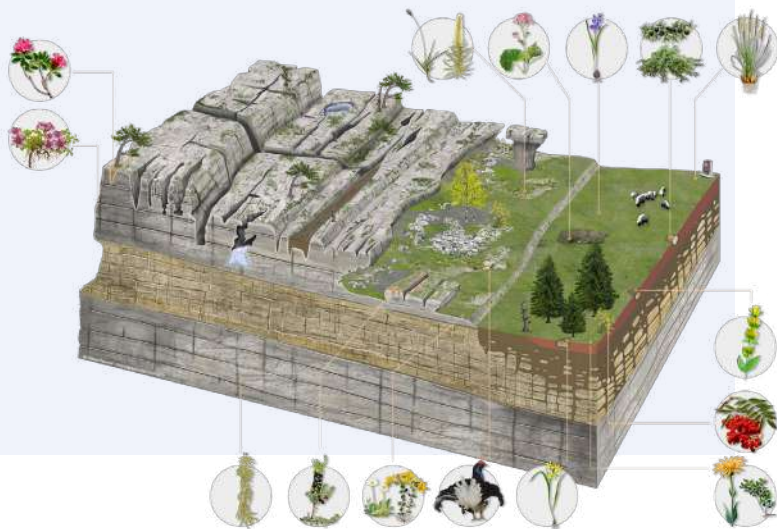
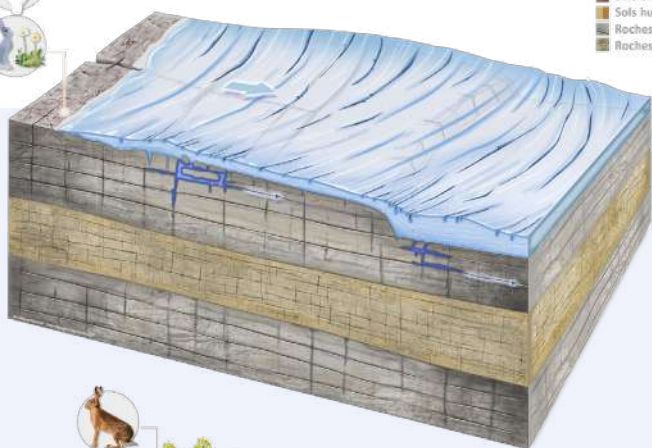
**Une multitude de microreliefs originaux compliquent le cheminement du randonneur et accrochent le regard** : pavements rocheux organisés en escalier, petits ou grands surplombs, cannelures rectilignes ou serpentant dans la roche, gouffres et entonnoirs creusés à même le sol, roches en forme de champignon, etc. Souvent, la roche domine ; mais un peu plus loin, c'est une prairie ou la forêt qui prend le dessus. À l'échelle de quelques pas d'hommes, les Hauts de Chartreuse proposent une diversité saisissante. Cette particularité est d'une grande richesse géomorphologique, mais elle est également favorable à une mosaïque d'habitats naturels distribués en conséquence, qui multiplient les niches écologiques offertes à différentes espèces de lichens, de mousses, de fleurs, d'insectes en fonction de leurs affinités. Quoique vous répétiez le même itinéraire dans cet immense jardin de roches et de plantes, soyez-en sûr, la balade ne sera jamais la même ! Mais comment et à quelle vitesse un tel relief s'est-il créé ? Comme cela n'est pas toujours simple à comprendre, la commodité consiste souvent à évoquer les glaciers. Certes, ils ont eu un rôle considérable depuis 1,8 MA et au cours d'au moins 17 périodes glaciaires recensées dans les Alpes. Certaines formes majeures dans les paysages alpins d'aujourd'hui leur sont directement attribuables. Mais ils n'expliquent pas, loin de là, toutes les formes d'érosion héritées du passé. Les paysages glaciaires du Quaternaire ont été remodelés voire balayés par des processus d'érosion plus récents, depuis la dernière glaciation (époque holocène).

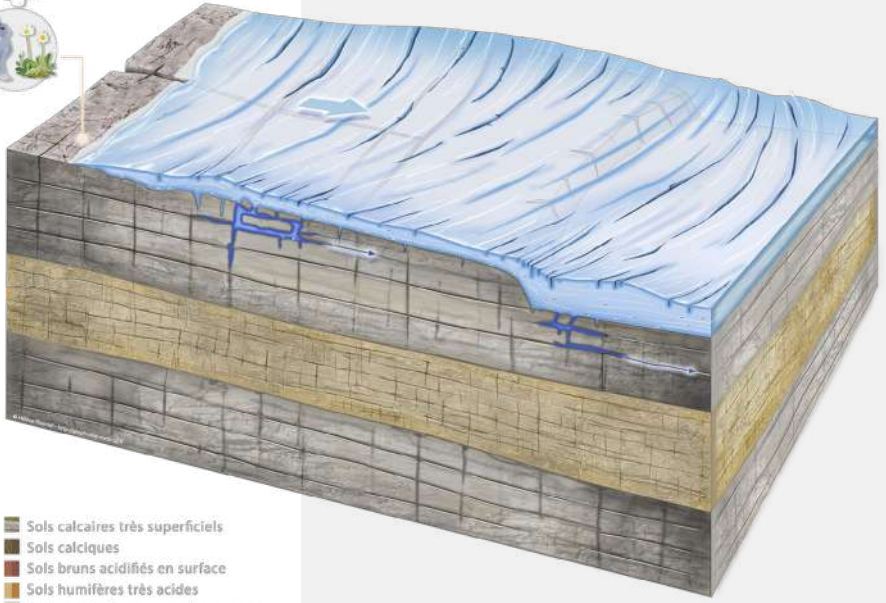
D'une manière générale, il est essentiel de prendre en compte le fait que l'évolution du modelé du paysage combine plusieurs facteurs : les agents d'érosion à l'œuvre (glace, eau, vent, gravité...), mais aussi le climat (température, précipitations), le type de végétation et de sol pouvant recouvrir les roches, et enfin, la qualité intrinsèque et la fracturation initiale de celles-ci. Si un seul de ces facteurs vient à se modifier, c'est tout le système d'équilibre avec les facteurs d'érosion qui évolue et qui peut aboutir en un lieu donné à des formes de reliefs différentes. On parle de système morphogénique pour décrire l'ensemble des facteurs permettant d'aboutir à un ensemble de reliefs donné. Or les systèmes morphogéniques n'ont pas été stables depuis la dernière glaciation, et encore moins durant toute l'histoire géologique. De ce point de vue, l'évolution sous les conditions morphogéniques actuelles est récente : elle apporte au paysage de la montagne des retouches sur des formes de relief héritées. Ces retouches sont d'autant plus visibles qu'on se rapproche du microrelief.







**Pour tenter d'y voir plus clair, nous avons essayé de représenter une petite tranche typique des microreliefs des Hauts de Chartreuse : une succession de dalles rocheuses calcaires de l'étage subalpin, dominant un curieux petit surplomb et un replat herbeux, comme vous pouvez en observer sur le Granier, la Dent de Crolles, le Pinet ou encore l'Aulp du Seuil...**



- Sols calcaires très superficiels
- Sols calciques
- Sols bruns acidifiés en surface
- Sols humifères très acides
- Roches calcaires pures et compactes
- Roches calcaires marneuses





-  Sols calcaires très superficiels
-  Sols calciques
-  Sols bruns acidifiés en surface
-  Sols humifères très acides
-  Roches calcaires pures et compactes
-  Roches calcaires marneuses











## D1 – Entre –30 000 et –18 000 ans : la dernière génération de banquettes glacio-karstiques ?

**Lors de la dernière période pléniglaciaire du Würm sur les Hauts de Chartreuse** (Würm IV), les **glaciers** des Hauts de Chartreuse recouvrent une partie des pentes situées au-dessus de 1 400 mètres d'altitude. Auparavant, de nombreuses alternances climatiques froides et tempérées se sont succédé depuis 1,8 MA. Elles ont déjà déblayé plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur de strates calcaires. À chaque fois, les nouvelles surfaces offertes à l'érosion glaciaire sont l'héritage plus ou moins dégradé des précédentes glaciations. Il y a 25 000 ans, sur cette dalle calcaire dont la pente est inclinée dans le même sens que le *pendage* des strates rocheuses, s'écoule à nouveau un glacier prêt à rajeunir un type de relief typique des Hauts de Chartreuse : les **banquettes glacio-karstiques**. À la base du glacier ruisselle en permanence une pellicule d'eau chimiquement agressive qui s'infiltré dans les moindres *zones de faiblesse* de la roche. Les *jointes de stratification* parallèles qui séparent les différents bancs rocheux sous la surface constituent des plans le long desquels la dissolution progresse rapidement. Par recoupement avec des fractures verticales de la roche, des lits entiers de calcaires résistants sont ainsi déchaussés et prêts à être évacués par le glacier. Le phénomène pourra se poursuivre ainsi dans le même niveau, plus en aval, et dans les strates plus profondes qui ne seront plus protégées.

**Durant cette période, les environs des glaciers de Chartreuse sont fréquentés par une faune « quaternaire » très spécialisée** que l'on qualifie aujourd'hui de *relicte glaciaire*. Le *lagopède* en est un des oiseaux emblématiques. Dans les Alpes, il est réfugié aujourd'hui dans les plus hautes altitudes. En Chartreuse, désormais même les plus hauts secteurs ne sont plus assez froids pour lui convenir. Le *lièvre variable* a disparu de Chartreuse dans les années 1980-1990, probablement du fait de la présence du *lièvre brun* de plus en plus en haut en altitude, avec lequel il s'est hybridé et s'est « fondu » génétiquement. La *dryade à huit pétales* est encore très présente dans les zones les plus fraîches de Chartreuse et représente un des meilleurs symboles des héritages quaternaires de notre flore.



-  Sols calcaires très superficiels
-  Sols calcliques
-  Sols bruns acidifiés en surface
-  Sols humifères très acides
-  Roches calcaires pures et compactes
-  Roches calcaires marneuses



## D2 – Entre –9 000 et –6 000 ans, une période d'optimum climatique

À mi-chemin entre la fonte des derniers glaciers de Chartreuse et aujourd'hui, nous voici il y a 8 000 ans environ. Les glaciers ont laissé 7 000 ans plus tôt une succession de gradins plus ou moins régulière, mais dont il manque quelques décimètres à plusieurs mètres d'épaisseur. Suivant la qualité des bancs rocheux, l'enlèvement et le recul des banquettes ont été plus ou moins rapides, par **érosion différentielle**. Celle-ci a fini par mettre à nu un banc calcaire plus fragile, très sensible à la **gélifraction**. Un curieux surplomb est créé : l'humidité persistante à l'ombre de la **balme** accélère le recul de la couche la plus fragile, et provoque la chute d'un banc surplombant.

Libérée de la masse glaciaire, la roche s'est par endroits fissurée, augmentant les points d'entrée pour l'eau. Certaines fissures ont été considérablement agrandies au cours des glaciations, servant de chenaux d'écoulement des **eaux sous-glaciaires** et sont devenues de véritables **microcanyons** qui se sont asséchés ensuite. Depuis le retrait du glacier, tout un cortège de végétaux est parti à la conquête de ces dalles : des **lichens** exploitent et agrandissent les fissures, leurs résidus organiques permettent l'installation de **mousses**, préparant à leur tour la place pour des **plantes vasculaires** (lycopodes, fougères et toutes les plantes à fleurs). Des arbres pionniers ont enfin pu s'installer, puis une forêt.

À partir de –9 000 ans environ, le climat s'adoucit considérablement. Il est légèrement plus chaud et humide qu'aujourd'hui pendant plusieurs millénaires. La **forêt primaire** de l'Holocène recouvre très probablement tous les sommets de Chartreuse, sa limite naturelle est sans doute située 200 à 400 mètres plus haut qu'aujourd'hui. Le noisetier est alors très présent sur de nombreuses pentes, tandis que les pins, bien qu'en retrait, restent les pionniers des milieux les plus difficiles. Les dalles calcaires sont recouvertes d'un sol continu qui recouvre la plupart des cicatrices d'érosion des périodes glaciaires. Ce sol est d'autant plus épais qu'il progresse dans des roches contenant davantage **d'argile**. Agissant de façon peu visible, le **sol végétal** se comporte comme une compresse humide et très acide, efficace pour la dissolution des roches calcaires qui se trouvent à son contact. À l'abri des regards des **chasseurs-cueilleurs** qui commencent à fréquenter les lieux pour des camps de chasse saisonniers, des formes de **lapiés** s'émousent et s'élargissent sous la couverture de ces sols, on parle de **lapiés couverts**.



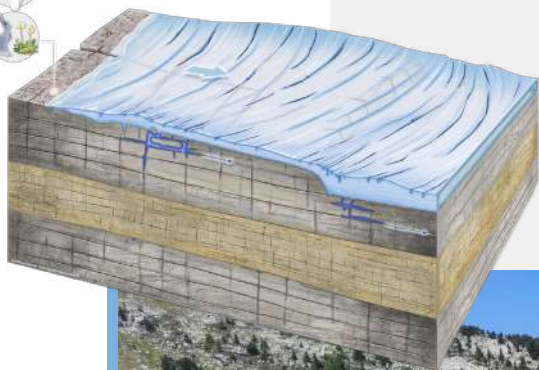
### **Le façonnement des microreliefs se poursuit progressivement jusqu’à aujourd’hui.**

Les nombreuses nuances de paysages karstiques des Hauts de Chartreuse s’interprètent en grande partie en observant les variations des différents bancs rocheux plus ou moins purs, plus ou moins stratifiés et fracturés.

Sur les calcaires purs et massifs, les dalles nues, étagées et peu entamées par l’érosion glaciaire dominent le paysage. Des fissures béantes sont agrandies par la dissolution, isolant ou faisant reculer des bancs de calcaire. Sur les blocs exposés au ruissellement des eaux de pluie, des rigoles centimétriques, les lapiés, s’insinuent dans la roche avant de s’arrêter net, là où l’eau disparaît dans le sous-sol à la première fracture venue. Quand ils présentent des formes arrondies, ces lapiés traduisent une évolution sous couverture végétale aujourd’hui disparue. Aiguisés, ils traduisent une formation à l’air libre actuelle. Souvent, ils proposent des formes composées, traduisant l’évolution insoupçonnée de la couverture végétale depuis environ 15 000 ans.

Les escarpements rocheux taillés dans les bancs calcaires résistants sont souvent peignés de lapiés de parois. Ailleurs, sur une dalle formant un creux retenant un peu d’eau de pluie et sans fissures pour l’évacuer, de curieuses petites vasques se sont formées, les kammenitsas.

**La forêt a poursuivi une profonde évolution dans sa composition.** Depuis la fin de l’optimum climatique, durant la période Atlantique, il y a 6 000 ans environ, trois espèces majeures recolonisent tardivement le massif. Le sapin, d’abord, qui domine très largement les boisements, puis le hêtre et l’épicéa. Entre –10 000 ans et –4 000 ans, la limite naturelle des arbres reste située au-dessus de la limite actuelle. L’influence progressive de l’Homme, par la mise en pâturage et l’exploitation forestière, va modifier les paysages végétaux des Hauts de Chartreuse. C’est dans les zones calcaires les plus argileuses que cette action est la plus importante, à cause du maintien en prairies pâturées de zones qui seraient naturellement recouvertes de forêts.



**Photo** • Exemple de banquette glacio-karstique dans le secteur de la dent de Crolles



## D1 – La formation des banquettes glacio-karstiques

**Les eaux de fonte glaciaire étant froides et abondantes, la dissolution des calcaires se poursuit loin en profondeur, à l'intérieur du karst.** Plus les eaux sont froides, plus elles peuvent contenir de gaz carbonique apte à retenir du calcaire dissout. Par ailleurs, la réaction chimique met du temps à agir, dépendante qu'elle est de la température ambiante.

Avant de rejoindre le karst profond, l'eau s'insinue dans tous les interstices de la roche. Il peut s'agir de petites fractures verticales liées à la tectonique, ou encore des joints de stratification séparant les bancs des roches sédimentaires par de petits lits argileux. Compressées par le poids de la glace, les roches se sont détendues à chaque déglaciation (**décompression des roches**), ce qui a provoqué de multiples fractures et une friabilité augmentée des joints de stratification. Les points de faiblesse de la roche, facteur souvent négligé, ont une importance considérable : ils facilitent et orientent la circulation des eaux sous la surface des dalles calcaires qui sont d'autant plus facilement disjointes. Les points de faiblesse initiaux deviennent rapidement des zones d'entrée privilégiées dans les roches calcaires qui concentrent et augmentent la dissolution en des points précis.

Ce faisant, des bancs entiers de roches calcaires ont fini par être désolidarisés de leur base et ont été déchaussés. Ils sont alors prêts à être basculés et transportés plus loin par un flux glaciaire lent mais qui n'a pas de limite de compétence quant à la taille des blocs emportés. C'est donc la combinaison de deux facteurs, karstique pour ce qui est de la dissolution/préparation, glaciaire pour l'enlèvement et le transport des blocs, qui justifie le terme « glacio-karstique ». Les banquettes étagées témoignent ainsi de l'importance de la structure initiale de la roche dans le dégagement de formes d'érosion. Leur hauteur révèle la stratification initiale des roches, celles-ci devant être suffisamment compactes entre deux joints pour permettre la réalisation de ces belles *formes structurales*.

En fonction de la disposition des strates et du sens d'écoulement du glacier, les banquettes ont pu être dégagées conformément au pendage des couches et au sens de la pente (schéma & photo ci-contre), mais parfois aussi en revers, on parle alors de « **banquettes inverses** ».

Depuis –500 000 ans, on estime à –50 mètres environ la tranche de roche calcaire enlevée, mais cette estimation est très aléatoire, car les vitesses d'érosion ont beaucoup varié dans le temps. Quelle part attribuer respectivement aux glaciers et à la karstification ? Comme le montre l'exemple du façonnage des banquettes glacio-karstiques, les actions sont en réalité intimement combinées, si bien qu'il est très difficile de faire la part des choses. La pente globale des Hauts de Chartreuse, au moins au fond des vallons, n'est pas très importante, ce qui a sans doute limité la vitesse des glaciers et donc l'importance du défonçage glaciaire.

## L'érosion glaciaire en pays calcaire, un rôle complexe et à nuancer

Avant la dernière glaciation du Würm, plusieurs phases ont connu un recouvrement plus important des Hauts de Chartreuse, sous forme de **calottes glaciaires** épaisses. Il faut remonter, pour les deux stades pléniglaciaires les plus récents, à respectivement –45 000 ans et –120 000 ans. Des **langues glaciaires** descendent alors des vallons perchés par le versant occidental, rejoignent les vallées internes de Chartreuse elles-mêmes encombrées par les **difffluences glaciaires** qu'alimentent les immenses glaciers régionaux. La limite des neiges permanentes (ou plutôt **ligne d'équilibre glaciaire**) se situe vers 1 300 mètres d'altitude en Chartreuse, contre environ 3 000 mètres aujourd'hui dans les Alpes du Nord. À la dernière période glaciaire (Würm 3), les glaciers sont plus réduits et probablement limités à 1 500 mètres d'altitude vers le bas, ils ne descendent donc pas des vallons perchés des Hauts de Chartreuse. Ils s'épaissent dans les petits **cirques** préalablement établis, et s'affinent probablement près des crêtes sommitales dont les pentes ne permettent pas autant l'accumulation de la glace.

Entre chaque période glaciaire, d'importants phénomènes périglaciaires, liés en particulier aux nombreuses répétitions de cycles gel-dégel, fracturent de grandes quantités de débris rocheux accumulés sur les pentes et les replats. Lors des phases pléniglaciaires, ce matériel est entièrement déblayé par les glaciers. Davantage que le seul travail des glaciers, c'est cette alternance de cycles de fragilisation des roches, de préparation des débris, puis de déblayage par les glaciers, qui explique la puissance d'érosion de la période du Quaternaire. À chaque fois, la dissolution karstique, très active tant dans les périodes de fonte glaciaires saisonnières que durant les périodes climatiques tempérées, contribue à l'effacement de la plupart des traces antérieures liées à l'érosion mécanique des glaciers.

Charriés sur leur fond par les glaciers, les débris rocheux pris en charge constituent les **moraines de fond** qui rabotent les dalles calcaires mises à nu. À la fonte des glaces, saisonnière ou définitive, des quantités considérables d'eau de fonte parcourent ces dalles, combinant érosion mécanique et érosion chimique du calcaire. Les **stries glaciaires** laissées par le frottement des rochers déplacés par les glaciers se sont très vite effacées. Dans nos régions tempérées, y compris à la dernière période glaciaire, la base même des glaciers connaissait une température voisine de 0 °C et il y circule en permanence une pellicule d'eau chimiquement active (les **glaciers "chauds"**). La karstification des roches calcaires, opérante même durant les périodes d'activité glaciaire forte, tend donc à oblitérer au fur et à mesure les traces de rabotage du glacier à son contact. Contrairement aux massifs cristallins où les nombreuses stries glaciaires encore visibles permettent de reconstituer assez précisément le trajet et l'épaisseur des derniers glaciers, l'exercice est beaucoup plus difficile et aléatoire dans les régions calcaires, même si de rares exceptions existent.





• **Photos 1 & 2** / Dans les roches cristallines, des stries glaciaires parallèles sont parfois encore bien visibles lorsque l'éclairage est favorable (photo du haut dans la réserve naturelle des Aiguilles Rouges). Ce n'est plus le cas dans les roches calcaires sensibles à la dissolution qui a fait disparaître ces indices depuis une dizaine de millénaires, sauf cas exceptionnels (photo du bas, Hauts de Chartreuse).

Zoom



**Les glaciers ont eu une action de surcreusement directe réelle mais finalement assez limitée.** Ils agissent en rabotant les dalles rocheuses et en les débarrassant des débris qui les encombrant. Ces débris correspondent souvent à des **gélifrac**s liés aux alternances gel-dégel très efficaces durant les périodes plus tempérées. Cette double action gélifraction/déblayage glaciaire est d'autant plus efficace que les roches sont «**gélives**», c'est-à-dire comportant un réseau de zones de faiblesses suffisamment dense. Dans ce cas, un grand volume de débris est produit puis facilement déblayé par les glaciers. Ce fut le cas, globalement, pour les calcaires du Sénonien, mais beaucoup moins pour les calcaires urgoniens sous-jacents. Après le retrait définitif du dernier glacier, il y a environ 18 000 ans sur les Hauts de Chartreuse, on trouve donc un paysage de **délaissée glaciaire** développé en majorité dans les calcaires urgoniens. Les surfaces en gradins rocheux (**tables de lapiés, ou banquettes glacio-karstiques**) sont un des aspects typiques de ce paysage reposant sur des roches compactes et aux stratifications nettes. Ce relief caractéristique présente des séquences de marches décimétriques, voire plurimétriques, localement régulières, avec des escarpements vers l'aval ou vers l'amont de la pente, selon le sens du pendage des couches et de l'écoulement des glaciers. Ils se sont plus ou moins bien conservés en fonction de l'évolution ultérieure de la végétation, mais de très beaux exemples sont encore visibles sur les Hauts de Chartreuse (cf. *supra*).

**Ces cycles d'apparition et de disparition successifs de glaces plus ou moins épaisses ont eu également un rôle très important dans la fracturation des roches.** Compressées par le poids de la glace, celles-ci se sont détendues à chaque déglaciation, ce qui a provoqué de multiples fractures et une friabilité augmentée au niveau des joints de stratification entre de grandes dalles plus ou moins démantelées. Les grands écroulements rocheux comme ceux, bien connus, affectant le mont Granier, sont aussi en partie une conséquence des glaciations.

## D2 et D3 - L'évolution du climat et de la végétation durant la période holocène

Dans le système climatique actuel, les Hauts de Chartreuse sont situés en très grande partie dans l'étage de végétation subalpin, que l'on peut situer pour simplifier entre 1 400 et 1 900 mètres d'altitude en Chartreuse, et au sein duquel les **conifères** dominent dans des formes de plus en plus rabougries avec l'altitude. Cet étage de végétation est une zone de transition entre l'étage montagnard, correspondant aux forêts mixtes feuillus/résineux productives, et l'étage alpin des hautes crêtes dénudées. Cette **limite altitudinale naturelle des arbres** coïncide actuellement et à peu de chose près avec l'altitude des plus hauts sommets de la réserve naturelle.

Mais il n'en a pas toujours été ainsi. Au cours de l'*Holocène*, les étagements de végétation, mais aussi la composition des espèces au sein de ces étages ont considérablement évolué dans une période récente à l'échelle géologique. La quasi-absence de tourbières d'altitude en Chartreuse ayant pu piéger des pollens au cours du temps ne permet pas de reconstitution précise et continue de la composition végétale et des variations de la limite altitudinale des forêts des Hauts de Chartreuse. Quelques études ponctuelles, à partir de macrorestes végétaux (camps de chasse de l'Aulp du Seuil) ont permis d'acquérir des connaissances partielles. Il est possible de proposer quelques extrapolations à partir des nombreuses connaissances acquises à l'échelle des Alpes du Nord et du Jura où différentes approches croisées permettent d'établir des connaissances solides au niveau régional (pollens conservés dans les **tourbières**, charbons de bois enfouis dans les sols, datations de restes végétaux contenus dans les glaciers, fluctuations du niveau des lacs de l'avant-pays des Alpes, oscillations des glaciers, etc.).

Ces études dans différents massifs concordent pour établir des variations de la limite altitudinale des forêts de plus de 500 mètres, ce qui correspond à des variations de température de plusieurs degrés (Guiot et al., 2006). L'évolution du climat n'a pas été linéaire, mais a connu d'importantes oscillations qui se sont répercutées tant dans l'altitude atteinte par les forêts que dans leur composition.

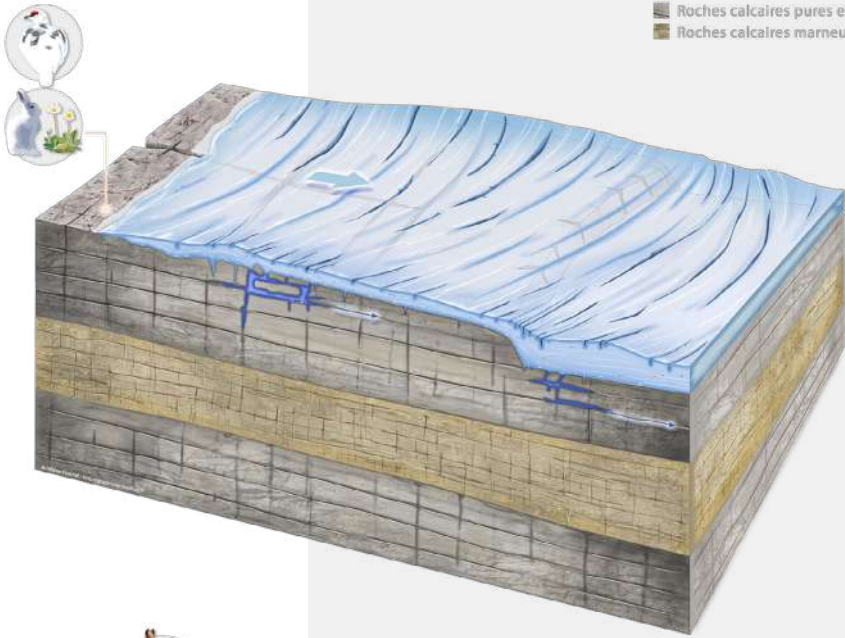
Globalement, la fin de la dernière période glaciaire, intervenue vers -18 000 ans en Chartreuse, peut être considérée comme un état « zéro » de la végétation. À chaque glaciation, les communautés végétales se sont repliées dans des régions plus méridionales ou, pour quelques exceptions, ont trouvé sur place d'étroits refuges dans des niches écologiques exiguës, profitant de conditions d'abri particulières.

C'est à partir de ces différentes positions de repli et avec l'amélioration climatique que les végétaux pionniers vont repartir à l'assaut de ces espaces dénudés. Les mécanismes qui sont intervenus dans cette reconquête végétale étaient non seulement liés aux évolutions climatiques, mais aussi à la lente maturation des sols, aux compétitions entre les espèces ainsi qu'à leurs capacités variables de migration et de dispersion. Durant la période holocène, certaines espèces pourtant tout à fait adaptées aux conditions écologiques actuelles n'ont donc retrouvé que très tardivement leur place optimale dans nos écosystèmes. Dans cette histoire récente de la végétation, le sapin, le hêtre et l'épicéa, trois arbres communs en Chartreuse et dans la réserve naturelle, en sont de bons exemples.



**Photo** • Aspect typique d'une forêt de l'étage subalpin actuel sur les Hauts de Chartreuse, avec une domination de l'épicéa (cimes pointues) qui tend à être remplacé par le pin à crochets (cimes arrondies) dans les secteurs les plus difficiles et avec l'altitude"

- Sols calcaires très superficiels
- Sols calciques
- Sols bruns acidifiés en surface
- Sols humifères très acides
- Roches calcaires pures et compactes
- Roches calcaires marneuses



• **Illustration 1** : – 18 000 ans

• **Illustration 2** : – 9 000 ans

## La formation et l'évolution des sols et de la végétation du Tardiglaciaire à la période atlantique (-7 500 ans)

### De -15 000 ans à -9 000 ans, les steppes du Tardiglaciaire

Le **Tardiglaciaire** est la période qui fait la transition entre la dernière période très froide de la glaciation du Würm et la période récente nommée **Holocène**. Durant cette évolution, le lent retrait des glaciers, d'abord en plaine puis sur les pentes sommitales, dégage d'immenses délaissées glaciaires. Ces surfaces sont soit jonchées de blocs morainiques, soit parcourues de dalles rocheuses dénudées, ou encore surcreusées et remplies d'eau de fonte glaciaire. Les lacs que l'on connaît encore aujourd'hui en périphérie du massif de Chartreuse (lacs du Bourget, d'Aiguebelette, de Paladru...) ne sont que de modestes reliquats d'un réseau d'immenses bassins lacustres. Au pied des pentes orientales des Hauts de Chartreuse et du plateau des Petites Roches, la plaine du Grésivaudan était entièrement occupée par un de ces vastes lacs de surcreusement glaciaire. Celui-ci a été comblé il y a seulement 2 000 ans par les alluvions.

Le Tardiglaciaire voit donc le climat aller vers un relatif réchauffement, mais connaît encore des parenthèses froides brutales. Les premiers végétaux structurants qui font leur réapparition par petits groupements épars en dessous de 700 mètres d'altitude sont les bouleaux et le genévrier, suivis par quelques incursions de pins. Les trois principales oscillations froides de cette période sont nommés *Dryas* (ancien, moyen, récent). Elles ont des répercussions importantes sur les milieux en phase de reconquête en refoulant à basse altitude les modestes boisements à chaque variation froide.

À l'époque, le paysage végétal est en réajustement constant et ne parvient pas à se trouver en équilibre avec les conditions climatiques immédiates. L'inertie nécessaire pour aboutir à la formation des sols en est une cause importante, pourtant il semble réagir rapidement aux moindres variations. En effet, des temps de réaction d'une vingtaine d'années entre un changement climatique et une réponse des compositions du peuplement végétal ont été enregistrés dans l'étude des pollens de certaines **tourbières** des Alpes du Nord (Ammann et al., 2000).

Durant cette période, sur les dalles calcaires des Hauts de Chartreuse, **une steppe herbacée de climat froid prend laborieusement pied.**



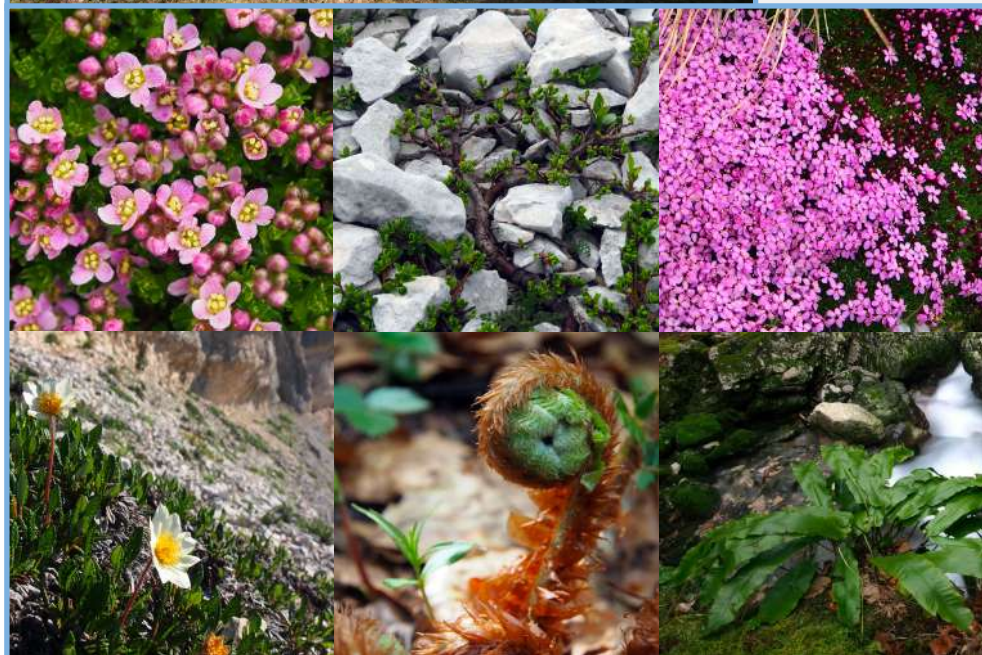
**Photo 1** • *Aspect possible d'une forêt à l'Alleröd*

**Photos 2 à 5** •

*Quelques espèces pionnières des roches dénudées (pétrocallis des Pyrénées, saule à feuilles rétuses, silène acaule, dryade à huit pétales)*

**Photos 6 & 7** •

*L'évolution vers un climat plus doux et humide a permis, notamment, le retour des fougères en altitude.*





## Le Bölling, première oscillation chaude

Vers –14 700 ans, les températures gagnent plusieurs degrés en quelques décennies (Bölling), ce qui se traduit par une colonisation de la végétation de type *toundra* boisée. Elle est composée d'arbustes tels que les genévriers, les argousiers, les saules et le bouleau. Une explosion de la vie végétale et animale gagne de vastes secteurs restés trop sélectifs durant les millénaires précédents. Les formations herbacées sur les Hauts de Chartreuse s'enrichissent en espèces de reconquête probablement à cette période, mais la limite supérieure des arbres reste relativement basse, et n'atteint vraisemblablement pas encore les vallons perchés. Au **Dryas moyen**, un nouveau coup de froid favorise les herbacées face aux tentatives de reconquête de la forêt.

À l'**Alleröd**, vers –13 000 ans, une nouvelle oscillation climatique plus favorable s'accompagne probablement de précipitations hivernales importantes. Des études polliniques dans les massifs voisins de Belledonne (F. David, 1992) et du Vercors (A. Ajas, 2020) attestent que la limite supérieure de la forêt atteint alors probablement la base de l'étage subalpin actuel. Elle est composée principalement de pins et de bouleaux, dans un environnement semi-ouvert. Il est probable que des pins à crochets aient pu coloniser certaines dalles calcaires des Hauts de Chartreuse jusque vers 1 700 mètres d'altitude et que des bouleaux aient pu s'implanter en fond de vallon vers 1 500 mètres, proposant des boisements très clairsemés.

Au **Dryas récent**, dernier soubresaut climatique froid et sec, vers –12 000 ans, la limite supérieure est constituée d'une pinède (retrait du bouleau en plaine) qui redescend entre 700 et 1 000 mètres d'altitude. Les reliefs des Hauts de Chartreuse redeviennent des étendues dénudées sur des sols peu constitués, laissant la place à des plantes herbacées spécialisées.

## Un brusque réchauffement

Dans les siècles et millénaires suivants, le réchauffement du climat se confirme et s'accélère nettement. Il amène de très profondes modifications de la couverture végétale. Le **Dryas récent** prend fin par un réchauffement brutal (une cinquantaine d'années) qui correspond au *Préboréal*, vers –10 300 ans. Le climat ne connaîtra plus jusqu'à aujourd'hui (Anthropocène) de variations semblables à celles ressenties au Tardiglaciaire tant par leur rapidité que par leur amplitude.

Au **Préboréal**, la limite supérieure des forêts dans les Alpes du Nord passe rapidement de 1 300 mètres à environ 2 000 mètres, ce qui contribue à développer une couverture forestière dense sur les versants préalpins (Burga, 1987). Jusque vers –8 900 ans, les forêts de pins de montagne sont très largement dominantes aux altitudes actuelles de l'étage subalpin. Mais la forêt gagne petit à petit en diversité d'espèces : le bouleau et le noisetier, et dans une moindre mesure le tilleul, y apparaissent, ce qui traduit un climat gagnant en douceur et en humidité. Le bouleau, éliminé des plaines par l'apparition de forêts mixtes de chênes, garde encore une bonne place dans ces forêts de montagne sur les sols humides. La composition floristique évolue également beaucoup : les espèces steppiques tendent à disparaître au profit de nombreux cortèges aux exigences écologiques plus variées et surtout plus clémentes.



- *Malgré les évolutions au cours de l'Holocène, il fait peu de doutes que le pin à crochets ait toujours trouvé sa place dans les secteurs les plus hostiles des Hauts de Chartreuse.*

**Le retour durable de la forêt sur les Hauts de Chartreuse peut donc être situé, pour simplifier, il y a 10 000 ans.** Absente des vallons d'altitude de Chartreuse pendant toute la dernière partie du Würm (soit au moins 70 000 ans), elle les a recolonisés en différentes séquences de progressions et régressions successives.

### D3-L'évolution des sols et de la végétation de la période atlantique à nos jours, sous l'influence précoce de l'Homme.

#### L'optimum climatique: le Boréal et l'Atlantique

La période la plus chaude depuis la dernière glaciation jusqu'à aujourd'hui (Anthropocène) se manifeste entre -9 000 et -4 700 ans BP. Au Boréal, d'abord (- 9 000 à -8 000 ans BP), le réchauffement du climat se renforce, dans une sécheresse relative. Mais c'est durant la phase **atlantique** (- 8 000 ans à -4 700 ans BP) que se manifeste une période d'optimum climatique humide favorable à d'opulentes forêts tempérées. Les températures moyennes auraient été jusqu'à 2,5 °C supérieures à celles d'aujourd'hui.

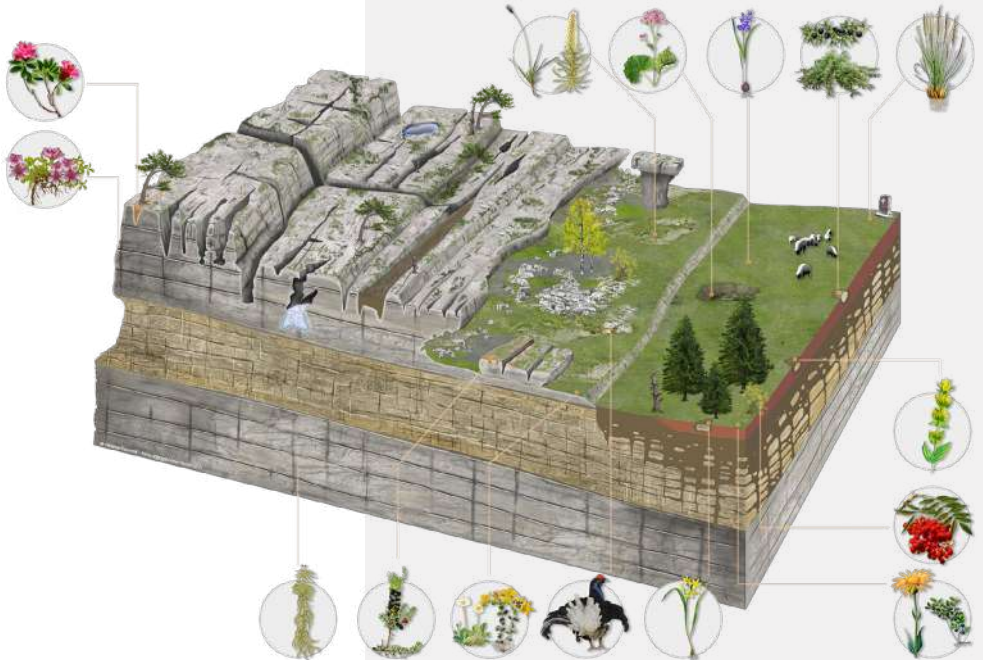
Située à la transition entre le Mésolithique et le Néolithique, cette période de clémence climatique favorise le développement et la mutation de civilisations préhistoriques. Sur les Hauts de Chartreuse, le vallon de l'Aulp du Seuil a délivré, à 1 700 mètres d'altitude, de très précieux indices de présence humaine dès le début de cette période, en continuité avec des indices de présence plus récents. Cette caractéristique en fait un site préhistorique unique dans toutes les Alpes occidentales.

Le brusque réchauffement climatique intervenu au Boréal amène une modification rapide des écosystèmes dans lesquels les Hommes évoluent. La fermeture des milieux en plaine et une évolution importante des espèces chassables modifient profondément le rapport aux ressources du territoire. Certains indices retrouvés dans les fouilles archéologiques de l'Aulp du Seuil, tendent à confirmer des contacts culturels et/ou commerciaux lointains parmi ceux qui fréquentaient ce site de chasse.

Durant les deux phases du Boréal et de l'Atlantique, les espèces végétales thermophiles migrent vers le nord ou en altitude. Elles ne remplacent pas totalement les espèces déjà installées mais augmentent les proportions en leur faveur dans les compositions forestières et modifient la répartition altitudinale des étages de végétation. Dans toute l'Europe centrale, les forêts à feuilles caduques remplacent les forêts de pins dans les plaines et les fonds de vallées. Sur les versants de montagne, des forêts mixtes tendent à remplacer les pinèdes pures. Une extension très rapide du noisetier se manifeste dès le début de la période, éliminant le pin et le bouleau des étages collinéens et montagnards et venant les concurrencer à l'étage subalpin inférieur.

Dans un second temps, ormes et tilleuls viennent eux aussi prendre leur place. Ils concurrencent fortement le noisetier qui régresse à son tour. Pendant ce temps les

- Sols calcaires très superficiels
- Sols calciques
- Sols bruns acidifiés en surface
- Sols humifères très acides
- Roches calcaires pures et compactes
- Roches calcaires marneuses



**Illustration 1** • - 8000 ans

**Illustration 2** • aujourd'hui

pins se maintiennent seulement dans les zones les plus difficiles. Dans des conditions très proches des Hauts de Chartreuse, le sapin argenté, l'érable, l'aulne ou encore le chêne pédonculé commencent également à compléter de façon marginale la composition forestière. C'est ce que montrent les études polliniques menées sur les hauts plateaux du Vercors vers 1 700 mètres (A. Ajas, 2020) et sur le plateau des Glières à 1 500 mètres (F. David, 2006). La distinction entre le pin sylvestre d'une part et le pin à crochets d'autre part est très difficile, les deux espèces produisant des pollens identiques.

**Sur les Hauts de Chartreuse, vers –8 000 ans** – avant que les chasseurs-cueilleurs n'aient une influence conséquente sur la végétation –, une forêt mixte et variée occupe donc le fond du val perché autour de 1 500 mètres d'altitude. Elle présente une forte présence de tilleuls, accompagnés probablement de noisetiers, d'ormes, et de sureaux. Un peu plus haut, à partir de 1 700 mètres, elle laisse place à des peuplements où les pins et les bouleaux dominent vraisemblablement sur les plus hautes crêtes et les substrats calcaires difficiles. La limite naturelle de la forêt s'étend au moins 300 mètres plus haut et recouvre toutes les hautes crêtes et sommets de Chartreuse !

Dans le même temps, la chaîne voisine de **Belledonne** a probablement vu disparaître tous ses glaciers ; comme la plupart des massifs alpins. Ne subsistent, à l'état de vestiges que de maigres appareils glaciaires dans les plus hauts massifs tels que le Mont-Blanc ou les Écrins. Au total, durant plus de la moitié de la période holocène, les glaciers alpins sont moins étendus que ce qu'ils sont aujourd'hui (Schlüchter, 2004). D'après les connaissances actuelles, la phase de retrait maximal des glaciers se serait produite entre –7 300 et –6 800 ans BP.

Il y a 7 000 ans, la végétation est donc très différente de celle des communautés végétales actuelles. Si l'évolution des conditions climatiques a un rôle déterminant durant la première partie de la phase atlantique, l'influence de l'Homme va augmenter progressivement à partir de cette période.

**Sur le site de l'Aulp du Seuil, l'étude des pollens et charbons** retrouvés dans les abris préhistoriques et datés du Mésolithique au Néolithique a révélé des éléments très intéressants concernant quelques rapports des hommes à la végétation. Ainsi, Pierre Bintz, responsable des fouilles, en tirait les conclusions suivantes : « *L'alimentation végétale est assurée à la fois par les céréales et les produits de la cueillette. Les céréales sont apportées sur le site et leur présence évoque une relation avec des populations agropastorales en plaine. Cet apport est complété par des taxons sauvages récoltés sur un vaste territoire. Parmi les plantes sauvages comestibles, les occupants ont collecté des noisettes et du sureau entre l'étage montagnard et collinéen, ainsi que du raisin d'ours, des myrtilles et des airelles aux alentours de l'abri à l'étage subalpin. L'étude carpologique (paléo-semence) va dans le sens d'une utilisation saisonnière du site notamment en raison de la présence de céréales apportées sur le site (Martin et al. 2012). L'abri, qui occupa une place stratégique dans l'exploitation du territoire montagnard, a un statut qui pourrait s'inscrire dans un système qui inclut des habitats permanents à basse altitude et des camps saisonniers secondaires comme l'Aulp du Seuil.* »



**Illustration** • Hêtre, bouleau, pin à crochets, épicéa

**Photo 1** • Au cœur d'une hêtraie-sapinière de Chartreuse•

**Photo 2** • Ce n'est que très exceptionnellement que le hêtre parvient à prendre pied dans l'étage subalpin en Chartreuse, comme ce spécimen exceptionnel dans le massif du Granier



## La domination du sapin en fin de période atlantique

**Durant l'Atlantique, d'autres espèces poursuivent leur reconquête** des aires perdues depuis la glaciation du Würm. Le retour du sapin intervient en Chartreuse probablement à partir de -7 500 ans BP. Il profite alors, dans une ambiance devenue optimale sur les pentes des Alpes occidentales, de sols bien préparés par la présence du noisetier. Le sapin exige en effet un substrat pédologique apte à accueillir un système racinaire profond et à fournir des réserves hydriques suffisantes. Sur un très large domaine bioclimatique à travers les Alpes, il va devenir l'espèce forestière dominante, si bien qu'à partir de -6 800 ans, la présence du noisetier et de l'orme se réduit fortement.

Il faut imaginer, dans les fonds de vallons des Hauts de Chartreuse, la probable domination d'opulentes et majestueuses *sapinières*. Elles occupent la place qu'occupe aujourd'hui naturellement l'épicéa, dans l'étage subalpin inférieur. Mais près des plus hautes crêtes, sur les sols les plus difficiles, sur les *chaos* de blocs calcaires impossibles à coloniser pour le sapin, les pins se maintiennent, toujours et encore.

**La colonisation du massif par le sapin** a pu se faire depuis le sud des Alpes occidentales où il aurait trouvé refuge durant le Würm. Dans le Mercantour, en effet, des forêts de sapins se sont épanouies bien plus tôt que dans les Alpes du Nord.

## L'Atlantique récent

**Entre -6 000 et -4 700 ans BP**, un relatif assèchement du climat, de l'ordre de 20 %, et une très légère baisse de température (moins de 0,5 °C) se manifestent. Bien que déjà présents depuis longtemps dans les écosystèmes, c'est probablement à cette période que les pins de montagne, plus résistants à la sécheresse et aux amplitudes thermiques, reprennent une place prépondérante dans l'étage subalpin supérieur.

Ces conditions expliquent aussi, probablement, l'accélération de la reconquête tardive de deux espèces essentielles à l'identité forestière des Préalpes du Nord, dont la Chartreuse : le hêtre et l'épicéa. Dans de nombreux sites, le sapin connaît un déclin rapide au profit de ces deux espèces, ce qui est souvent mis en relation avec une influence anthropique également croissante. Face à ces nouveaux concurrents aux exigences écologiques qui se recouvrent en grande partie, la sapinière pure recule à son tour.

**L'arrivée du hêtre en Chartreuse** serait intervenue entre -6 000 et -5 000 ans BP, par une lente recolonisation depuis des refuges situés dans le sud-est de l'Europe durant le Würm, à raison de 150 à 280 mètres par an. Le léger refroidissement lui donne l'avantage sur les chênaies de plaine, néanmoins l'espèce ne dépassera pas l'étage montagnard supérieur. Il ne s'implante pas, ou très marginalement, dans les vallons des Hauts de Chartreuse, mais devient dominant sur les pentes de contreforts, se mêlant étroitement au sapin. Ainsi apparaissent les hêtraies-sapinières emblématiques de l'étage montagnard en Chartreuse, entre 900 et 1 400 mètres d'altitude.

La période atlantique a probablement permis un processus de *pédogenèse* important dans l'histoire complexe des sols et des processus d'érosion en montagne. Le climat chaud et humide a du générer une végétation permettant la production d'une matière organique riche, facilement décomposable et se mêlant rapidement aux *argiles de décalcification* des roches calcaires sous-jacentes. Ces roches sont d'autant plus rapidement altérées en profondeur que l'activité biologique du sol libère du CO<sub>2</sub>, rendant les eaux de percolation du sol très corrosives pour les calcaires. Dans ce contexte, beaucoup de formes de microreliefs sont progressivement recouvertes d'un sol épais et mises à l'abri des processus d'érosion mécanique extérieurs. Les actions liées au gel et au ruissellement deviennent beaucoup moins efficaces dans l'évolution des paysages. Les formes préalablement apparues lors de la débâcle glaciaire évoluent différemment, se trouvant arrondies ou estompées sous la compresse humide des sols (lapiaz en particulier).

La période du tilleul et du noisetier a probablement joué un rôle majeur dans la stabilisation et l'approfondissement de certains sols de montagne, car le noisetier en particulier est connu comme étant « améliorant ». En produisant des litières épaisses et rapidement décomposées, cette espèce favorise l'enrichissement des sols en azote. Celui-ci est alors disponible pour des espèces de sous-bois très variées qui entretiennent ensuite le processus d'apport de matières organiques facilement assimilables par les micro-organismes. Les sols ainsi constitués, capables de réserves minérales et hydriques plus importantes dans ces forêts d'altitude, sont mûrs pour accueillir des espèces d'arbres plus exigeantes. Paradoxalement, la coudraie (forêt de noisetiers) a donc certainement préparé la concurrence qui l'a fait disparaître, avec la domination à venir du sapin.





## Le Subboréal (de - 4 700 ans à -2 700 ans BP)

À partir de -4 000 ans, un **léger refroidissement climatique** se manifeste, suivi d'un second vers -3 200 ans. Cette période est connue comme la fin de l'**âge du bronze** en Méditerranée, qui a été témoin de nombreux troubles politiques dans les civilisations antiques.

C'est à cette période que l'**épicéa** fait une apparition tardive dans les Alpes occidentales, et vient concurrencer puis remplacer le sapin dans l'étage subalpin. Cette reconquête très tardive et complexe de l'épicéa en Savoie et Dauphiné s'expliquerait par l'éloignement de son principal refuge durant la dernière glaciation, à l'extrémité sud-est des Alpes orientales. On ne peut cependant exclure l'existence de petits refuges locaux à partir desquels sa reconquête aurait été plus précoce. Des hypothèses concernant l'existence de refuges postglaciaires dans le sud du Vercors ont été émises. Certaines données récoltées dans les analyses polliniques réalisées sur le site de l'Aulp du Seuil par Juliette Argant pourraient aussi le laisser penser en ce qui concerne la Chartreuse, car des traces discrètes d'épicéa semblent apparaître vers la fin du Mésolithique.

Néanmoins, à l'échelle globale des Alpes occidentales, sa migration depuis le sud-est de l'arc alpin a été retardée par la concurrence d'autres espèces. Le **sapin** en particulier, très présent dans les Alpes suisses, tend à bloquer sa progression durant l'Atlantique. Dans les Préalpes des Bornes, en Haute-Savoie, l'arrivée massive de l'épicéa et sa domination dans des boisements à 1 500 mètres d'altitude sont attestées à partir de -4 000 ans BP. Dans certaines régions du Dauphiné, son arrivée n'est datée qu'à la période romaine. Pour la Chartreuse, il est donc difficile de proposer une date ou un scénario privilégié. Quoique des refuges locaux aient pu exister, la conquête par l'espèce de l'étage subalpin n'a été que récente. Durant la fin du XIX<sup>e</sup> et tout le XX<sup>e</sup> siècle, l'homme a largement accentué la place prise par l'épicéa durant le petit âge glaciaire dans l'étage montagnard au détriment du hêtre et du sapin, pour mettre à profit la polyvalence de l'usage de son bois.



**Photo 2** • Les pessières d'altitude se sont installées tardivement dans l'histoire de la végétation locale

## La végétation d'aujourd'hui et demain

**L'état actuel de la végétation** est, finalement, le fruit d'une évolution spontanée rapide et complexe à partir de l'amélioration climatique de l'Holocène, qui a subi différentes perturbations, d'abord naturelles puis de plus en plus anthropiques. Les connaissances acquises sur l'évolution naturelle des forêts de montagne durant l'Holocène montrent toutes une réactivité relativement importante et une adaptation des écosystèmes forestiers aux oscillations climatiques très marquées durant le *Tardiglaciaire*.

Aujourd'hui, **nos pâturages, si chers à notre identité culturelle pastorale alpine**, ont, dans l'étage subalpin, été gagnés depuis la préhistoire par les défrichements anthropiques au détriment des forêts spontanées, ne lui laissant place que sur les roches les plus ingrates, les reliefs trop difficiles. Pendant longtemps, la fertilité des alpages a bénéficié de sols longuement maturés par d'anciennes forêts. Mais une étude publiée par l'Université de Savoie portant sur une analyse fine des sédiments du Lac du Bourget et de son bassin-versant montre que l'érosion des sols liée aux activités humaines l'emporte sur celle liée au climat dans les Alpes depuis plus de 3 800 ans (W. Rapuc et al., 2023) : « (...) Parmi toutes les activités humaines, le développement du pastoralisme en haute altitude à partir de l'âge du Bronze, et l'extension de l'agriculture au Moyen-Âge, ont été les deux moments clés de l'augmentation drastique de l'érosion observée dans les Alpes. Cette étude démontre aussi que même des activités agro-pastorale de faibles envergures comme celle de l'âge du Bronze ont pu avoir un effet direct et majeur sur l'érodabilité des sols ».

**À l'heure du changement climatique et de son impact immédiat sur des processus essentiels à la vie humaine**, la place de la forêt devrait être réinterrogée, sans idéologie culturelle. Protection des reliefs, donc de l'érosion des versants, protection des sols indispensables à toute végétation et activité agricole à long terme, régulation du cycle de l'eau, modération microclimatique, garantie d'écosystèmes riches et complexes, et bien sûr, stockage du carbone : voilà, à la lumière des événements actuels, bien des arguments qui devraient pousser à une réflexion approfondie sur la place laissée aux fragiles mais indispensables forêts de montagne. En France métropolitaine, les espaces forestiers compris dans des réserves naturelles ou des parcs nationaux représentent des surfaces inférieures à 0,2 % du territoire. Dans ces espaces, la volonté de laisser quelques hectares de forêt évoluer librement à des fins d'études scientifiques, et pour servir de réservoirs biologiques préservés des activités humaines, reste une exception. Or le climat, les écosystèmes, les sols, les reliefs, le cycle de l'eau sont en interrelations constantes et essentielles, ils forment le « **géosystème** ». La compréhension et le respect des **cycles géosystémiques** fonctionnels dans l'aménagement du territoire sont en train de devenir, plus que jamais, essentiels à la vie de l'Homme sur terre.



• Asters des Alpes / Soldanelle des Alpes

• Les forêts de Chartreuse d'aujourd'hui sont le résultats de bien des évolutions naturelles et influences anthropiques



## Comment et à quelle vitesse se sont formés les sols des Hauts de Chartreuse ?

Voici une bien délicate question ! Souvent négligés et rarement observés, les sols de montagne, **interfaces entre la roche et le monde vivant**, sont souvent la clé de compréhension de bien des éléments du paysage, mais les processus qui expliquent leurs évolutions sont complexes.

Sur les Hauts de Chartreuse, de multiples nuances de paysages s'observent du fait des variations de nature du substrat rocheux, qui influencent la qualité et l'épaisseur des sols dans lesquels les végétaux peuvent s'enraciner. Dans les zones rocheuses les plus fragiles, l'existence de fissures est un facteur essentiel. Les racines des végétaux pionniers qui s'y installent tendent à écarter les microfissures des roches. Les parties mortes de ces végétaux, même minimes, participent à l'accumulation progressive de matière organique dans ces fissures. Au contact de celle-ci, les eaux de pluie qui s'infiltrent s'enrichissent en gaz carbonique, dissolvant plus rapidement les blocs calcaires le long des fractures ou des joints de strates rocheuses. Cette dissolution libère de l'argile contenue dans la roche qui se combine avec la matière organique : un processus de **pédogenèse** finit par couvrir la roche et entretient ce processus de « digestion » du calcaire et de son évacuation par les eaux au profit de l'épaississement du sol végétal. Un processus de rétroaction positive se met en place : une prairie naturelle, puis une forêt s'installent sur un sol qui s'épaissit progressivement, ce qui entretient et accélère le processus. La protection par les racines et la couverture des organes aériens des végétaux permettent ensuite aux sols d'être préservés de l'érosion pluviale et de la gélifraction. Si le climat est également constant et les saisons peu marquées, une remarquable stabilité se met en place et les processus d'érosion sont minimisés, comme ce fut particulièrement le cas entre -9600 ans et -5500 ans. On parle alors de *biostasie*. Notons que sur les calcaires les plus purs, les moins fissurés, le processus de pédogenèse est plus difficile et extrêmement lent.

Au contraire, un climat se refroidissant, des événements climatiques brutaux, ou une déforestation d'origine anthropique dans un contexte de pentes marquées, sont autant de facteurs de déstabilisation et d'érosion des sols. Chaque épisode régressif contribue à augmenter l'efficacité des processus d'érosion. La végétation tend à être moins couvrante et protectrice, et les roches auront tendance à être remises à nu. On parle dans ce cas de *rhexistasie*, un système de rétroactions négatives vis-à-vis des sols et de la végétation. En montagne, la pente et la péjoration des conditions climatiques avec l'altitude aggravent les phénomènes rhexistasiques.

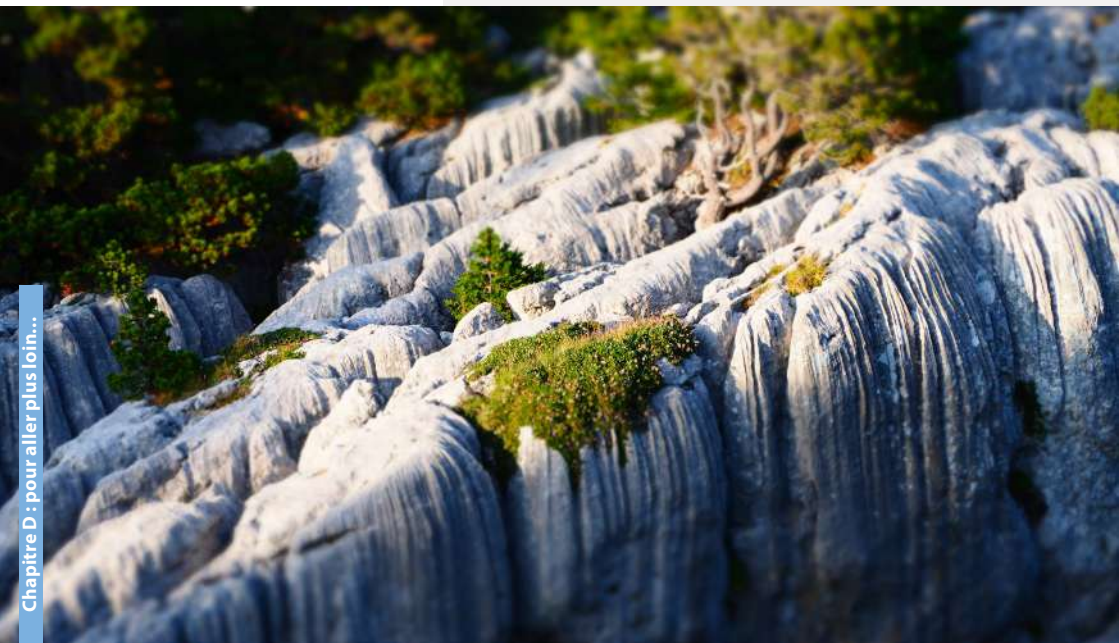
Les notions de biostasie et de rhexistasie sont donc des clés de lecture essentielles pour comprendre la dynamique des paysages vivants et en constant réajustement de la montagne. À l'échelle fine d'un paysage, les tendances biostasiques et rhexistasiques s'entremêlent, en fonction du climat actuel, de la topographie, mais

aussi des héritages passés qu'il nous est bien difficile de connaître dans le détail.

Aujourd'hui, les sols de l'étage subalpin des Hauts de Chartreuse se distribuent grossièrement de deux manières. Sur les dalles de calcaires durs (calcaires urgoniens en particulier), des accumulations importantes mais localisées de terre fine sont observables dans certaines fissures du karst. Elles sont issues de la concentration locale des résidus nettoyés des roches calcaires nues qui affleurent sur de grandes étendues. Sur les calcaires plus argileux qui affleurent plutôt dans le fond des vallons des Hauts de Chartreuse, les sols sont plus homogènes et profonds car les résidus de décarbonatation sont bien plus importants. Ce contraste est renforcé par les conditions topographiques, qui, en fond de vallon, sont favorables à l'accumulation des altérites.

Dans les conditions climatiques actuelles comparables à celles des Hauts de Chartreuse, à l'étage subalpin, la **production d'un sol de 30 cm d'épaisseur**, à partir du résidu fourni par un calcaire comprenant 80 % de carbonate de calcium et 20 % d'argile, serait de 15 000 à 40 000 ans (Legros *et al.*, 1979). Sur les calcaires urgoniens, cette proportion est d'environ 99 % et 1 %, on comprend donc aisément la présence de dalles calcaires dénudées à l'étage subalpin supérieur. La fin de la dernière glaciation remonte à 18 000 ans environ pour la Chartreuse. L'existence de sols épais sur les calcaires plus argileux (calcaires du Crétacé supérieur), sur lesquels les pâturages de la réserve naturelle sont étroitement superposés, a pu être favorisée par la période atlantique, légèrement plus chaude qu'actuellement, même si l'usage pastoral a amené ces sols à se modifier, s'éroder en partie et se réorganiser. Quoi qu'il en soit, les sols de montagne actuels sont le produit d'une évolution se poursuivant activement depuis la fin de la dernière glaciation et cela démontre leur valeur temporelle et leur fragilité: le temps d'une vie d'Homme peut suffire à les détruire plusieurs fois, mais en aucun cas à les reconstituer. De quoi réfléchir à l'état et l'usage des sols des Hauts de Chartreuse aujourd'hui, qui souffrent d'activités humaines qui les sollicitent beaucoup et les détériorent parfois (pâturage, exploitation forestière, feux de bivouac et fréquentation touristique...).





**C'est au regard d'une couverture végétale fluctuante durant l'Holocène sur les Hauts de Chartreuse qu'il faut lire les microreliefs de surface d'aujourd'hui.**

Depuis le retrait des glaciers, les formes de relief d'origine glaciaire se sont plus ou moins bien conservées selon les secteurs. Sous des modalités différentes, la **karstification** a été très **active** depuis la fonte des derniers glaciers jusqu'à aujourd'hui et a été le facteur le plus important d'oblitération des formes glaciaires. Secondairement, la **gélifraction** a affecté les bancs de calcaire les moins résistants. Ces différentes actions qui ont remodelé le relief de surface sont très variables en fonction de l'altitude et de l'étagement de la végétation qui a recouvert de façon plus ou moins complète ces anciennes surfaces glaciaires. Le rôle des sols a été logiquement protecteur vis-à-vis de la gélifraction, plus ambigu concernant la karstification.

C'est durant le **Tardiglaciaire** qu'ont probablement été sculptés les grands champs de lapiaz, façonnés les **puits**, les niches ou « **balmes** » dues à la **nivation** sous l'effet d'une intense dissolution superficielle sur les roches dénudées. Des formes de surface plus importantes, notamment parmi les banquettes glacio-karstiques, ont peut-être été façonnées durant des périodes glaciaires plus anciennes et n'ont été reprises que partiellement. Quoi qu'il en soit, les lapiés sont attribuables dans leur très grande majorité à la période holocène, durant laquelle la karstification fut et reste très active.

De nombreuses formes ont par la suite évolué durant plusieurs millénaires sous le couvert de la végétation, prairies ou forêts. Nous l'avons vu, les sols protègent de la gélifraction et de l'érosion mécanique des eaux, mais la dissolution des calcaires se poursuit à leur contact. Ce contexte explique que les formes de lapiaz se soient émoussées, arrondies. La formation des **dolines** a été davantage favorisée que la formation de modelés karstiques vifs.

Les périodes plus récentes, combinant pression pastorale et érosion des sols par déforestation de certains secteurs, ainsi que le **petit âge glaciaire** au cours du dernier millénaire, ont contribué à remettre à nu des formes karstiques qui évoluent à nouveau à l'air libre. C'est ainsi qu'en de très nombreux secteurs de la réserve naturelle, il est possible d'observer des lapiaz aux formes composées, présentant une structure de croupes émoussées héritées probablement de la phase atlantique. Leurs rebords les plus pentus sont repris par des surfaces peignées aux arêtes vives « actuelles ». Dans les secteurs les moins impactés par l'Homme, comme le revers du Granier, ces formes permettent de mesurer le travail d'érosion naturelle durant la période holocène.

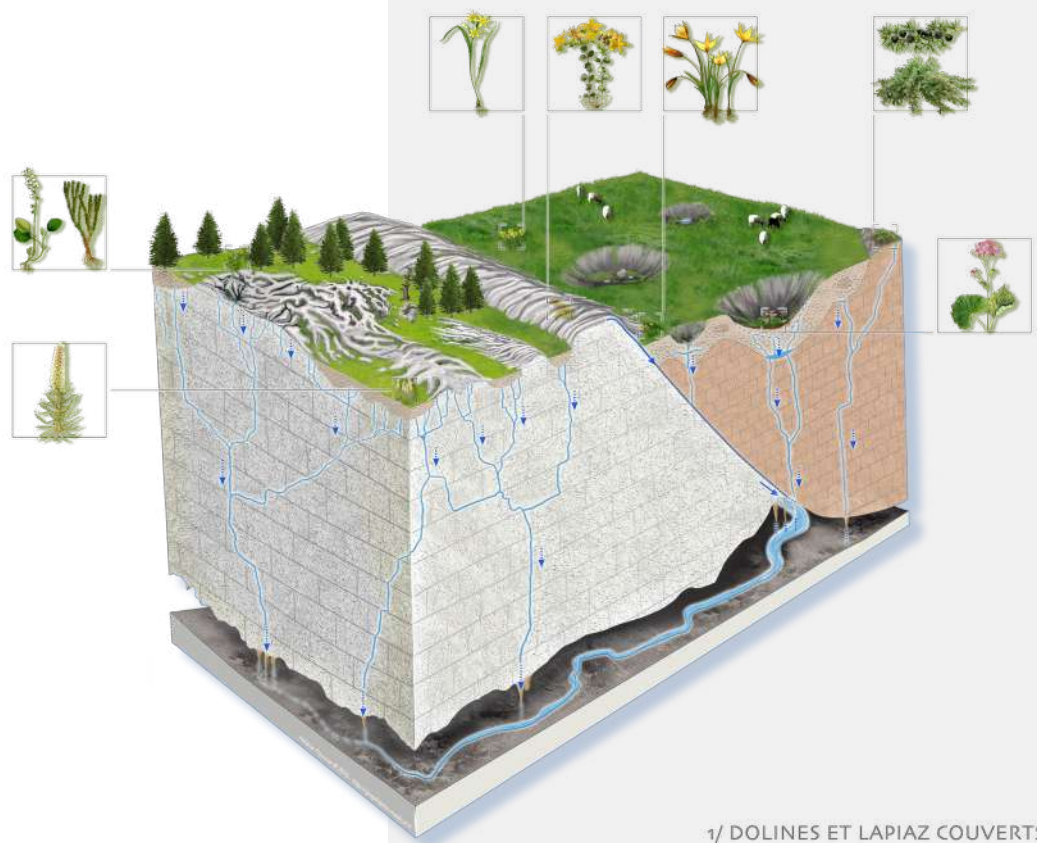
**Durant tout l'Holocène**, la poursuite du recul des **corniches** et des crêts calcaires a produit des **éboulements** et des amoncellements de blocs de toutes tailles, complétant le panel des milieux rocheux de la réserve naturelle.





## Les formes karstiques de surface





1/ DOLINES ET LAPIAZ COUVERTS

Les formes liées à la dissolution des roches calcaires sont parmi les plus originales des paysages des Hauts de Chartreuse : **on parle de relief karstique**. Ces reliefs peuvent prendre des formes variées et induire des contrastes paysagers, parfois nets, parfois par transitions. L'altitude et le type de roches calcaires sur lesquelles ils se développent conditionnent fortement la variété des paysages karstiques de montagne. Deux grands types de paysages karstiques s'observent dans nos régions : les *karsts couverts par le sol et la végétation*, et les *karsts nus*. Des formes intermédiaires sont nombreuses, on parle de **karst semi-couvert**.

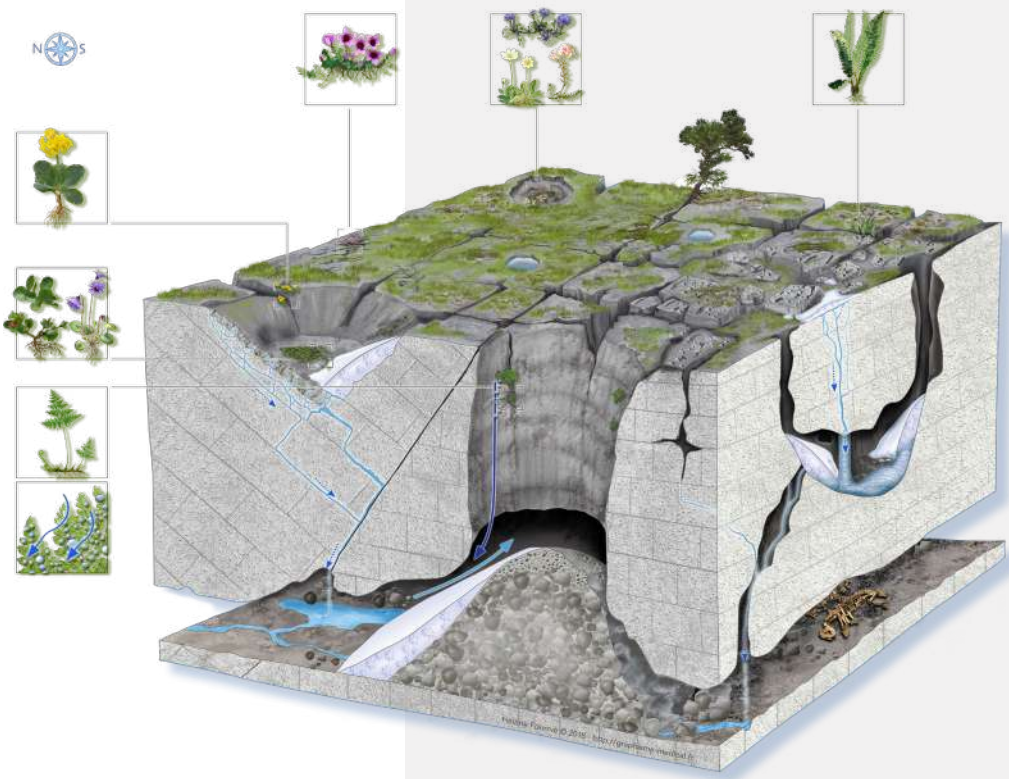
**Sur les Hauts de Chartreuse, les karsts couverts se sont plus particulièrement développés** sur les calcaires les moins purs et les moins compacts, permettant plus facilement l'installation d'un sol et la végétation. Ces calcaires plus argileux, par leur situation au fond du creux du plissement constituant le val perché de la réserve naturelle, correspondent étroitement aux alpages défrichés et exploités par l'Homme depuis plusieurs millénaires.

### E1 – Le karst couvert à semi-couvert

**Au fond des vallons et là où se situent les alpages sur les Hauts de Chartreuse, c'est en général un relief karstique couvert à semi-couvert par les sols et la végétation qui domine.** Les altitudes oscillent le plus souvent entre 1 400 et 1 700 mètres d'altitude. Les formes dominantes sont des dépressions naturelles plurimétriques souvent en forme d'entonnoir, elles prennent le nom de « **dolines** ». Elles sont liées à la dissolution du calcaire et au soutirage des matériaux non dissous que la succion évacue dans leur fond vers des écoulements souterrains. Leur fond est souvent colmaté par de l'argile, et de ce fait fréquemment envahi par une végétation liée aux sols gras et humides. Parfois, la roche nue émerge et on peut observer des cannelures sinueuses et arrondies, **des lapiaz** aux formes généralement très émoussées et rarement tranchantes.

Là où émerge la roche en place, observons bien : elle sera soit très blanche, légèrement crayeuse et montrant de nombreux lits (calcaires crayeux du *Sénonien* à l'*Alpette de Chapareillan*, l'Alpette de la Dame, *Bellefont*...), soit d'aspect très compact mais à la patine brune à rousse (lumachelles de l'Alpette de Chapareillan, l'Alpe, l'Alpette de la Dame, l'Aulp du Seuil...). Dans les deux cas, il s'agit de roches calcaires karstifiables mais qui ne proposent pas des formes karstiques aussi « pures » que les calcaires urgoniens compacts qui constituent les hautes parois rocheuses. Beaucoup plus discrets dans le paysage, ce sont des niveaux calcaires plus récents pour lesquels les conditions environnementales marines lors de leur dépôt étaient différentes. Maintenant soumis à l'érosion, ils s'effritent facilement (calcaires sénoniens) ou libèrent une proportion non négligeable d'argiles insolubles contenues dans la roche (lumachelles), qui, en se mêlant à la matière organique, contribuent à former un sol plus rapidement et plus épais. Au contact des calcaires urgoniens et des calcaires des niveaux supérieurs, le contraste paysager est saisissant et correspond très souvent étroitement à une limite nette de l'alpage, entre forêt et pâturage.

Les lisières de la réserve naturelle sont donc très souvent à la fois des limites **d'alpage**, des limites **géologiques**, et des limites entre types de paysages **karstiques**.



## E2 – Le karst dénudé ou « karrenfeld »

En se dirigeant vers les sommets et en contrebas des plus hautes crêtes des Hauts de Chartreuse, le randonneur rencontre de plus en plus un « karst nu alpin », relief intrigant, parfois hostile et spectaculaire, peu favorable au *pastoralisme* qui n'a pas pu vraiment exploiter ces zones difficiles. Taillé dans les calcaires gris de l'Urgonien qui arment aussi les parois rocheuses ceinturant la réserve naturelle, ce type de karst représente un microrelief plutôt jeune et en pleine évolution. Il se présente souvent sous forme de dalles plus ou moins dénudées et parfois étagées (banquettes glacio-karstiques). Le recoupement des réseaux de fissures et de joints de stratification tend à séparer des tables rocheuses plus ou moins basculées. Les eaux de pluie et de fonte des neiges cisèlent toutes les surfaces inclinées en des lapiaz sinueux ou rectilignes dont les arêtes vives signalent un processus récent à l'air libre.

Tous les escarpements calcaires sont peignés de ces cannelures de dissolution suivant la ligne de plus grande pente, avant de s'interrompre brutalement à la première fissure où l'eau s'infiltré. De curieuses petites vasques nommées **kammenitsas**, se forment à même la roche là où l'eau de pluie stagne dans des petits creux. Un sol discontinu colmate partiellement les fonds de lapiaz. Selon un réseau de fractures plus ou moins régulier mais pour lesquels on devine une certaine logique, des couloirs rectilignes plus ou moins profonds se recourent. Certains s'ouvrent sur une fracture béante dont le fond n'est pas toujours visible ! Ailleurs, c'est un gouffre tubulaire, coupé à l'emporte-pièce, qui invite à l'exploration des réseaux souterrains ou qui laisse deviner une accumulation de neige ou de glace.

Là où la roche est un peu moins résistante, des petites **dolines** abritent jusqu'au début de l'été un peu de neige sur leur rebord exposé au nord, ce qui contribue à leur approfondissement dissymétrique.

## La question de la vitesse d'ablation du calcaire et du creusement des formes karstiques

**L'omniprésence des formes karstiques dans les paysages des Hauts de Chartreuse** suppose une grande efficacité des processus d'érosion chimique du calcaire. Les précipitations abondantes, les basses températures, ainsi que le couvert végétal constitué principalement de conifères qui produisent une litière très acide induisent un fort potentiel de dissolution.

Le volume de roche dissous rapporté à la surface du massif a été estimé à 89 mm par millénaire en Chartreuse (F. Hobléa, 2014). D'autres estimations dans des massifs aux conditions de karstification comparables donnent des résultats du même ordre. Ces valeurs sont parmi les plus importantes au monde, et cette ablation s'exerce particulièrement rapidement dans les fissures, au contact de la roche et du sol végétal. Cette action de dissolution se poursuit en profondeur de façon très efficace, comme l'indique l'indice de cavernement énorme en Chartreuse permettant aussi de rendre compte de l'importance de la matière dissoute.

Ce volume de roche dissoute devrait théoriquement aider à dater les formes karstiques de surface. Mais cette action de dissolution dépend de nombreux facteurs et a pu évoluer en fonction des variations climatiques et de la couverture végétale.

L'estimation de l'âge et de la vitesse de creusement des dolines est parfois délicate. Même si l'*ablation spécifique* atteint en Chartreuse des valeurs parmi les plus fortes au monde, il est difficile d'imaginer que certaines grandes dolines aient eu le temps de se creuser depuis la dernière glaciation. S'il n'existe que peu de très grandes dolines sur les Hauts de Chartreuse, il n'est pas impossible que certaines formes aient été déjà amorcées au cours du Quaternaire pour être réactivées ensuite. Lors de la glaciation du Würm, l'englacement des cavités sous les dolines pouvait bloquer l'infiltration des eaux et paralyser leur développement.

Plus généralement, les dolines s'installent souvent sur des recoupements de fissures où l'ablation se concentre et progresse très vite. Elles peuvent donc y évoluer assez rapidement et la grande majorité des dolines observables dans la réserve naturelle sont probablement attribuables à une évolution récente, au cours des derniers millénaires (période holocène).

Pour les lapiaz, plusieurs études dans les Alpes ont permis d'évaluer un creusement de rigoles de 12 à 15 cm de profondeur sur une période de 10 000 ans à l'étage supra-forestier. Ces différentes données permettent donc d'attribuer un âge postglaciaire aux formes karstiques mineures de surface, observables sur les Hauts de Chartreuse. Les blocs calcaires du grand éboulement du mont Granier de 1248 peuvent aussi servir d'indice de vitesse de dissolution locale, car ils exposent à l'érosion des surfaces intactes depuis cette date. Ils montrent des petites cannelures de 3 à 4 cm de profondeur plus ou moins comblées par de la végétation. Mais sans présence de fissures favorisant la dissolution, la corrosion sur les pans de roche nue apparaît quasi nulle malgré des conditions climatiques favorables (A. Marnezy, 1980).

**Enfin, la karstification est un processus très rapide rapporté à l'échelle des temps géologiques.** Une durée de 10 000 à 20 000 ans peut être suffisante pour mettre en place une structure de drainage karstique « neuve » dans des conditions optimales. Pour comparaison, il en faut 20 fois plus pour la mise en place d'une organisation de drainage de surface (Bakalowicz, 1979). Hormis les vastes réseaux souterrains hérités – beaucoup plus anciens –, la période holocène aurait donc à elle seule suffi à mettre en place un système de drainage souterrain « actif » associé aux formes de dissolution en surface.



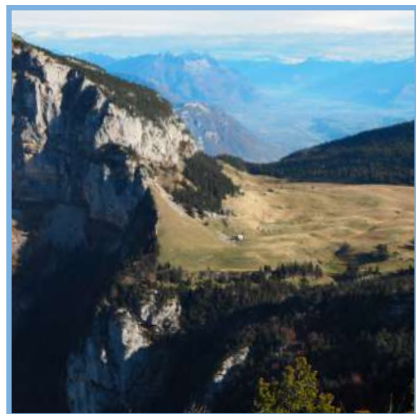
## La répartition des différents calcaires karstifiables : une influence majeure sur le paysage et les activités humaines des Hauts de Chartreuse

**La présence d'une couverture végétale influence fortement le type de forme karstique qui se développe.** Par conséquent, l'étagement altitudinal de la végétation est un facteur essentiel pour comprendre le façonnement et l'évolution des paysages karstiques de montagne. Nous l'avons vu, les sols protègent du ruissellement mais agissent aussi comme une compresse humide et acide très efficace pour dissoudre le calcaire. Cette compresse humide tend à élargir, arrondir et finalement oblitérer considérablement les formes karstiques qui auraient pu se créer initialement à l'air libre. La part réelle de ce facteur est difficile à évaluer car le recouvrement par le sol a été variable à l'échelle de l'histoire de ces formes, soit du fait de variations naturelles de la végétation (voir aussi **période atlantique**), soit par l'influence de l'Homme, qui a défriché des espaces et mis à nu un certain nombre de formes karstiques depuis plusieurs siècles à plusieurs millénaires.

Sur les Hauts de Chartreuse, les formes karstiques sont développées dans trois types de calcaires différents qui impliquent, parallèlement au facteur végétal et altitudinal, d'importantes variations paysagères. Au sein même de la roche la plus facilement karstifiable – les calcaires urgoniens –, il existe de nombreuses nuances car les différents bancs rocheux développés dans ce niveau proposent eux-mêmes des variations qui se traduisent directement dans les détails du paysage.

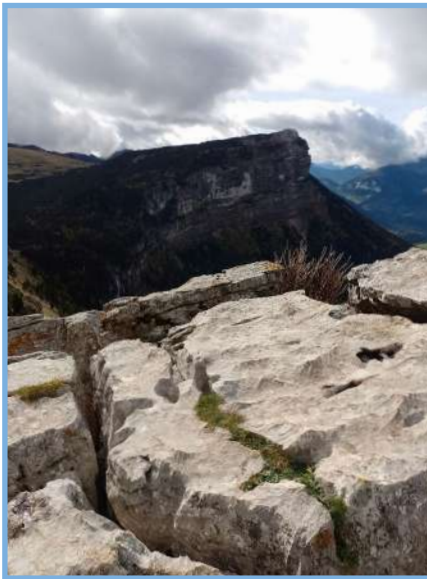
À l'exception de l'étroite bande correspondant à l'alpage de l'Alpette de la Dame, les calcaires produisant les formes karstiques les moins « pures » sont situés au fond du creux du plissement synclinal, à moindre altitude, et donc plus facilement recouverts d'un sol épais.

Les facteurs se combinent donc pour développer des formes moins caractéristiques et plus souvent masquées par la végétation. Dans ces calcaires moins « purs » (*lumachelles*), certaines formes se sont retrouvées exhumées récemment, souvent dans des zones décapées par l'érosion du fait de l'usage pastoral et dévoilant des lapiaz très émoussés caractéristiques d'une évolution initiale sous couverture pédologique. Mais les dolines restent les formes karstiques les plus caractéristiques dans ces secteurs.





Dans l'étage de végétation montagnard de Chartreuse (de 900 à 1 400 mètres d'altitude environ), l'évolution postglaciaire (depuis environ 18 000 ans), très active sous couverture forestière, a abouti au démantèlement avancé du relief karstique. Mais au sein de la réserve naturelle, les surfaces situées à cet étage de végétation montagnard ne sont pas karstiques : ce sont presque toujours des zones installées sur des éboulis recouvrant des **pent**es marneuses.



L'étage de végétation subalpin, en revanche, est largement développé sur les Hauts de Chartreuse. Il s'y manifeste une zone intermédiaire entre un karst forestier montagnard qui tend à oblitérer les formes karstiques « pures » et un karst « alpin » de haute montagne aux formes « vives ». À cet étage, la végétation progresse ou régresse selon les périodes et la pression pastorale. Des formes de relief combinées entre une évolution à l'air libre ou sous une couverture pédologique y sont donc souvent visibles.

Les différences de qualité chimique et mécanique des roches calcaires introduisent de nombreuses nuances de formes à cet étage et induisent une répartition paysagère très nette sur

la réserve naturelle. Les **calcaires urgoniens** développent dans l'étage subalpin inférieur des karsts semi-couverts, dans un contexte peu favorable à la production d'un sol épais et continu. Les lapiaz vifs s'y observent fréquemment. Ces secteurs correspondent presque toujours aux forêts périphériques entourant les alpages de la réserve.



Dans le fond du val perché des Hauts de Chartreuse, les alpages se sont développés en lien étroit avec la présence de « **lumachelle** » (*calcaires à crinoïdes* de couleur roussâtre à forte teneur en argile). Les dolines en entonnoir et les dolines-puits y représentent les formes karstiques les plus spectaculaires. Ça et là, la roche émerge en de rares îlots et les lapiaz qui s'y développent ne sont en général visibles qu'après un décapage des sols. Ils montrent toujours des formes très émoussées sur lesquels se surimposent parfois des formes un peu plus vives et tranchantes liées à une évolution postérieure à l'air libre.

Mais les dolines caractérisent encore davantage ces karsts subalpins. Ces dépressions sont le plus souvent disposées suivant les accidents tectoniques et sont parfois alignées en « chapelet ». Leurs formes sont variées : en cuvette, en entonnoir, en baquet... La présence d'argile, qui bloque leur évolution, la neige qui les façonne de façon dissymétrique, la dureté relative des bancs calcaires dans lesquels elles se forment, ou encore l'effondrement du plafond d'une grotte sous-jacente sont autant de facteurs de variation.

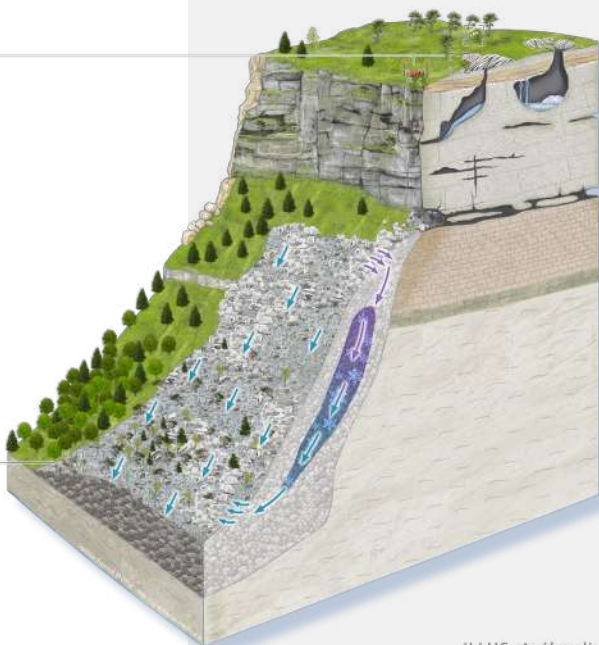
**L'étage alpin** est peu développé sur les Hauts de Chartreuse, mais des formes karstiques typiques de la haute montagne calcaire et des influences glaciaires sont observables près des sommets de la Dent de Crolles, du Granier ou du Pinet, avec de très belles banquettes glacio-karstiques. On parle de karst jeune : l'action de la dissolution par les seules eaux de ruissellement ou de fonte de neige y est directement visible, les formes résultantes sont récentes et actives. Sur les zones les plus hautes, le gain d'altitude rend les conditions de vie toujours plus difficiles, sélectionne les végétaux et limite les processus de pédogenèse pouvant masquer les formes karstiques.

Il faut, là encore, insister sur le rôle essentiel de la roche. Les calcaires urgoniens sont particulièrement purs, la part d'argile est inférieure à 1 %. Une fois le calcaire dissous, ne reste en place qu'une infime proportion de particules argileuses résiduelles, bien souvent emportées loin par le ruissellement de l'eau que rien ne ralentit à cette altitude. La roche est pure, solide, mais fracturée. L'eau y reste peu, s'infiltré très vite dans d'innombrables entrées vers le karst souterrain. Pas d'argile pour aider à la formation d'un sol, pas d'eau ou presque : dans ces conditions, le milieu karstique est particulièrement sélectif et laisse peu de chances aux végétaux pour s'installer, sauf des espèces pionnières très particulières.

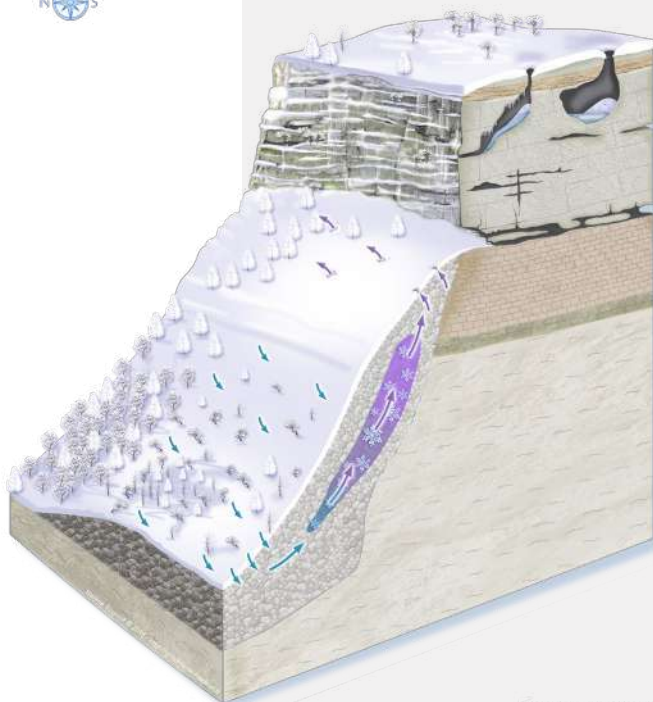
**Sur les Hauts de Chartreuse, l'étagement de la végétation avec l'altitude est donc bien souvent exagéré par la répartition des calcaires urgoniens.** Ce facteur permet le maintien, près des plus hautes crêtes, d'un karst de montagne aux formes ciselées typiques. Dans ce type d'habitat, des espèces végétales remarquables et très spécialisées profitent de l'absence de concurrence pour s'installer. La plupart du temps, ce sont des espèces strictement calcicoles.



## Les glaces cachées de Chartreuse



ILLUS. 4: éboulis froid & glaciers, été



ILLUS.5: éboulis froid & glaciers, hiver

## Les glaces cachées de Chartreuse

**La rencontre en plein été de personnes équipées de piolets et de crampons à glace sur le sac à dos peut surprendre.** Drôle d'idée puisque les glaciers ont quitté les Hauts de Chartreuse depuis environ 18 000 ans ! Et pourtant, des glaces naturelles et mystérieuses existent bien en Chartreuse. Il ne faut cependant pas les considérer comme des reliquats de la période glaciaire et elles se forment dans deux types d'endroits très différents.

Dans le premier cas, elles occupent certaines grottes ou gouffres appelés « *glacières* », que parcourent certains spéléologues avertis. Par un jeu complexe de courants d'air et d'accumulation d'air froid, les glacières fonctionnent comme des congélateurs où gèle l'eau de surface qui s'y infiltre. Dans d'autres cas, c'est de la neige tombée depuis la surface qui s'accumule au fond d'un gouffre et finit par se transformer en glace. Dans un même gouffre, les deux processus peuvent se combiner. Avec le changement climatique en cours, le fonctionnement des courants d'air et les accumulations d'air froid sont perturbés. Un recul rapide des glaces souterraines de Chartreuse est donc constaté. Ces cavités deviennent dangereuses pour ceux qui voudraient les explorer, car des planchers de glace instables qui n'adhèrent plus correctement aux parois se retrouvent perchés au-dessus de gigantesques vides souterrains.

Dans le second cas, la glace, invisible et inaccessible, occupe l'interstice des blocs de roche de certains éboulis, sans aucun rapport avec des grottes ou des gouffres. On parle d'*éboulis froids*. Ils exhalent au cœur de l'été un étonnant courant d'air aussi froid que l'air d'un réfrigérateur. L'origine de la glace y est plus incertaine, mais la conduction et l'effet de détente de l'air qui circule dans l'éboulis jouent un rôle important pour l'entretenir. Ces éboulis froids créent un microclimat permettant l'installation d'une végétation de type arctico-alpine, originale et très spécifique, que l'on retrouve normalement à beaucoup plus haute altitude. Ils constituent de précieuses niches écologiques, fragiles héritages des environnements périglaciaires, aujourd'hui menacés par le changement climatique.

**Les glacières comme les éboulis froids de la réserve naturelle font l'objet de suivis scientifiques** pour mieux comprendre leur fonctionnement et leur évolution.

## Les glacières, originalités des karsts de montagne

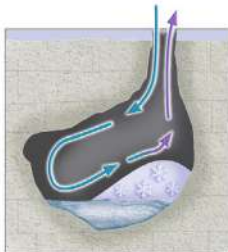
**Dans les massifs karstiques, la température des grottes et gouffres est généralement très stable tout au long de l'année, elle correspond à la température moyenne annuelle extérieure à l'altitude de la cavité, soit une température de 2 à 4 °C environ pour les Hauts de Chartreuse. Mais dans des configurations particulières, certaines cavités connaissent des anomalies thermiques. Dans les karsts de montagne et des régions froides, les températures peuvent en effet atteindre fréquemment des valeurs négatives qui permettent la présence de neige ou de glace toute l'année, ce sont des **glacières**.**

L'anomalie thermique de ces milieux souterrains peut avoir deux origines et tend à définir deux types schématiques de glacières, bien que des fonctionnements mixtes existent.

### Les glacières statiques



**Il s'agit bien souvent de cavités verticales présentant des ouvertures vers le haut et agissant comme piège à neige mais aussi à air froid.** En hiver, par simple convection, un échange d'air se fait entre le fond de la cavité, frais, et l'air plus froid de l'extérieur, plus dense, qui s'écoule et stagne au fond de ces cavités mal ventilées. La neige persistante au fond de ces « puits à neige » entretient aussi une atmosphère froide contrastant avec l'air extérieur. L'eau de surface qui s'infiltré dans la grotte gèle au contact de cet air froid, de la neige transformée et de la glace vive peuvent ainsi se côtoyer au fond du gouffre.



Durant l'été, le système tend à se maintenir : l'air froid piégé durant l'hiver reste plus dense que l'air extérieur et tarde à se réchauffer. Une poche d'air froid stagne donc dans la grotte, ce qui ralentit la fonte estivale du volume de neige. Selon les cycles annuels d'accumulation et de fonte, la neige persistante peut, par tassement, finir par se transformer en glace. Sur les Hauts de Chartreuse, on dénombre des

centaines de ces puits à neige qui fonctionnent en petites glacières statiques au volume plus ou moins important.

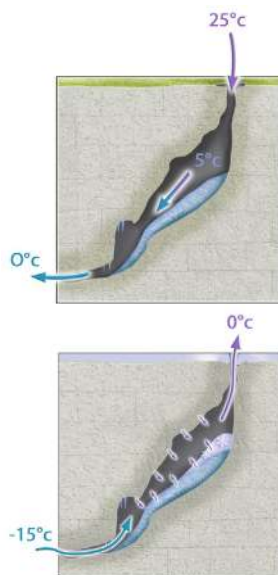
### Les glacières dynamiques

**Mais des glacières plus vastes, plus complexes existent bien que plus rares.** Les vastes réseaux karstiques de galeries souterraines s'ouvrent souvent sur plusieurs entrées étagées à différentes altitudes, elles-mêmes réparties parfois sur des versants



variablement exposés au soleil. De puissants courants d'air peuvent ainsi se mettre en place à l'intérieur du réseau, provoquant des effets de cheminée. Ces « vents des ténèbres » peuvent, par échanges de températures et effet de détente de l'air, provoquer d'importantes anomalies thermiques.

**En hiver, de l'air froid de l'extérieur est aspiré par l'entrée la plus basse du réseau, car l'air plus « chaud » (et donc plus léger) de la cavité sort par ascendance aux entrées hautes. Ceci a pour effet de refroidir les parois de la cavité et de créer des poches d'air persistantes plus froides dans les points bas des galeries du réseau. Même avec de grosses quantités de neige recouvrant les surfaces sommitales des Hauts de Chartreuse en plein hiver, certaines fissures de lapiaz ou gouffres restent ouverts, agissant comme des cheminées exhalant un air suffisamment chaud pour faire fondre la neige au fur et à mesure. Cette particularité est bien connue des spéléologues qui profitent de cette saison pour rechercher les « trous souffleurs », prometteurs car généralement reliés à un vaste réseau souterrain possédant diverses entrées générant le courant d'air. C'est aussi une particularité que méconnaissent malheureusement souvent raquettistes et randonneurs à ski, et qui représente un véritable danger dans certaines conditions d'enneigement. En été, le mouvement de l'air s'inverse. De l'air chaud extérieur s'engouffre par les entrées hautes car l'air froid de la cavité s'écoule vers le bas du réseau et crée un appel d'air.**



Dans certaines cavités, le refroidissement important de la masse d'air qui circule fait geler sur son passage les suintements et ruissellements d'eau d'infiltrations présentes au plafond, sur les parois ou au sol. C'est ainsi que des colonnes, des rivières, des lacs, des stalagmites ou des stalactites de glace sont façonnés, offrant un spectacle saisissant de grottes drapées de blanc. Certaines formes glaciaires fondent et se renouvellent chaque année, telles les colonnes plus ou moins épaisses d'une fois à l'autre. D'autres formes montrent une accumulation pluriannuelle comme dans les vrais glaciers, avec une stratification visible. Il s'agit quoi qu'il en soit de glaces récentes, mais dont la dynamique et le renouvellement restent complexes dans le détail. En 2006, une datation de la surface d'une glacière stratifiée des Hauts de Chartreuse, donnait à ces glaces un âge inférieur à 30 ans.

**Bien que chaque glacière connaisse un fonctionnement spécifique, le volume des glaces souterraines diminue très rapidement depuis quelques décennies, que ce soit en Chartreuse ou dans les massifs voisins et européens.**

Le changement climatique semble bien être en cause, induisant des contrastes globalement moins puissants entre la température interne des réseaux souterrains et les températures hivernales extérieures. De moindres volumes de neige en surface et une saison de fonte printanière plus brève induisant moins d'eaux d'infiltration exposées aux courants d'air frigorifiant en sont également des causes probables.

## Le suivi des glaciers des Hauts de Chartreuse

**Un suivi de deux glaciers majeures des Hauts de Chartreuse**, réalisées par le Spéléo Club de Savoie et les Furets jaunes de Seyssins avec le soutien de la réserve naturelle est en cours pour mieux comprendre leur dynamique.

La plus emblématique d'entre elles, le « **gouffre du Grand Glacier** », découvert dans les années 1950 dans le massif du Pinet, est un exemple saisissant. Jusqu'au milieu des années 2010, les spéléologues munis de crampons à glace parcouraient sereinement une rivière de glace remplissant un étroit canyon souterrain, glace qui semblait recouvrir le plancher rocheux de la grotte, personne n'en doutait ! Quelques années plus tard, ils découvrent que cette rivière de glace est en réalité un pont de glace adhérent aux parois du canyon souterrain par la seule magie du froid. La rivière de glace est devenue en quelques années seulement un étroit et dangereux trottoir suspendu au-dessus d'un vide de plus de... 50 mètres ! Depuis 2021, ce même passage est devenu totalement libre de glace. Ce phénomène de « **rivière de glace suspendue** » tend à accréditer la thèse d'un puissant facteur d'englacement par les courants d'air qui congèle sur place l'eau ruisselant des parois. Peu à peu, les deux pans se rapprochant, ils ont fini par se souder en un pont de glace. Aujourd'hui, l'aspect de ces cavités évolue très rapidement, à tel point que les repères fixes mis en place pour les mesures d'évolution de la glacière deviennent vite inaccessibles à hauteur d'homme

**Il est donc indispensable d'être prudent, les contraintes d'exploration de ces cavités évoluant à grands pas, elles tendent à devenir objectivement plus dangereuses.**

Variation du niveau de la glace - Gouffre du Grand Glacier (Chapareillan, Isère)



Avant 1985



1<sup>er</sup> septembre 2008



17 mai 2017



**Certains éboulis se distinguent par des originalités majeures.** De loin, ils se manifestent au promeneur par une végétation dont la composition et la physionomie sont originales. De près, de mystérieux courants d'air frais sont perceptibles, permettant de conserver efficacement boissons et aliments au cœur de l'été, ce que les bergers ont su mettre à profit depuis longtemps. Dans la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, au niveau des cirques de La Plagne et de Saint-Même, des sites très localisés présentent une végétation typique de la haute montagne et des régions boréales à des altitudes pourtant modestes – vers 1 100 mètres d'altitude. Ce sont des *stations abyssales*, liées à des anomalies thermiques dont l'origine est la présence d'**éboulis froids**. En Chartreuse, cette végétation présente un décalage altitudinal de l'ordre de 800 à 900 mètres, ce qui est considérable. Une pinède de pins à crochets rabougris y prend place. Elle est accompagnée, entre autres, de rhododendrons et de lichens typiques des pays nordiques dans le domaine habituellement réservé aux opulentes hêtraies-sapinières. Ce sont des sites à très grande valeur écologique, proposant des écosystèmes isolés et spécifiques. Sur le cirque de La Plagne, les scientifiques ont même découvert une nouvelle espèce de ver de terre! Ces sites, très limités en surface, sont soigneusement préservés de l'exploitation forestière.

Ces éboulis présentent un contraste saisonnier très marqué des températures au sol entre leur partie haute et leur partie basse. Cette particularité repose sur une circulation d'air dans les profondeurs de l'éboulis dont le sens alterne selon les saisons. Si le phénomène d'« effet de cheminée » est commun avec les glaciers des cavités souterraines, et que de la glace peut être aussi contenue dans ces éboulis froids, on prendra garde de ne pas les confondre, car les éboulis froids se situent dans un contexte géologique différent, sans lien particulier avec le relief **karstique**.

**En hiver**, la circulation de l'air dans ces éboulis est ascendante. L'air contenu entre les blocs est moins froid que l'air extérieur et donc moins dense, il se trouve expulsé vers le haut de l'éboulis, ce qui génère un appel d'air. Dans la partie haute de l'éboulis apparaissent des orifices au sein du manteau neigeux qui recouvre l'éboulis; ce sont des *fenêtres de fonte*. Elles sont ouvertes par le flux d'air circulant dans l'éboulis et qui se réchauffe par rapport à l'air froid de l'extérieur. Les températures y restent légèrement positives tout l'hiver. Dans la partie basse de l'éboulis, les températures du sol sont beaucoup plus basses, et suivent assez bien l'évolution de celles de l'air extérieur. De plus, durant tout l'hiver, les blocs de l'éboulis emmagasinent, par conduction, le froid apporté de l'extérieur par le courant d'air, jusqu'en dessous du point de congélation.

**En été**, au contraire, la circulation d'air est descendante. Un courant d'air très frais (moins de 5 °C) ressort de la base de l'éboulis, entre les blocs. Par gravité, l'air frais de l'intérieur de l'éboulis s'écoule vers le bas et ressort par différents orifices entre les blocs. L'anomalie thermique peut atteindre 3 à 7 °C en dessous des températures

moyennes annuelles de l'air. Au sommet de l'éboulis, en revanche, les températures du sol sont chaudes, proches de l'évolution des températures ambiantes. De l'air extérieur est donc aspiré par le haut de l'éboulis et se refroidit à son tour en parcourant ses interstices internes. Les blocs de l'éboulis restituent par conduction le froid emmagasiné dans leur masse durant l'hiver. Le phénomène de refroidissement de l'air est encore accentué lorsque l'éboulis contient en son sein de la glace ou de la neige résiduelle. Plus la température de l'air extérieure est élevée, plus le phénomène est actif, et plus le courant d'air soufflé par l'éboulis est frais !

Le souffle d'air froid peut donc être, selon les sites, particulièrement prononcé en été. C'est le cas de l'éboulis froid de La Plagne. Sur ce site bien étudié, l'exploitation ancienne d'une partie de cet éboulis en carrière (de 1960 à 1973) a montré la présence de *pergélisols* sous forme de plaques isolées, de restes de neige et de glace. L'importance et l'origine de cette glace restent aujourd'hui discutées. En 1960, Paul Gidon émettait l'hypothèse d'une glace fossile formée par l'enfouissement de coulées de neige suite à l'éboulement de la paroi rocheuse. La glace se maintiendrait continuellement grâce aux inversions de température fréquentes dans le cirque de La Plagne peu ensoleillé et au refroidissement lié à la circulation de l'air dans l'éboulis par « effet de cheminée ». Pour d'autres auteurs, la glace présente dans l'éboulis ne serait rien d'autre que la congélation renouvelée des eaux de fonte des neiges au printemps au contact des blocs refroidis par convection tout l'hiver. La possibilité d'origines mixtes des glaces n'est, quoi qu'il en soit, pas à exclure, à savoir un noyau de glace « permanent » et une partie de glace de regel annuelle, qui participeraient l'une et l'autre à entretenir l'ambiance froide interne.

Par les écosystèmes abyssaux originaux qu'ils abritent dans des conditions géologiques et climatiques particulières, les éboulis froids représentent des **niches écologiques** exceptionnelles, peut-être mises en danger par le changement climatique actuel. Certains scientifiques pensent que le fonctionnement particulier de ces « réfrigérateurs naturels », aurait permis de conserver dans ces minuscules zones des microclimats *périglaciaires* stables depuis la fin de la dernière grande glaciation, voire durant tout le Pléistocène. Et ce, en dépit des variations climatiques plus chaudes ayant ponctué ces périodes.

**La réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, le Conservatoire botanique national alpin et un groupement scientifique contribuent à la connaissance, au suivi et à la protection de ces précieux éboulis froids.**





# Abécédaire

---



# Abécédaire des mots propres, noms communs et expressions

*Cet abécédaire n'a pas vocation à être exhaustif. Il insiste sur quelques notions et termes importants pour la compréhension du site. Une version augmentée pourra être proposée ultérieurement. Pour d'autres termes utilisés la consultation de dictionnaires de géologie, géomorphologie et écologie peut être utile.*

*Illustrations : H.Fournié, sauf mentions contraires - Photos : P.Gardet, sauf mentions contraires*

## Ablation spécifique (du calcaire)



En milieu **karstique**, tranche de **calcaire** moyenne enlevée par l'érosion, du fait de sa dissolution au contact de l'eau. Cette valeur varie en fonction du climat et de la charge en CO<sub>2</sub> des eaux de pluie ou de fonte. Elle ne se manifeste pas de façon régulière dans l'espace, la dissolution se concentrant majoritairement au niveau de certaines **zones de faiblesse** de la roche. Sur les sommets des Hauts de Chartreuse, l'ablation spécifique est estimée entre 90 mm et 120 mm/millénaire. ([retour ablation spécifique](#))

## Abri-sous-roche



Désigne un surplomb rocheux simple, moins profond qu'une **grotte**. L'origine des abris-sous-roche peut être variable, mais sur les Hauts de Chartreuse, il s'agit bien souvent de



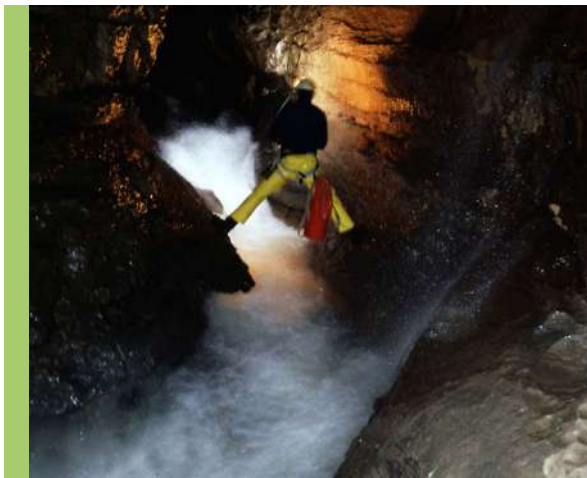
bancs calcaires plus sensibles à l'érosion mécanique au sein d'un même ensemble stratigraphique. Un processus d'**érosion différentielle** se met en place : l'humidité stagne davantage dans le niveau légèrement surcreusé, cela rend la **gélifraction** plus active à ce niveau. L'ombre portée par le niveau supérieur entretient le phénomène. Les abris-sous-roche sont innombrables au sein de la **réserve naturelle** et offrent des **niches écologiques** particulières pour une flore spécialisée. [\(retour abris-sous-roches\)](#)

### Active (forme de relief)



Désigne dans le paysage tout élément du relief, quelle que soit sa taille, dont l'origine et l'évolution sont dues aux conditions climatiques et géographiques actuelles.

### Active (galerie souterraine)



En milieu **karstique**, désigne un conduit souterrain emprunté par des écoulements d'eau permanents. Ces **galeries actives** assurent le drainage des eaux du massif **karstique** de surface. [\(retour actives\)](#)

Allochtone

En géologie, désigne des roches ou des ensembles de terrains déplacés en dehors de leur lieu de formation et reposant dans un contexte géologique différent (âge des terrains, origine des roches...). Sur les Hauts de Chartreuse, certaines roches piégées dans les réseaux souterrains ou certaines **moraines** laissées par les glaciers en périphérie du massif peuvent être qualifiées d'allochtones.



*Dépôt morainique majoritairement calcaire mais contenant quelques roches cristallines allochtones (versant est des Hauts de Chartreuse).*



*Le massif subalpin des Bornes-Aravis présente l'originalité d'abriter des terrains allochtones (Klippe des Annes, massif couvert de pelouses au centre), reposant sur des terrains autochtones plus récents. [\(retour allochtone\)](#)*

### Alluvions



Matériaux sédimentaires issus de l'érosion, transportés par l'eau et finalement déposés quand la force du courant est devenue insuffisante. Les alluvions sont de taille variable (limons, sables, graviers, galets, blocs) et plus ou moins triées par les courants et leur parcours. [\(retour alluvions\)](#)

### Alpe, Alpette, Alpettaz, Arpettaz



Dans la chaîne des Alpes, dérivés d'un mot de racine très ancienne désignant un pâturage d'altitude utilisé dans le cadre d'une civilisation pastorale avec remues ou transhumances saisonnières du bétail. Ces pâturages, à l'origine, pouvaient être des pelouses d'altitude naturelles ou conquis sur la forêt de montagne. Ils avaient une importance centrale dans l'organisation et l'économie de la vie pastorale et la culture « alpine ». Le terme a plus ou moins évolué selon les massifs et a donné lieu à de multiples toponymes dérivés, notamment sur les Hauts de Chartreuse où il convient de préciser de quelle alpe ou alpette il s'agit pour ne pas se tromper de « montagne ». [\(retour Alpette\)](#)

Alpette de Chapareillan (nom propre)

Secteur désigné souvent simplement comme « l'Alpette », mais qu'il convient de ne pas confondre avec l'Alpette de la Dame. Géologiquement, ce site correspond à la partie septentrionale du val perché de l'Alpe, mais l'usage de deux alpages répartis sur des limites communales différencie les deux secteurs. Au nord, le **val perché** est nettement délimité du mont Granier par le pas de Barres, paroi calcaire issue d'une **faille** de décrochement transversale majeure. L'Alpette de Chapareillan a la particularité de présenter des terrains **calcaires** parmi les plus récents du massif (**Crétacé supérieur**), encore préservés de l'érosion. Il en résulte une nette différenciation des usages pastoraux et des paysages de ce secteur. [\(retour Alpette de Chapareillan\)](#)

Alpette de la Dame (nom propre)

En position centrale dans la réserve naturelle, ce secteur correspond à un alpage actuellement occupé par des bovins, situé à cheval sur la frontière historique France-Savoie (aujourd'hui des deux Saint-Pierre-d'Entremont). Il surplombe le célèbre cirque de Saint-Même mais n'est pas visible depuis celui-ci. Vu de loin, on remarque que ce secteur forme une sorte d'échine, comme un « rembourrage », un surépaississement contre la pente. Il s'agit de terrains **calcaires** plus **marneux** et aptes à développer des alpages, exceptionnellement conservés de l'érosion. Comme à Bellefont, la partie occidentale du **synclinal** a été détruite par l'érosion, une conjonction de **failles** ayant favorisé le processus. [\(retour Alpette de la Dame\)](#)

### Alpes cristallines externes

Désignation géologique de plusieurs massifs montagneux composés principalement de roches granitiques et de gneiss **hercyniens**. Ces massifs sont issus, lors de la surrection alpine, d'un soulèvement d'écaillés d'un **socle** d'une chaîne de montagnes plus ancienne (massif hercynien). Ces massifs sont situés immédiatement à l'est des **massifs subalpins**, avec lesquels le contraste géologique, paysager et écologique est saisissant. Appartiennent à cette catégorie de massifs le mont Blanc, les Aiguilles Rouges, la partie occidentale du Beaufortain, la Lauzière, Belledonne, les Écrins, une partie de l'Argentera-Mercantour. Ils présentent une morphologie de type « sierra », alignement de crêtes étroites et de sommets acérés fréquents. Leurs altitudes et leurs roches, souvent compactes et résistantes, ont permis le façonnement de modelés glaciaires remarquablement bien conservés (cirques, lacs de verrou, stries glaciaires).

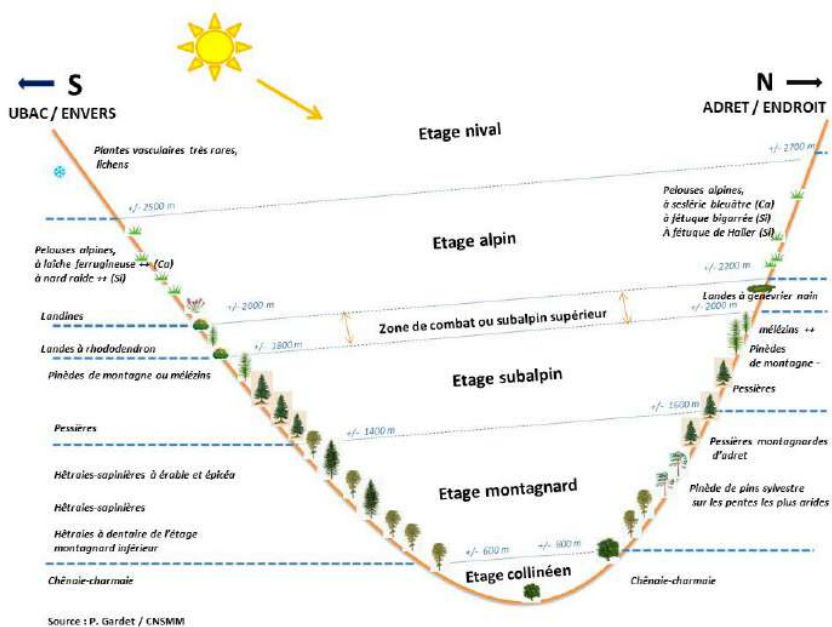


*Massif de Belledonne, au fond, derrière les nuages, la Dent de Crolles / Massif des Aiguilles-Rouges, site classé en réserve naturelle.*



*Depuis le sommet de la Dent de Crolles, vue sur les crêtes dentelées typiques des massifs cristallins.*

## Alpin (étage)



Ceinture de végétation située au-dessus de la limite naturelle des arbres. En Chartreuse, l'étage alpin est extrêmement restreint, limité à quelques dizaines de mètres de dénivellation sous les plus hauts sommets. On peut l'y situer autour de 1950 à 2000 mètres d'altitude, même si sa délimitation exacte pourrait être sujette à bien des discussions : rôle de l'effet de crête, des anciens défrichements, etc...



Les pentes sommitales de la Dent de Crolles font partie des très rares surfaces de Chartreuse pouvant être considérées comme appartenant à l'étage alpin. [\(retour étage alpin\)](#)

Altérite

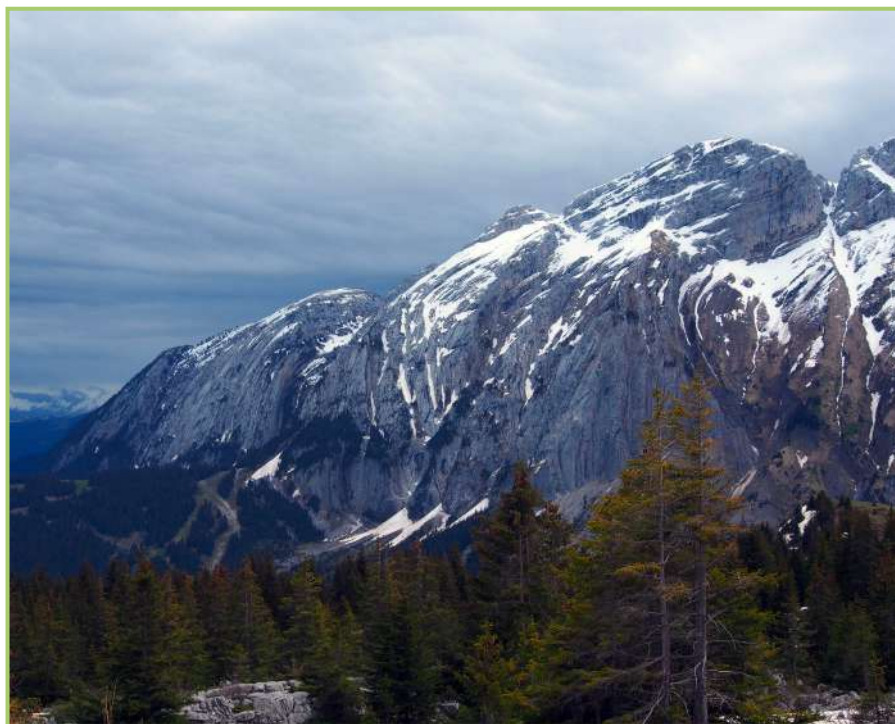
Produit de la désagrégation mécanique ou de la décomposition chimique d'une roche. L'action combinée des racines des plantes et du gel-dégel est un des processus qui contribue à produire des altérites. [\(retour altérites\)](#)

Ammonite

Comparables à des « pieuvres à coquille », les ammonites représentent le plus grand groupe de céphalopodes. Il est aujourd'hui éteint, mais s'est considérablement développé pendant tout le **Mésozoïque**, avant de disparaître lors de la grande extinction des espèces il y a 65 MA. Les fossiles d'ammonites ont une grande importance en paléontologie, car les genres et les espèces ont été particulièrement nombreux et évolutifs, ce qui en fait des marqueurs remarquablement précis des différents épisodes de sédimentation marine et de leurs caractéristiques environnementales. Attention, au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, le prélèvement de fossiles est interdit. [\(retour ammonite\)](#)

*Anticlinal (pli)*

Pli simple en forme de voûte dans des couches rocheuses sédimentaires. Le **pendage** des couches diverge au sommet de la voûte. L'anticlinal s'oppose au **synclinal**, formant un creux ou une gouttière. En Chartreuse, du fait d'un plissement très accentué, les formes anticlinales ont été souvent très impactées par des réseaux de cassures ou détruites par l'érosion.



*Pli anticlinal couché dans le massif des Bornes, de nature géologique très proche de la Chartreuse. [\(retour anticlinal\)](#)*

*Aquifère*

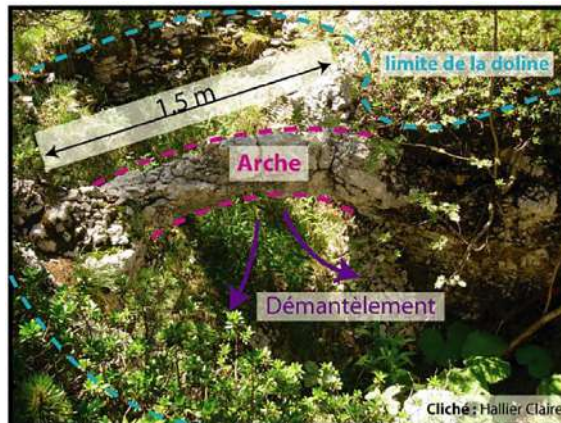
Volumes d'eau souterraine occupant les vides contenus dans certaines formations géologiques et agissant comme réservoir plus ou moins important, exploité ou pas par l'Homme. En fonction du type de roche et des configurations des éventuelles strates géologiques, différents types d'aquifères existent. Sur les Hauts de Chartreuse, les aquifères sont de type **karstique**. L'eau y circule très rapidement et n'est pas filtrée, du fait des caractéristiques des réseaux souterrains développés dans la roche **calcaire** qui est « perméable en grand, imperméable en petit ».





Emergence, en aval d'un aquifère karstique. [\(retour aquifère\)](#)

### Arche



Un exemple de forme remarquable :  
une arche formée dans une doline

Forme d'érosion particulière constituant un jambage rocheux naturel au-dessus du sol. Différents processus et contextes géomorphologiques peuvent aboutir à des arches. Dans la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, plusieurs arches sont connues et leur médiatisation a engendré des problématiques de surfréquentation dans des sites sensibles.

L'origine de leur formation est liée à l'érosion différentielle des strates **calcaires** au sein d'une partie sortante d'une paroi rocheuse. L'action de la **gélifraction**, progressant plus vite dans les strates calcaires prises entre deux couches plus résistantes, peut finir par la faire disparaître localement, sans compromettre la tenue de l'édifice rocheux. Sur le secteur de l'Aulp du Seuil, l'accès à certaines arches, impliquant un parcours hors-sentier, est interdit sur la volonté du propriétaire foncier. Bien d'autres curiosités géologiques sont observables en ne quittant pas les sentiers !



### *Argile*

**Roche sédimentaire** terreuse, composée de **silicates** d'alumine hydratés associés à une fraction détritique de nature variable. L'argile présente une structure de grains extrêmement fins et disposés en microfeuillets, ce qui en fait une roche imperméable. Dans les roches sédimentaires cohérentes, les argiles sont fréquemment associées à la roche **calcaire**, dans des proportions variables. Quand celles-ci sont équilibrées, on parle de **marne**. Lorsque le calcaire est dissous par l'eau de ruissellement, les argiles libérées peuvent rester sur place et imperméabiliser certaines zones fortement décalcifiées.



*Argiles transportées et déposées dans le lit d'un torrent à la suite d'une forte crue, au pied de la face nord du Granier. [\(retour argile\)](#)*

Argilite brique

Au sens strict, les argilites sont des roches argileuses devenues compactes par induration. La formation complexe des argilites est l'objet de nombreuses discussions parmi les spécialistes, mais on peut considérer qu'il s'agit de « résidus de roche » issus d'une intense érosion biochimique au contact des plantes, dans un contexte de climat chaud et humide sur une longue période. Le terme « brique » est en lien avec certaines argilites, dont la célèbre bauxite, qui présentent une coloration rouge liée à la présence d'oxydes de fer. Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, ce type de roche peut très exceptionnellement être observé dans des poches karstiques recoupées par l'érosion, où elles ont été piégées par soutirage lors de leur formation, puis préservées de l'érosion jusqu'à aujourd'hui. Elles témoignent des conditions de **karstification** très anciennes (ère tertiaire), dans un contexte climatique tropical et avant le soulèvement des Alpes.

Argile de décalcification

Lors de la dissolution des roches **calcaires** par l'eau, partie non soluble restant en place après l'évacuation du carbonate de calcium sous forme dissoute. Toutes les roches calcaires, dans des proportions très variables, contiennent une part d'argile. Sur le terrain, ce type d'argile est notamment observable au fond des **dolines**. Elle peut être plus ou moins évacuée et piégée dans les réseaux souterrains par de l'eau circulant dans les pertes. Globalement, l'argile de décalcification joue un rôle important dans la constitution de sols végétaux dans les régions calcaires. La limite des alpages de la réserve naturelle est fortement liée à la présence des calcaires délivrant le plus d'argiles et qui participent à la formation de sols productifs pour la flore pastorale.



*Argiles de décalcification accumulées dans le creux d'un sentier. Les fentes de dessiccation illustrent bien une des particularités physiques des argiles qui se rétractent et changent fortement de propriétés physiques en fonction de l'humidité et de la température. (retour argiles de décalcification)*

*Atlantique (période)*

L'Atlantique désigne, en paléoclimatologie, une période, entre -8 200 et -4 700 ans BP, connue comme ayant été la plus chaude et la plus humide en Europe durant l'**Holocène**. Elle a été précédée par le **Boréal**, et a été suivie du **Subboréal**, qui a fait la transition avec notre climat actuel. La période atlantique peut aussi être désignée comme « l'optimum climatique holocène ». À cette période, en Chartreuse, tous les sommets étaient très probablement recouverts par une forêt, les feuillus montaient haut en altitude, et le sapin occupait à minima celle de l'épicéa aujourd'hui.



*Paysage végétal probable au début de la période atlantique sur les Hauts de Chartreuse. [\(retour période Atlantique\)](#)*

Aulp du seuil (nom propre)



Bordé à l'ouest par les Lances de Malissard, L'Aulp du Seuil constitue un des principaux val perché de la Réserve Naturelle. Attention, le parcours de ce site n'est autorisé que sur les sentiers conventionnés par le propriétaire privé. [\(retour Aulp du seuil\)](#)

Avant-pays

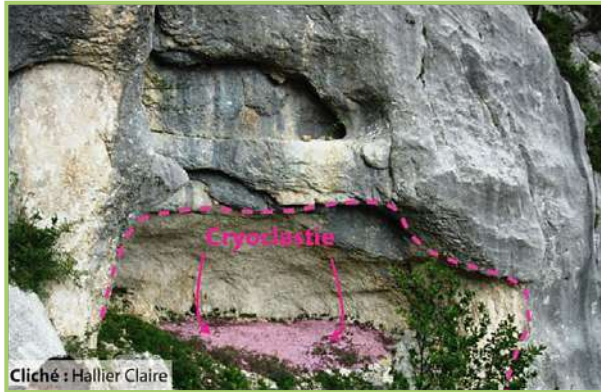
D'un point de vue géologique, secteur bordier au pied des chaînes de montagnes, en direction duquel les structures géologiques tangentielles et les dépôts d'érosion ont tendance à se déverser.



*Rochers du Frou (premier plan) et Grande Sure (second plan) dominant nettement l'avant-pays à l'ouest de la Chartreuse. (retour avant-pays)*

Balme/Baume

En franco-provençal ou romand selon les linguistes, le terme désigne une **grotte** ou un abri-sous-roche. Il se retrouve aujourd'hui dans de nombreux toponymes en Savoie



Cliché : Hallier Claire

et Dauphiné, soulignant l'importance de certaines cavités dans l'usage et l'appropriation culturelle de ces sites. ([Retour Balme](#))

### Banquette glacio-karstique



Cliché : Hallier Claire



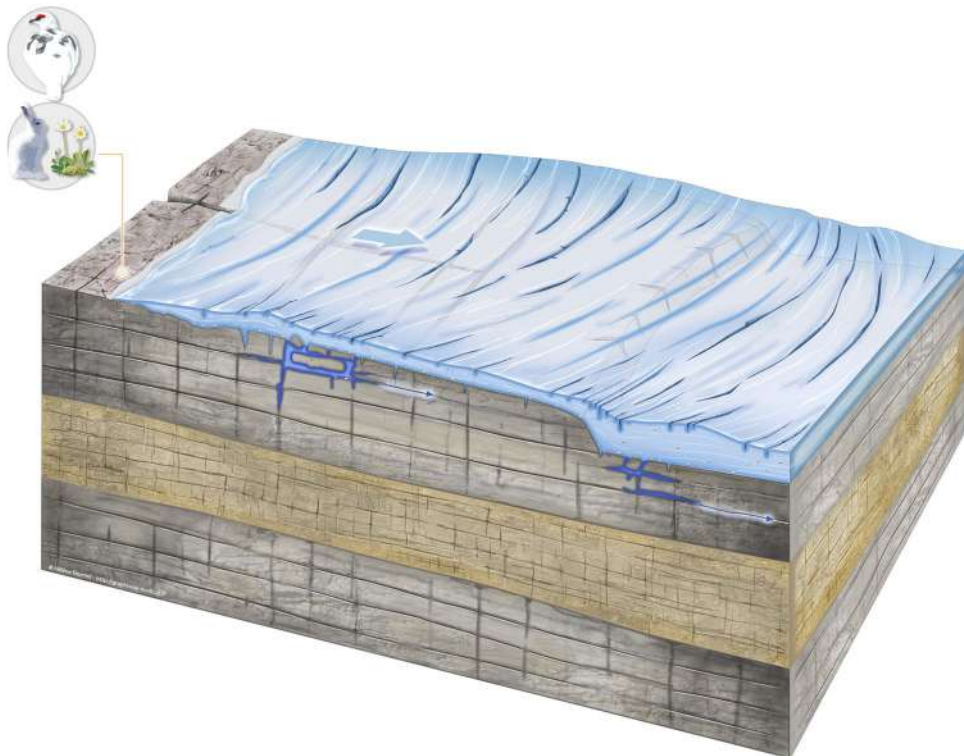
Cliché : Hallier Claire

facteur  
temps →



Cliché : Hallier Claire

Forme de relief originale montrant une succession de bancs décimétriques à plurimétriques sculptés dans différentes strates de **calcaire** massif. Elles sont liées à l'action combinée de l'érosion **karstique** et du défonçage glaciaire.



Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, on observe de très belles banquettes glacio-karstiques au Granier, à la Dent de Crolles ou encore au Pinet. [\(retour banquette\)](#)

### Belledonne (nom propre)



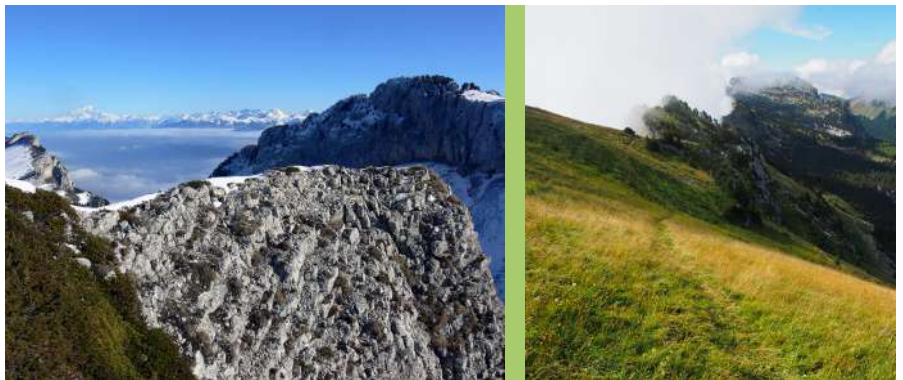
Massif montagneux appartenant aux Alpes cristallines externes, situé à l'est de la Chartreuse et du Grésivaudan, à cheval sur les départements de la Savoie et de l'Isère et culminant à plus de 2 900 mètres d'altitude.



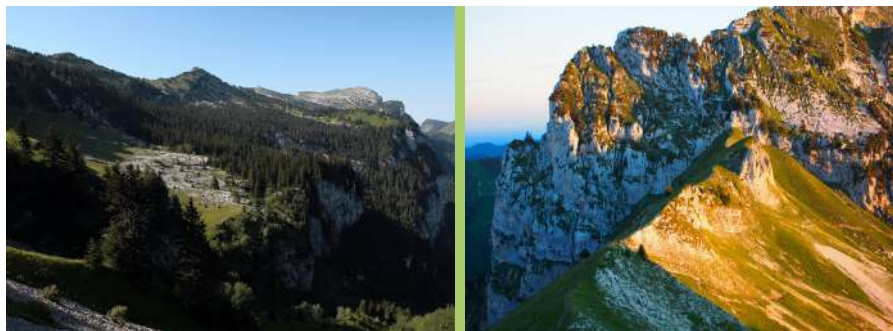


Appartenant à un domaine géologique très différent de la Chartreuse (**socle hercynien**) et porté à plus haute altitude, ce chaînon illustre parfaitement le contraste géologique et écologique de la chaîne alpine à faible distance des massifs **subalpins**. Par leur proximité de Grenoble, les deux massifs ont souvent fait l'objet d'études de référence et de comparaisons, que ce soit dans les domaines de la géologie ou de la biogéographie. [\(retour Belledonne\)](#)

### Bellefont (nom propre)

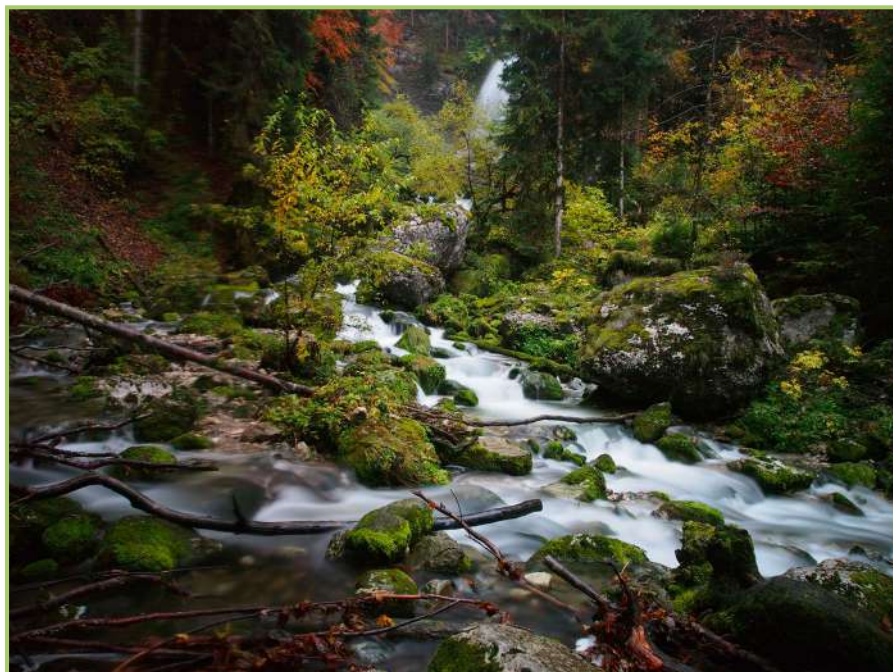


Dénomination d'un sommet (dôme de Bellefont), col et secteur du sud de la réserve naturelle, sur la commune de Saint-Pierre-de-Chartreuse. D'un point de vue géographique, le secteur de Bellefont se caractérise par l'absence d'une partie du pli **synclinal**, côté occidental, ce qui explique qu'il n'existe pas de contre-pente qui ferme le vallon comme dans le secteur voisin de l'Aulp du Seuil. Cela donne au sentier PR qui le parcourt un aspect de sentier en balcon sur la vallée de Perquelin. Le col de Bellefont se situe sur une **faille** décrochante majeure du massif, qui met en contact anormal des terrains **marneux** et **calcaires** d'âge différents. Le chaos de Bellefont est quant à lui un amoncellement de blocs rocheux s'expliquant par le glissement et la dislocation d'une strate calcaire sur un lit **argileux**. Le glissement de cette strate calcaire a été favorisé par la disparition du volet synclinal occidental qui n'offrait plus de contre-pente pour la retenir en aval.



Faïlle décrochante du Col de Bellefont. [\(retour Bellefont\)](#)

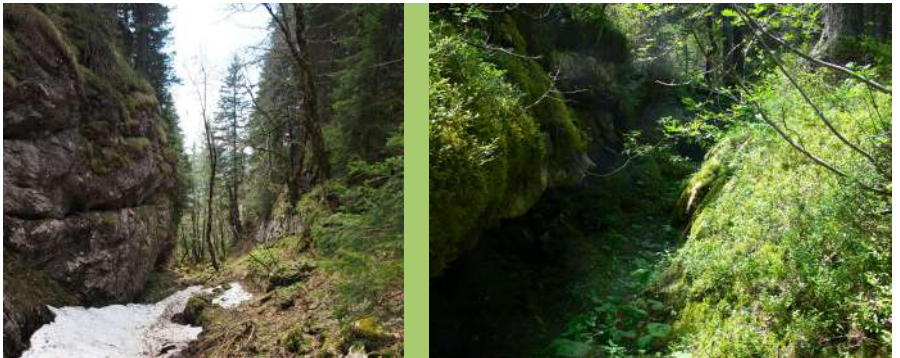
### Biostasie



Terme permettant de décrire un ensemble de conditions liant l'évolution des sols à celle du tapis végétal et de certains modelés du relief dans un contexte de stabilité biologique. Il s'oppose au terme de **rhexistasie**. Dans les périodes de biostasie, les sols sont préservés de l'érosion mécanique des eaux par une végétation stable et couvrante, les eaux de ruissellement sont peu chargées en sédiments. La roche sous-jacente est à l'abri de l'érosion mécanique mais est altérée chimiquement par les eaux infiltrées dans le sol. Les formes de relief peuvent ainsi évoluer de façon régulière et discrète, donnant des modelés souvent émoussés lorsqu'ils sont mis au jour après une phase de rhexistasie et l'érosion complète des sols. [\(retour biostasie\)](#)

Bogaz

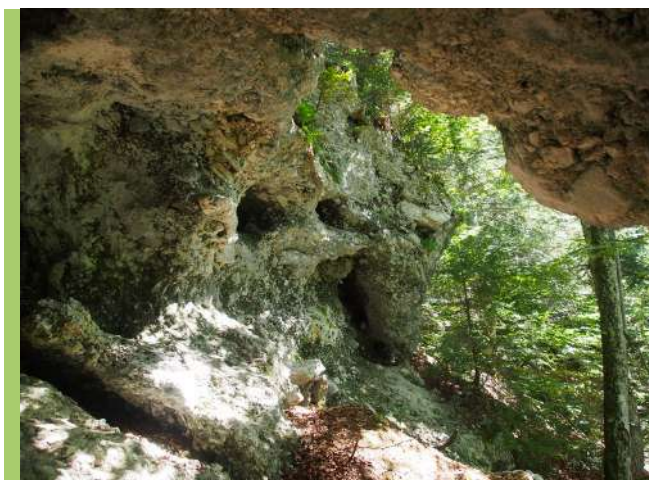
En milieu **karstique**, long et étroit couloir rocheux rectiligne qui a été agrandi par la dissolution du calcaire à partir d'une **faille** ou d'une **diacalse** d'origine tectonique.

Boréal

Subdivision climatique de l'**Holocène** entre -9000 et - 8000 ans BP, caractérisée par un climat frais et sec par rapport au climat actuel, mais qui marque une évolution nette vers un réchauffement par rapport aux périodes du **Dryas** auxquelles il succède. [\(retour Boréal\)](#)

Boutonnière d'érosion

Dépression topographique dans laquelle apparaît un niveau géologique sous-jacent. Une boutonnière d'érosion peut faire, par exemple, apparaître des terrains autochtones au sein d'une nappe de charriage ayant recouvert ces terrains. Ce cas de figure est présent dans certains secteurs des Alpes internes. Dans le cas de la Chartreuse, il peut s'agir plus simplement d'une strate recouverte par le niveau supérieur, qui affleure ponctuellement, entourée par des terrains plus récents. On peut l'observer au cœur du **val perché** de l'Alpe, le long du GR9, au lieu-dit Habert de Barraux. Les dalles calcaires blanches de l'urgonien apparaissent au fond du val, au milieu de la **lumachelle**, plus foncée et davantage recouverte de végétation (sur les illustrations ci-dessus, lire « lumachelle » plutôt que « **Sénonien** »).

Brèche de pente

Une brèche est une roche constituée par la consolidation de deux composants : des fragments rocheux anguleux, cimentés entre eux par une matrice. Dans le cas des brèches de pente, ou « brèches d'éboulis », qui couvrent certains versants des flancs de la réserve naturelle, les fragments sont issus de la **gélifraction** lors de périodes glaciaires favorables à ce processus. Ces fragments d'éboulis ont été cimentés entre eux ultérieurement, au cours des périodes plus clémentes, par de la **calcite** déposée par les eaux d'infiltration. Ces éboulis cimentés sont plus anciens que la dernière période glaciaire, ils auraient plus de 400 000 ans.

L'érosion de ces brèches de pente creuse parfois des abris-sous-roche, des petites cavités, qu'il ne faut pas confondre avec des cavités **karstiques**.



[\(retour brèche de pente\)](#)

### Calcaire



Les calcaires constituent une vaste famille de roches dures d'origine **sédimentaire**. Ils sont composés principalement de calcite. L'origine de la **calcite** peut être chimique, organique (débris d'animaux marins morts), ou construite, à partir des coraux par exemple. Des impuretés en quantité plus ou moins importante peuvent se mêler à la calcite (**argiles**, silice, hydrates de fer, etc.). Il existe une très grande variété de roches calcaires, selon leur contexte de sédimentation ou leur composition. Une caractéristique majeure des calcaires est la dissolution de la calcite au contact des eaux acides (eau de pluie, de fonte, d'infiltration). Le massif de la Chartreuse est riche de différentes variétés de roches calcaires. [\(retour calcaire\)](#)

Calcaires à crinoïdes

Un crinoïde, parfois nommé lys de mer (encrine), est un animal de l'embranchement des **Échinodermes**, constitué d'un calice muni de bras et maintenu au bout d'une tige composée d'articles (nommés « entroques » quand ils sont fossilisés). Cette tige est elle-même fixée sur le fond par une sorte de pied ou « racine ». À leur mort, les fragments de squelette s'accumulent, donnant les **calcaires à crinoïdes** ou calcaires à entroques, dont les articles en forme d'étoile sont reconnaissables dans la roche. Les calcaires à crinoïdes sont très répandus dans la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse. Dans l'histoire sédimentaire de la Chartreuse, il s'agit du dernier niveau stratigraphique de l'Aptien (environ 112 à 107 MA), succédant au niveau des calcaires **urgoniens**, avant une première phase d'émersion. Ce niveau est souvent nommé « **lumachelle** ». Il tapisse une grande partie du fond des **vals** (ou vaux) **perchés**, et, assez riche en **argile**, il est souvent favorable au développement d'un sol ensuite colonisé par la végétation typique des pâtures. [\(retour calcaires à crinoïdes\)](#)

Calcaires bicolores

Certaines formations **calcaires** ont la caractéristique remarquable de présenter deux couleurs différentes selon une limite très distincte. En Chartreuse et dans la réserve naturelle, c'est le cas des **calcaires du Fontanil** (d'âge **valanginien**) que l'on peut observer sur les pentes

basses des contreforts. La teinte de ces calcaires est rousse sur une épaisseur de quelques centimètres à quelques décimètres. Mais vers l'intérieur de la masse rocheuse, elle devient grise à bleutée, pouvant laisser penser qu'il s'agit d'une toute autre roche. Ceci s'explique par une teneur importante de ces calcaires en sels de fer, ceux-ci s'oxydant au contact des actions atmosphériques. La teinte rousse, progresse ainsi le long des fractures de la roche et peut atteindre plus ou moins profondément la masse rocheuse. La couleur bleutée d'origine est généralement préservée à une distance minimale de 10 cm de la fracture la plus proche (M. Gidon). Ce contraste de couleur est saisissant sur des blocs fraîchement éboulés dont la cassure est nette (notre photo au pied de la face nord du Granier).

### Calcaires du Fontanil



En Chartreuse, ces couches calcaires datant du **Valanginien** (Crétacé inférieur) constituent souvent un escarpement rocheux émergeant des pentes **marneuses** situées sous les hautes parois de calcaire **urgonien**. Ce niveau coïncide souvent avec la limite basse de la réserve naturelle. Son épaisseur est variable, si bien qu'il est parfois masqué par les **éboulis** ou le couvert végétal. Les bancs calcaires sont fréquemment séparés par des lits marno-calcaires. Dans l'est du massif de la Chartreuse, notamment dans la Grande Sure, il est beaucoup plus puissant et constitue même l'armature de certaines crêtes sommitales, alors que généralement, dans l'ensemble des massifs subalpins, ce sont les calcaires urgoniens qui jouent ce rôle.

## Calcite



*Exemple de dépôts de calcite dans une rivière d'une région calcaire, en aval de sources karstiques et formant des bassins naturels nommés gours.*

Minéral composé de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), principal constituant des roches **calcaires**. L'origine de la calcite peut être chimique, organique (débris d'animaux marins morts), ou construite, à partir des coraux par exemple. Elle peut se trouver sous forme pure, c'est notamment le cas dans les **grottes (stalactites, stalagmites...)** ou au niveau des sources **karstiques** (tuf calcaire). Cette roche reconstruite au contact étroit de l'eau courante, produit des microhabitats particuliers pouvant abriter des communautés végétales très spécifiques. [\(retour calcite\)](#)



### Calotte glaciaire



*Petite calotte glaciaire dans le massif du mont-Blanc*

**Glacier** recouvrant de vastes étendues sur de grandes épaisseurs et s'écoulant sur son pourtour, souvent sous forme de langues glaciaires. Le terme « inlandsis » est parfois utilisé. Les plus hauts sommets de Chartreuse ont été recouverts de petites calottes glaciaires à plusieurs reprises durant les périodes les plus froides de l'ère quaternaire. [\(retour calottes glaciaires\)](#)

### Campanien

Étage **stratigraphique** du **Crétacé supérieur** qui correspond, en Chartreuse, au dernier niveau sédimentaire déposé dans la mer alpine avant l'émergence des premiers reliefs. Ce niveau a été le premier à être soumis à l'érosion continentale, et pour cette raison il n'a été conservé qu'en de rares lieux dans les **massifs subalpins**. Des affleurements sont notoires sur la commune d'Entremont-le-Vieux, dans lesquels des restes de fossiles de **mosasaure** ont été découverts en 2015. Sur la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, ce niveau a également été préservé de l'érosion dans de rares secteurs (Alpette de Chapareillan, Alpette de la Dame), montrant des calcaires crayeux blancs caractéristiques et favorables aux pâturages.



[\(retour Campanien\)](#)

## Carbonate

Le carbonate est un minéral composé de l'ion carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Un des principaux minéraux de type carbonate présents dans les roches est le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), que l'on trouve sous forme de **calcite** (principal minéral du **calcaire**). [\(retour carbonate\)](#)

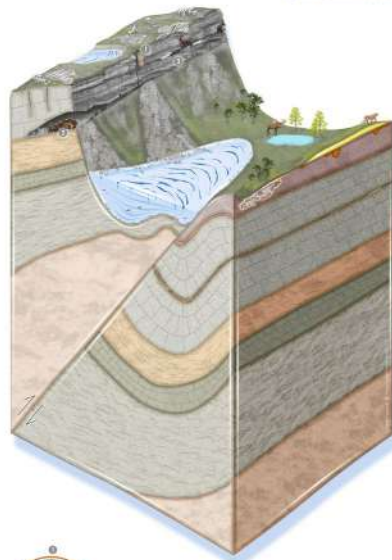
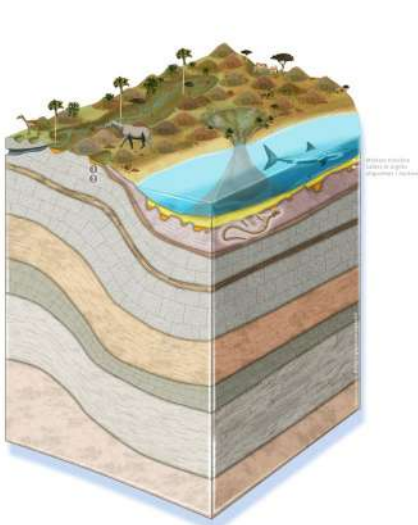
## Cénozoïque

Dernière ère géologique regroupant désormais les ères **tertiaire** et **Quaternaire** suite à de nombreuses discussions scientifiques. Le début du Cénozoïque commence vers  $-65 \text{ MA}$ , avec la disparition massive des reptiles géants et des **ammonites**. Le Cénozoïque est marqué par la mise en place des continents tels que nous les connaissons et de grandes chaînes de montagnes appartenant au « cycle alpin » et, en conséquence, le début de leur érosion. Durant le Cénozoïque, le climat a considérablement évolué, passant globalement d'un type tropical à un refroidissement prononcé et une succession de cycles glaciaires et interglaciaires. Le monde vivant est marqué par le développement et la diversification des mammifères, des oiseaux et des plantes, avec des apparitions, évolutions et disparitions d'espèces jusqu'à notre biodiversité historique.

~10 MA - Ère tertiaire - Miocène



~40 000 ans - Ère quaternaire - Néolith



[\(retour Cénozoïque\)](#)

### Chaos rocheux



Amoncellement de débris de roches pouvant avoir différents aspects et différentes origines. La réserve naturelle des Hauts de Chartreuse est riche de multiples chaos rocheux dont certains sont représentatifs de processus **géomorphologiques** remarquables. Les plus courants sont issus d'éboulements de parois rocheuses, avec parfois une influence de la neige ou de la glace dans les pentes réceptrices sur le déplacement et/ou la disposition des blocs éboulés lors de périodes plus froides. D'autres chaos peuvent être liés à la désagrégation sur place de strates rocheuses, par glissement dans la pente sur une couche d'**argile** ou par dissolution différentielle (chaos **karstique**). [\(retour chaos\)](#)

### Chevron



*Massif des Bauges, Arcalod.*

Au sein des reliefs sédimentaires plissés, les couches dures fortement redressées et disséquées par l'érosion tendent à faire apparaître, sur le flanc d'un pli, une suite de ravines (ou « ruz ») qui s'approfondissent dans des couches moins résistantes sous-jacentes. Entre ces ravines, les reliefs résiduels de la couche dure ont tendance à présenter des formes en chevrons. Le phénomène est plus ou moins net et régulier selon l'efficacité de l'**érosion différentielle**, le **pendage** des couches, le contraste de dureté, la présence ou non de cassures qui oblitèrent le processus.



*Chaîne des Aravis.*

Dans les massifs **subalpins**, un exemple exceptionnel de paysage en chevrons est présent sur le versant occidental de la chaîne des Aravis, entre la Pointe percée et le col des Aravis. Dans une moindre mesure, des formes en chevrons tendent à apparaître sur le flanc du synclinal de l'Aulp du Seuil. [\(retour chevrons\)](#)

### *Cirque (rocheux, glaciaire)*



*Cirque glaciaire dans le massif des Aiguilles-Rouges.*

À l'extrémité amont des vallées, les cirques désignent des sortes d'amphithéâtres plus ou moins circulaires, à fond plat ou plus ou moins incliné, parfois même dans le sens inverse de la pente. Ils sont dominés par des pentes sommitales très raides, voire verticales. Dans nos massifs, la grande majorité des cirques est d'origine **glaciaire**. Ils correspondent aux bassins d'alimentation d'anciens **glaciers**, dont l'accumulation a favorisé une érosion mécanique intense faisant reculer activement les parois rocheuses et approfondissant le fond. Ils se sont eux-mêmes probablement installés, à l'origine, dans des bassins de réception torrentiels qu'ils ont élargis.

En Chartreuse, l'approfondissement de certains grands cirques est également en partie lié au phénomène de reculée karstique, le travail de « sape » des **émergences** contribuant au recul progressif des parois du cirque. Le cirque de Saint-Même en est un bon exemple.



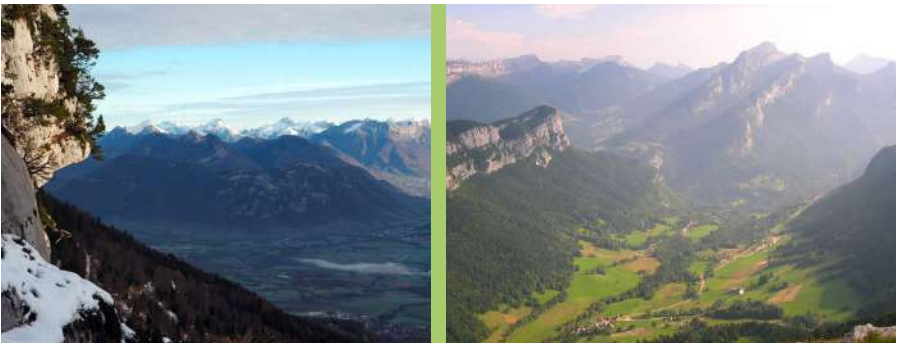
(retour cirques)

### Cluse

Vallée généralement étroite creusée transversalement aux structures géologiques plissées. C'est ainsi que les cluses recoupent parfois plusieurs fois les mêmes couches géologiques. En Chartreuse, les gorges du Guiers Vif et du Guiers Mort sont de remarquables exemples de cluses, offrant souvent des perspectives pittoresques au niveau des couches de roches dures, dont les routes s'affranchissent parfois par des tunnels. L'implantation des cours d'eau et des vallées creusées au mépris des lignes directrices de la structure de relief peut interroger.

Elle s'explique, soit :

- par la présence d'un cours d'eau avant la formation des reliefs, celui-ci ayant maintenu son cours malgré l'apparition progressive de ceux-ci : on parle d'*antécédence* ;
- par la présence de matériaux ayant remblayé le sommet des reliefs, dans lesquels le cours d'eau a pu installer son cours et s'enfoncer, transperçant ensuite indifféremment les reliefs : on parle de *surimposition*.



Vue sur une partie de la cluse de Chambéry séparant les massifs des Bauges (second plan) et de Chartreuse (premier plan) / Vallée de Corbel et cluse du Guiers Vif

En Chartreuse, comme dans l'ensemble des massifs **subalpins**, la présence de **failles** et le déversement général des reliefs de l'est vers l'ouest (soulèvement des structures plus

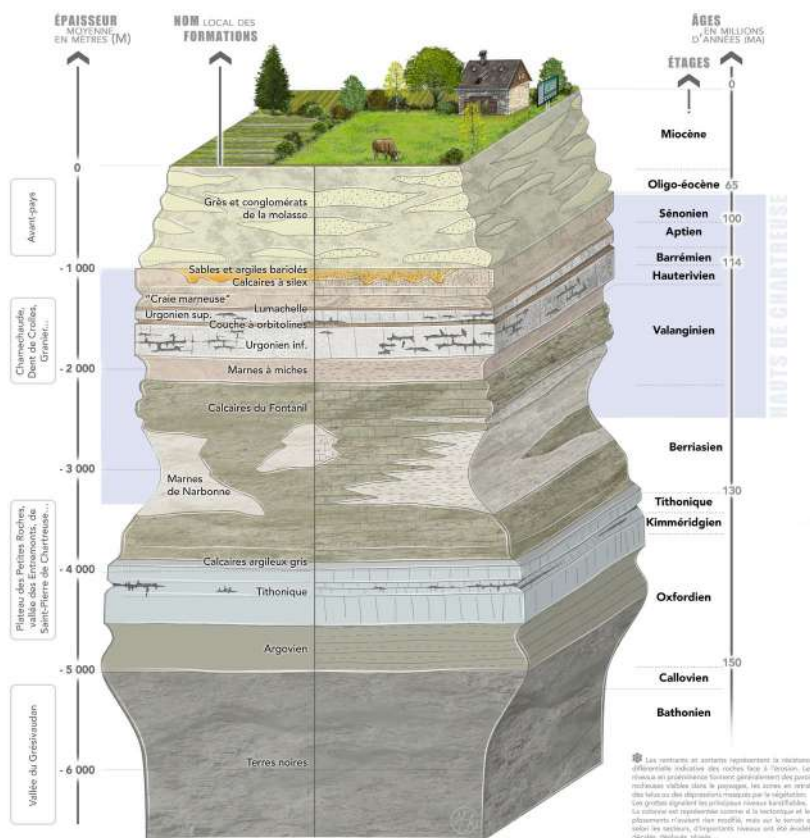
important à l'est), ont, au fur et à mesure de leur formation, naturellement orienté les écoulements dans cette direction. Ceci n'empêche pas les cours d'eau de recouper des structures géologiques dont le **pendage** naturel est parfois en sens inverse. [\(retour cluse\)](#)

### Colonne stratigraphique

Une colonne stratigraphique est un moyen schématique de représentation d'une partie de l'histoire géologique d'une région sédimentaire. Elle est basée sur une échelle des temps géologiques, en fonction de la superposition et des discontinuités observées sur le terrain entre les différentes strates. Elle permet de représenter l'ordre de succession des couches sédimentaires et leurs épaisseurs relatives, les éventuelles lacunes sédimentaires et variations latérales de faciès des roches. Certaines colonnes tentent aussi de représenter la résistance relative des bancs rocheux à l'érosion et leur visibilité dans le paysage, en les figurant de façon saillante ou rentrante.



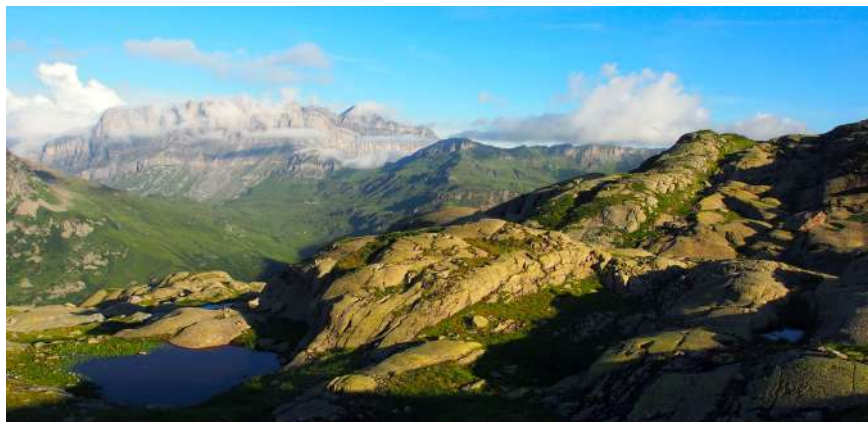
## Échelle stratigraphique générale de la CHARTREUSE



## Combe



Vallon ou vallée implantée aux dépens d'un plissement **anticlinal** (originellement point haut de la structure géologique). Lorsque les couches sommitales dures de l'anticlinal ont été éentrées par l'érosion – à la faveur de fractures d'extension à leur voûte –, des couches plus tendres sous-jacentes sont rapidement attaquées et permettent l'approfondissement rapide d'une combe. La grande « vallée » interne de la Chartreuse intérieure – d'Entremont-le-Vieux à Saint-Pierre-de-Chartreuse – peut être considérée comme une vaste combe, bien que les reliefs manquants correspondent à des structures plissées un peu plus complexes. [\(retour combe\)](#)

Compensation isostatique

*Les massifs cristallins externes (Aiguilles-Rouges, au premier plan) connaissent un soulèvement important et récent par isostasie, non sans conséquences sur leurs couvertures sédimentaires (Chaîne des Fiz, au second plan).*

Les chaînes de montagnes ont des racines profondes, liées à une grande masse de matériaux géologiques, superposés les uns sur les autres, forcés à s'enfoncer et se transformer dans les profondeurs par les chevauchements de plaques tectoniques. La densité moyenne des matériaux est plus importante en profondeur que vers la surface. Au fur et à mesure du temps et de l'érosion qui allège les reliefs, les racines de la chaîne remontent, sur le principe d'Archimède. C'est la **compensation isostatique**. Ceci a notamment pour conséquence de faire apparaître en surface des roches cristallines formées dans les profondeurs. Le soulèvement encore actuel des Alpes peut être lié à ce phénomène d'**isostasie**.

[\(retour compensation isostatique\)](#)

Cône de déjection



Le cône de déjection est une accumulation caractéristique de débris rocheux qui se forme au débouché d'un chenal torrentiel ou d'un couloir d'avalanche. Lors des crues, la puissance des eaux du torrent est concentrée dans une gorge étroite, ce qui permet de transporter une quantité importante de matériaux. Mais en arrivant sur un replat ou au débouché d'une gorge, les eaux se dispersent et leur puissance de transport diminue brusquement, obligeant à déposer les matériaux sur place, en éventail.

Le même phénomène peut se produire avec un **éboulement** concentré dans une gorge sans que l'eau soit l'agent de transport, mais seulement l'action gravitaire. Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, les quelques cônes de déjection observables se situent sur les versants de flancs, car il n'existe pas de torrents sur les vals perchés.

[\(retour cône de déjection\)](#)

### Corniche

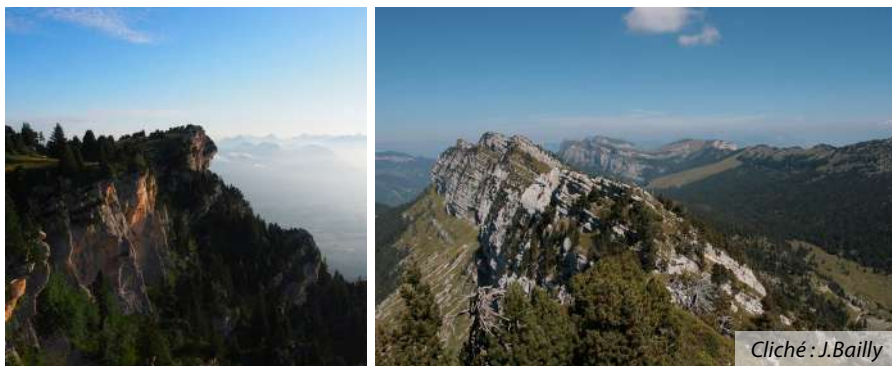


Escarpement formé par une couche rocheuse dure surmontant un talus en pente plus douce taillé dans une roche tendre. L'ensemble du site des Hauts de Chartreuse est ceinturé par une gigantesque corniche, rarement interrompue par des **failles** qui ont permis le passage de quelques sentiers entre les corniches. [\(retour corniches\)](#)

Couverture souple (plissement)

Deux exemples de plissement en couverture souple dans les massifs subalpins :  
plissement synclinal (Chartreuse) et plissement anticlinal (chaîne du Bargy, Bornes).

En géologie, désigne un ensemble de terrains sédimentaires aptes à se plisser de façon souple et harmonieuse, en réaction à des mouvements tectoniques cassants affectant les roches du **socle** sous-jacent. Un décollement se produit par la présence d'une couche très plastique (ou «couche savon») à la base de la série sédimentaire, au contact du socle. Les couvertures souples sont en général composées d'une alternance de bancs de roches dures, comme des **calcaires**, et des **marnes** plus plastiques. Celles-ci tendent à amortir les déformations tandis que les niveaux de **calcaires** durs enregistrent bien les torsion imprimées par la pression tectonique. Le massif de Chartreuse, en particulier dans sa partie orientale, présente de belles formes de plissement de couverture souple. [\(retour couverture souple\)](#)

Crêt

Dans les reliefs sédimentaires plissés, les crêtes représentent des sommets rocheux dissymétriques correspondant au flanc d'un **anticlinal** entaillé par l'érosion. D'un côté, le versant abrupt correspond au recouplement d'une ou plusieurs strates dont le recul est lié au développement d'une **combe** au sein d'un anticlinal. L'autre versant est incliné dans le sens du pendage des couches géologiques qui raccordent l'anticlinal au **synclinal**. Toutes les crêtes sommitales ceinturant les Hauts de Chartreuse sont des crêtes, reliquats de gigantesques anticlinaux attaqués très tôt par l'érosion, et dont la formation totale n'a peut-être jamais été achevée. [\(retour crêtes\)](#)

Crétacé supérieur

*Affleurement de calcaires du Crétacé supérieur sur les Hauts de Chartreuse.*

Le Crétacé est une période géologique du **Mésozoïque** qui s'étend de -145 à -66 MA. C'est, dans les Alpes et de nombreuses autres régions sédimentaires, une période de dépôt d'importantes couches de **calcaires**, de **marnes** et de craies, à la suite du Jurassique. Le Crétacé supérieur (- 100 MA à -66 MA) correspond aux derniers termes de cette très longue histoire sédimentaire. Des mouvements tectoniques expliquent des émergences continentales progressives et des régressions marines. Cela se manifeste par l'apparition de faciès de roches sédimentaires différentes (apparition de roches gréseuses, rampes favorables aux dépôts crayeux), ou de lacunes sédimentaires (périodes d'émergences temporaires) avant l'émergence définitive. ([retour Crétacé supérieur](#))

Crise messinienne

Le Messinien (de la ville de Messine, en Sicile) est un étage géologique daté de -7,5 MA à -5,3 MA, durant lequel le niveau de la mer Méditerranée s'est considérablement abaissé, de 1 500 à 2 500 mètres! Cette crise fut la conséquence de la fermeture du détroit de Gibraltar. Dans un contexte climatique chaud et sec, la conséquence fut l'évaporation d'une grande partie des eaux de la Méditerranée, laissant d'immenses étendues de couches de sel. Cet approfondissement du niveau de base de tous les affluents de la Méditerranée a eu une répercussion majeure sur l'érosion des bassins fluviaux concernés, jusqu'aux Alpes. Une incision fluviale généralisée s'est manifestée, conduisant notamment à l'accélération du creusement de gorges et de canyons, tels que ceux du Verdon, du Gard ou de l'Ardèche, dont une partie a été ensuite remblayée par des alluvions lorsque le niveau de base méditerranéen est revenu à la normale. Des réseaux **karstiques** se sont également réadaptés à cette période, amenant aujourd'hui de l'eau douce sous le niveau de la mer.

La remise en eau de la Méditerranée se serait produite très brutalement depuis l'océan Atlantique, grâce à des débits considérables au droit de Gibraltar.

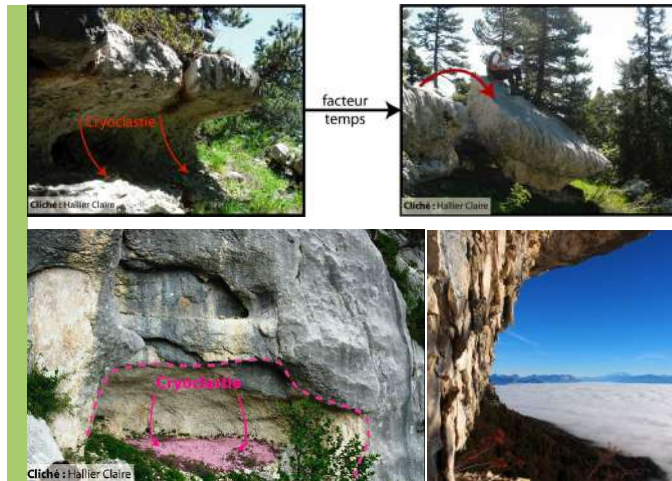


Cumulée aux surrections tectoniques alpines, cette période a eu sans nul doute un rôle de très forte accélération d'ouverture et d'approfondissement des vallées, et de dégagement de formes géologiques **structurales** en cours d'achèvement, jusque dans les Alpes du Nord. [\(retour crise messinienne\)](#)

### Cryoclastie



Terme synonyme de **gélifraction**: fragmentation d'une roche sous l'effet de l'alternance gel-dégel de l'eau contenue dans les fissures ou les pores de celle-ci. L'eau gelée prend près de 9 % de volume supplémentaire par rapport à l'état liquide, ce qui crée des tensions mécaniques considérables dans la roche. La cryoclastie est un phénomène d'érosion majeur en climat **périglacière**.



Le phénomène est, dans une moindre mesure, encore actif aujourd'hui, et à l'origine d'**éboulis** à blocs de tailles majoritairement pluricentimétriques au pied des parois rocheuses **calcaires** de la réserve naturelle.

### Cryptokarst

Surface **karstique** cachée évoluant sous une couverture meuble (sols pédologiques ou couvertures d'**altérites** rocheuses), au sein de laquelle des processus chimiques et biochimiques (racines des plantes...), contribuent à la karstification de cette surface. La surface karstique cachée peut absorber par soutirage des altérites de la couverture meuble, qui se retrouvent piégées dans des poches. Ces surfaces sont parfois exhumées (soulèvement tectonique, rupture climatique, érosion anthropique...), exposant alors à la surface des reliefs complexes.

Avant le dégageant des karsts alpins que nous connaissons aujourd'hui, les premières phases de karstification de l'ère **tertiaire** fonctionnaient de la sorte. Sous un épais sol végétal tropical, une action biochimique importante a produit des altérites qui se sont retrouvées piégées et ont été remaniées dans les cavités karstiques. Certaines de ces altérites ont ainsi été protégées de l'érosion extérieure, et nous fournissent le témoignage de ces très anciens épisodes en Chartreuse, notamment à l'ouest du massif (voir aussi **sables rouges** ou sables réfractaires des Échelles).



Bien plus récemment, durant l'Holocène, des lapiaz de formes arrondies visibles aujourd'hui en surface témoignent d'une évolution sous une couverture pédologique, qui pourrait dater de la période de l'Atlantique.

Datation absolue

Technique basée sur le principe de radiochronologie permettant de dater de façon certaine des éléments chimiques. Les éléments naturellement radioactifs des roches se transforment de façon régulière et connue. Le calcul de leur proportion permet donc de dater le début de cette transformation. Différents couples d'éléments chimiques sont utilisés en fonction des échelles de temps visées. La datation basée sur le carbone 14 est réservée aux éléments les plus récents, jusqu'à  $-75\,000$  ans. D'autres éléments chimiques permettent de remonter plus loin, mais avec une précision moindre : uranium/thorium ; uranium/plomb, etc. ([retour datation absolue](#))

Datation relative

Cette technique consiste à dater les différents événements et formations géologiques par l'observation de la succession géométrique des phénomènes (superpositions, recoupements, continuités et discontinuités) les uns par rapport aux autres, et en considérant les règles physiques universelles. Considérant l'évolution rapide de certains taxons au cours de l'histoire géologique (voir aussi **ammonites**), les fossiles constituent de bons repères de datation relative des formations sédimentaires à travers le monde. **Datations absolues** et datations relatives se complètent pour réajuster si besoin la chronologie. L'ensemble permet à la géologie une précision de plus en plus fine des différentes formations et de la mise en place des reliefs, à l'échelle mondiale ou régionale.



Cliché : H.Bourget

Exemple de tri de fossiles à but scientifique et regroupement  
par datation relative. [\(retour datation relative\)](#)

### Décompression des roches (ou détente)



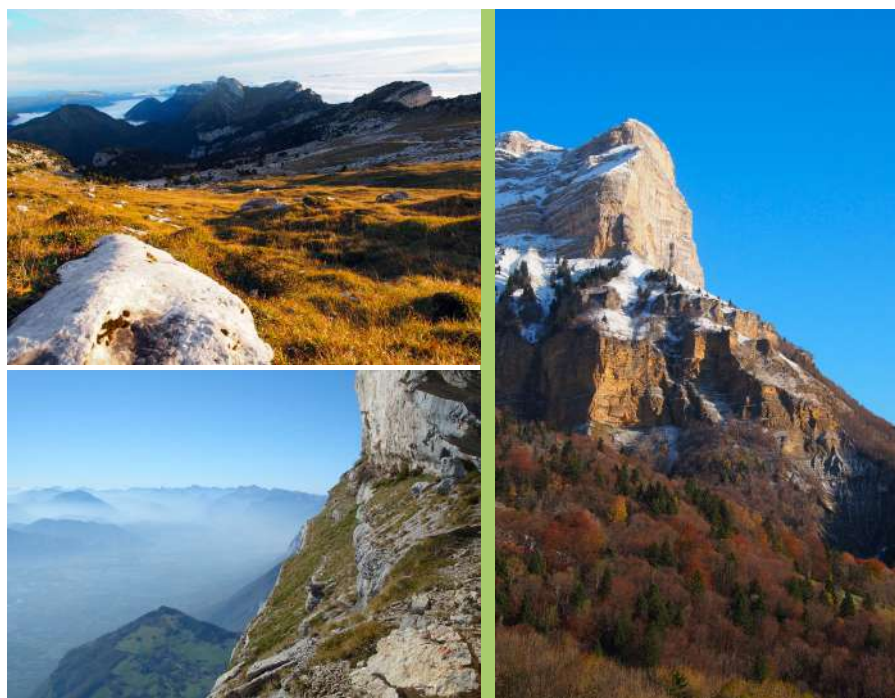
Cliché : S.Forêt

Réaction mécanique des roches faisant apparaître des fissures lorsque celles-ci sont libérées d'une masse contre laquelle elles étaient appuyées. Ce phénomène apparaît notamment dans un contexte de déglaciation, après que d'importantes masses **glaciaires** appuyées sur ou contre des parois rocheuses disparaissent. Ce phénomène, environ 18 000 ans après la fin de la dernière glaciation dans nos régions, est considéré comme encore actif aujourd'hui et contribuerait à expliquer certains **écroulements** en masse de parois rocheuses.

[\(retour décompression\)](#)

Délaissée glaciaire

Lors des reculs des glaciers, la délaissée **glaciaire** est la surface récemment abandonnée par la glace, et qui expose à la surface soit de la roche mise à nu et abrasée par celle-ci, soit des accumulations de débris rocheux de toutes tailles transportées par le **glacier (moraines de fond)**, ou encore des surcreusements remplis par les eaux de fonte glaciaire. La délaissée glaciaire est une zone vierge à coloniser pour la végétation. ([retour délaissée glaciaire](#))

Dent de Crolles (nom propre)

Deuxième sommet le plus haut en altitude du massif de la Chartreuse (2062 m) et point culminant de la réserve naturelle, à son extrémité sud. La Dent de Crolles, ceinturée de hautes parois **calcaires** est un des sommets et secteurs emblématiques de la réserve naturelle. Elle est notamment renommée par l'étendue de ses réseaux spéléologiques, de



parcours complexes et réservés aux spéléologues avertis. La Dent de Crolles concentre également des enjeux floristiques très importants pour la Chartreuse, avec plusieurs espèces d'**éboulis** spécifiques à la haute montagne calcaire en situation d'isolat. [\(retour Dent de Crolles\)](#)

### Dépression karstique



Correspond la plupart du temps au terme de « **doline** ». En forme de cuvette, d'entonnoir ou de cylindre, il s'agit d'un creux dans la topographie, de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, lié à la dissolution sur place du **calcaire** par l'eau qui disparaît dans le sous-sol. Certaines dépressions plus vastes se remplissant d'eau durant la fonte des neiges sont nommées « poljés ». [\(retour dépressions karstiques\)](#)

### Dépression périalpine



À l'avant d'une chaîne de montagnes, une dépression apparaît sous l'effet du poids qui déforme son **piémont** (ou **avant-pays**). L'empilement de couches géologiques et

l'épaississement des terrains au niveau de la chaîne impliquent une surcharge qui conduit les terrains immédiatement en avant à se flexurer. Durant la formation des Alpes, une vaste dépression périalpine s'est ainsi progressivement constituée durant le **Tertiaire**. Alors que la mer s'était retirée de nos régions au **Crétacé supérieur**, elle réapparaît à la faveur de ce vaste bassin, au pied occidental des **massifs subalpins** en cours de formation, occupant même les fonds de **synclinaux** jusque probablement dans la moitié occidentale du massif de la Chartreuse. Il s'y accumule des sédiments issus du démantèlement et de l'érosion de la chaîne en cours de formation. Ces sédiments gréseux correspondent à la « **molasse** » utilisée traditionnellement comme matériau de construction ou pour tailler des meules. [\(retour dépression périalpine\)](#)

### Détente des roches (ou décompression)



Réaction mécanique des roches faisant apparaître des fissures lorsque celles-ci sont libérées d'une masse contre laquelle elles étaient appuyées. Ce phénomène apparaît notamment dans un contexte de déglaciation, après que d'importantes masses **glaciaires** appuyées sur ou contre des parois rocheuses disparaissent. Ce phénomène, 18 000 ans après la fin de la dernière glaciation dans nos régions, est considéré comme encore actif aujourd'hui et expliquerait certains écroulements en masse de parois rocheuses. [\(retour détendent\)](#)

### Diaclase



Fissure ou fracture au sein d'une roche, sans qu'un compartiment de celle-ci soit déplacé par rapport à un autre. Une diaclase se différencie de ce fait d'une **faille**.

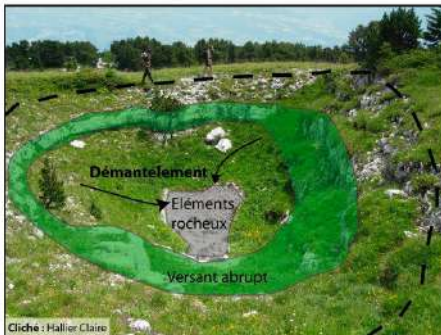
Le rôle des diaclases est important dans les paysages mais fréquemment mésestimé. Elles dirigent souvent les actions de l'érosion en constituant des **zones de faiblesse** à partir de laquelle celle-ci progresse.

### Difffluence glaciaire

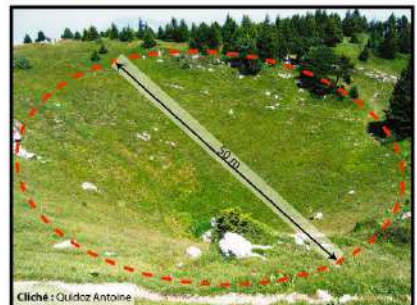


Division d'un **glacier** en branches distinctes lors de sa progression vers l'aval, due à la rencontre d'un relief. Lors des grandes glaciations du **Quaternaire**, l'immense glacier de l'Isère connaissait de nombreuses difffluences, notamment lorsque sa limite supérieure dépassait les altitudes de certains cols de Chartreuse. C'est ainsi que, par exemple, des difffluences glaciaires se sont propagées à l'intérieur de la Chartreuse, à partir du col du Granier ou du col du Coq. [\(retour diffluences\)](#)

### Doline



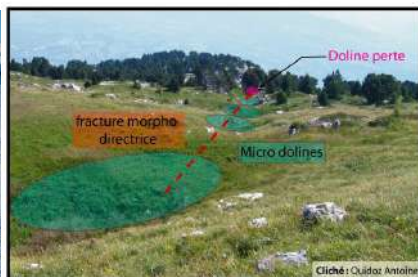
Doline en baquet évoluant vers une forme en entonnoir



Une doline en entonnoir remarquable

En région **karstique**, creux, dépression plurimétrique à décamétrique caractéristique,

formée dans les roches **calcaires** par dissolution et par évacuation du calcaire dissous. Plus rarement, certaines dolines sont formées par l'effondrement d'une galerie souterraine sous-jacente, provoquant un tassement du sol. Les dolines peuvent être formées dans la roche nue ou recouvertes par la végétation et le sol. Parfois leur fond est occupé par une perte qui recueille des eaux de surface vers des galeries souterraines. Sur les Hauts de Chartreuse, les dolines sont nombreuses et de formes variées. En altitude, certaines sont dissymétriques, du fait de l'orientation au soleil et la persistance de névés qui alimentent la dissolution jusqu'à tard dans la saison sur une seule paroi de la doline. Elles offrent des microhabitats



Un exemple de vallon sec aveugle développé sur fracture morphe directrice défoncée de micro dolines

important pour la diversité floristique et faunistique (entomofaune notamment). [\(retour dolines\)](#)

### Dryade à huit pétales



La dryade à huit pétales (*Dryas octopetala*) est une plante de la famille des Rosacées. Vivace, à racine pivotante, hermaphrodite, c'est un sous-arbrisseau nain et rampant se propageant facilement sur les substrats caillouteux de montagne ou de plaine en climat froid. Le nom de cette espèce est associé aux dernières oscillations froides du **Tardiglaciaire (Dryas)** après

la dernière glaciation du **Würm**, car ses pollens ont été retrouvés en abondance dans les niveaux **tourbeux** de ces périodes, démontrant sa forte capacité à coloniser les **délaissés glaciaires**. Aujourd'hui, elle est le symbole de l'Islande et on la rencontre sur les sols dénudés et froids de la réserve naturelle. [\(retour dryade à huit pétales\)](#)

### Dryas



Au sein de la période **Tardiglaciaire**, les épisodes nommés Dryas, au nombre de trois, correspondent aux dernières oscillations climatiques froides. Le nom est issu de la plante **dryade à huit pétales**, qui a été parmi les premiers végétaux en capacité de coloniser rapidement les **délaissés glaciaires** de cette période. [\(retour Dryas\)](#)

### Éboulement ou écoulement



Brusque descente d'une masse rocheuse le long d'un versant en pente forte. Les causes d'éboulements peuvent être diverses. La déstabilisation d'un pan entier de paroi

rocheuse par érosion régressive des couches sous-jacentes plus tendres peut être une explication dans les massifs sédimentaires. Mais l'écartement naturel de fissures liées à la **décompression des roches** en bordure de versant est également souvent un facteur important. Les éboulements du Granier, et en particulier celui de 1248, font partie de l'histoire naturelle et culturelle du massif. [\(retour éboulements\)](#)

### Éboulis, éboulisation



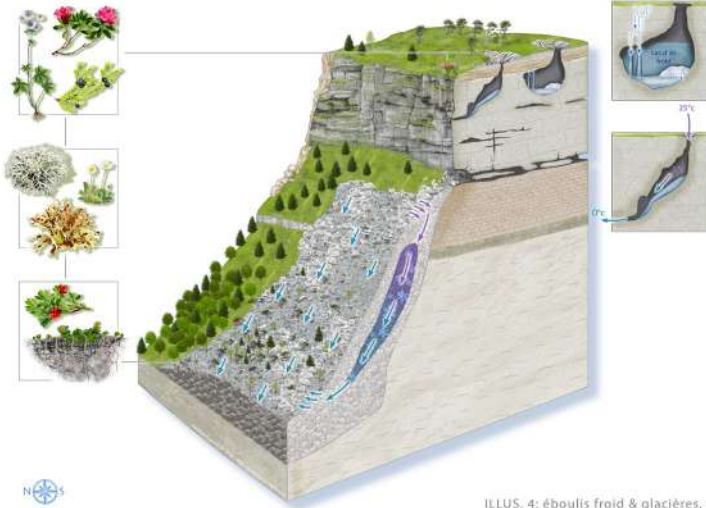
Éboulis de gneiss actif dans la réserve naturelle des Aiguilles Rouges



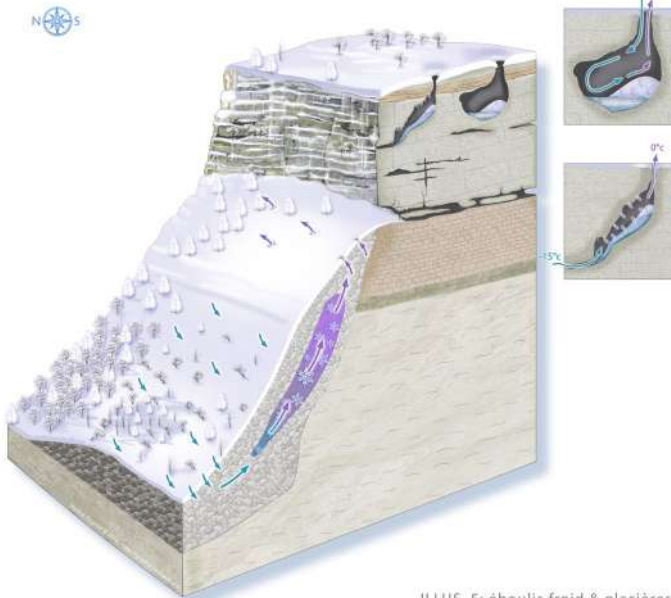
Nappe de débris rocheux anguleux couvrant un versant et mis en place par gravité (chute de débris depuis des parois rocheuses). Les éboulements peuvent être dits « **actifs** » s'ils sont alimentés régulièrement en nouveaux débris ou « **hérités** » s'ils correspondent à des conditions de mise en place qui n'ont plus cours aujourd'hui, comme l'arrêt ou la régression des processus de **gélifraction** par exemple. Dans le second cas, la végétation tend à les coloniser. Sur la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, les deux types d'éboulements existent. Les seconds recouvrent souvent, partiellement, de plus vastes éboulements anciens. [\(retour éboulements\)](#)

Éboulis froid

Les éboulis froids sont des amoncellements de blocs rocheux en conditions climatiques froides. La présence de glace interstitielle, ou tout du moins le froid hivernal emmagasiné au sein de l'éboulis, génère des circulations d'air en échange avec l'air extérieur et exhale de l'air très frais à sa base en été. Ces conditions particulières expliquent la présence de groupements végétaux originaux, généralement une flore arctico-alpine, à des altitudes exceptionnellement basses. Plusieurs éboulis froids bien connus et étudiés de près sont référencés sur la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse. Ils ont aussi un rôle de sentinelles par rapport au changement climatique (cirque de La Plagne, Saint-Même...).



ILLUS. 4: éboulis froid &amp; glaciers, été



ILLUS. 5: éboulis froid &amp; glaciers, hiver

[\(retour éboulis froids\)](#)

Echelle géologique

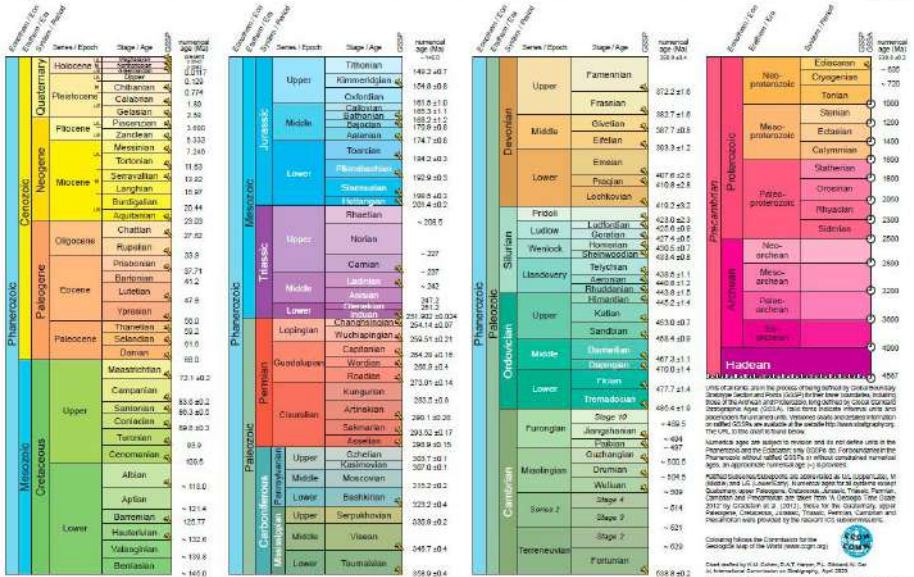


INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2023/04



Outil de classement chronologique permettant de dater et se repérer parmi les différents évènements géologiques de la terre. Une charte chronostratigraphique internationale fait l'objet de mises à jour régulières en fonction de l'avancée des connaissances et des éléments géologiques servant de référence dans la communauté scientifique.

Echinodermes



Oursin fossilisé en cours de dégagement par l'érosion.  
Attention, le prélèvement de fossiles est interdit dans la réserve naturelle !

Les Echinodermes constituent un embranchement d'animaux marins caractérisés par un squelette de plaques calcaires localisées sous la peau, un système de déplacement par des



pieds et une symétrie axiale d'ordre 5. L'embranchement des échinodermes actuels comporte cinq classes: les oursins, les étoiles de mer, les ophiures, les crinoïdes (lys de mer) et les holothuries (concombres de mer). De nombreux échinodermes se sont retrouvés fossilisés dans les couches sédimentaires de Chartreuse.

### Émergence (karstique)



En région **karstique**, désigne le point d'apparition à la surface des eaux souterraines qui drainent un massif karstique. (Voir aussi **exsurgence**) Au sein de la réserve naturelle, les sources du Guiers Mort, du Guiers Vif, ou encore du Cernon, sont des émergences karstiques, mais on peut aussi parler d'exsurgences, ce qui est plus précis.

### Encrines

Organisme de l'embranchement des échinodermes, que l'on rencontre à l'état de **fossiles** et que l'on nomme parfois lys de mer. Les encrines étaient fixés au fond de la mer par une longue tige, composées d'articles rappelant l'empilement de vertèbres d'une colonne vertébrale. Sur les Hauts de Chartreuse, des calcaires « à encrines », riche en articles plus ou moins bien conservés, sont observables en particulier dans les zones d'alpage (voir aussi « calcaires à crinoïdes »).

### Érosion différentielle

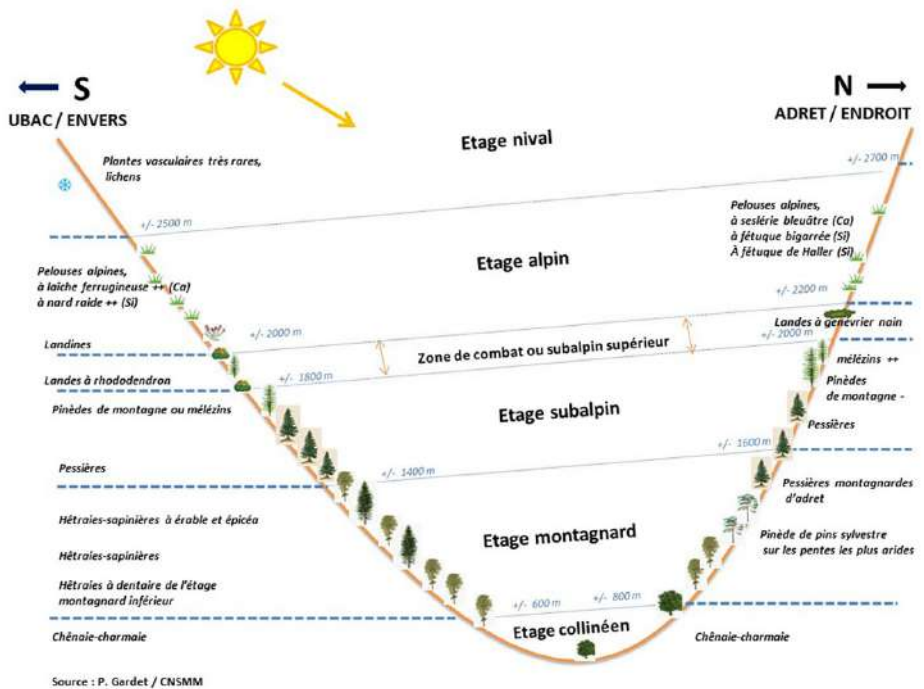
Phénomène essentiel en **géomorphologie**, lié aux différences de résistance des roches face à des forces d'érosion identiques. Il en résulte des irrégularités, des mises en relief relatives des roches les plus résistantes. Ce phénomène agit à toutes les échelles, d'un bloc au paysage. Au-delà de la simple différence de résistance, il peut s'agir également d'une différence de comportement face à un même facteur dans des conditions climatiques données. Par exemple, le granite est insensible à la dissolution par l'eau dans un contexte climatique froid, contrairement au **calcaire**.



Les deux roches peuvent en revanche se comporter de façon identique face à la **gélifraction**. Sur les Hauts de Chartreuse, le contraste de résistance entre les différentes strates calcaires et **marneuses** est un facteur d'érosion différentielle très important à l'origine de nombreuses formes d'érosion remarquables. ([retour érosion différentielle](#))

### Étage de végétation

Ceinture de végétation généralement observable dans le paysage, qui se distingue sur les versants montagneux en fonction de l'altitude. Chaque étage correspond à des conditions bioclimatiques relativement homogènes se traduisant par un type de végétation associée, malgré quelques nuances dans le détail. En Chartreuse, l'**étage montagnard** se situe entre 900 et 1 400 mètres environ, il est communément caractérisé par la hêtraie-sapinière. Entre 1 400 et 1 900 mètres environ, l'**étage subalpin** est dominé par les conifères : les peuplements d'épicéas dans le subalpin inférieur, le pin à crochets dans le subalpin supérieur. Au-delà de la limite naturelle des arbres, l'**étage alpin** est à peine développé sur les plus hauts sommets du massif.



(retour étage de végétation subalpin)

### Exsurgence (karstique)



En région **karstique**, désigne le point d'apparition en surface d'un cours d'eau souterrain, les eaux s'étant rassemblées préalablement dans le réseau souterrain. Toutes les sources karstiques de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse (Guiers mort, Guiers vif, Cernon...) sont des exsurgences karstiques et non des résurgences. (retour exurgence)

Faciès (d'une roche)

Le faciès d'une roche sédimentaire désigne l'ensemble des éléments qui peuvent la caractériser précisément (âge, nature notamment). Ce terme est généralement lié au contexte de leur formation. Des roches sédimentaires du même âge et observables dans un même massif peuvent par exemple présenter des faciès très différents si elles ont été mises en place dans des conditions paléogéographiques différentes. On parle alors de **variation latérale de faciès**.

Dans les roches sédimentaires des Hauts de Chartreuse, on note par exemple une variation importante dans les roches d'âge **valanginien**, qui passent d'un faciès **calcaire** à **marneux** sur de faibles distances. [\(retour faciès\)](#)

Faille

Fracture affectant les roches massives avec un déplacement des deux compartiments rocheux coulissant le long d'une surface. Il existe des failles de toutes dimensions. Le rejet de la faille est l'importance du décalage créé par celle-ci entre les deux compartiments rocheux. L'érosion peut parfois dégager une partie du plan de coulissement de la faille et on peut alors observer cette surface plus ou moins préservée : on parle de **miroir de faille**. Bien souvent, les escarpements liés aux failles ne matérialisent pas exactement le plan de coulissement, car celui-ci a pu évoluer de différentes manières par le jeu de l'**érosion différentielle**, et l'escarpement a évolué : il s'agit alors d'un **escarpement de ligne de faille**.



Il existe plusieurs types de failles. Les plus remarquables au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse sont les failles de décrochement, qui ont décalé différents compartiments du **synclinal perché** de la réserve naturelle dans un déplacement latéral davantage que vertical, le long de plans verticaux ou obliques. Ces failles de décrochement expliquent le compartimentage de la réserve naturelle en secteurs topographiques bien individualisés et le dégagement de superbes miroirs de faille. [\(retour faille\)](#)

### Falaise



*Une véritable falaise...  
dans le Finistère!*

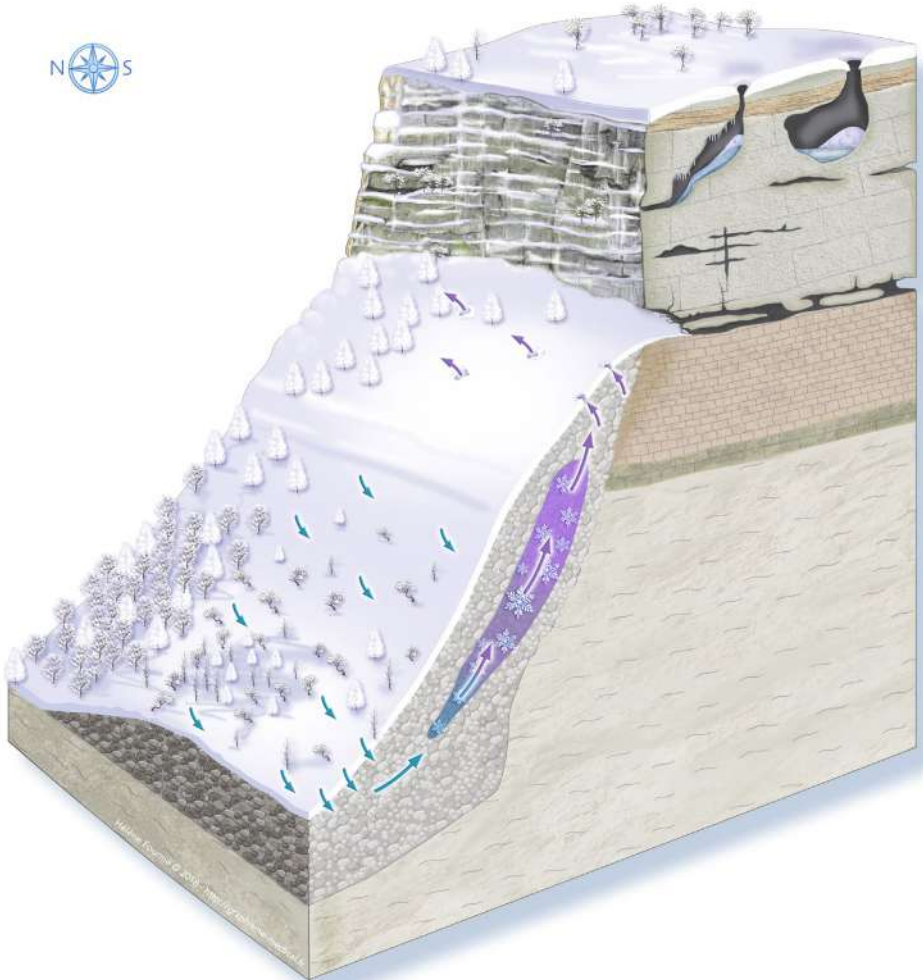
Le terme falaise est couramment employé, mais de façon souvent impropre, pour désigner toute paroi rocheuse naturelle verticale observable dans le paysage. En **géomorphologie**, le terme, lorsqu'il est utilisé au sens strict, est à réserver aux escarpements rocheux situés dans les régions littorales marines ou lacustres et qui évoluent ou ont évolué sous l'action du sapement des vagues.

Farine glaciaire

*Lac d'origine glaciaire chargé de farine glaciaire qui lui donne sa couleur caractéristique.*

*Massif du Mont-Blanc, Val d'Aoste.*

La farine **glaciaire** est le résultat du broyage de roches par abrasion mécanique, jusqu'à produire une fine poudre. Au niveau des **glaciers**, elle est peu visible car localisée principalement sous leur semelle. À leur fonte, la farine glaciaire est facilement prise en charge par les eaux de fonte. Elle sert d'abrasif aux torrents **périglaciaires** qui façonnent gorges et **marmites de géant**. Dans les creux ou les bassins de sédimentation, elles se décantent lentement et participent au colmatage, voire à l'imperméabilisation à l'origine de certains lacs en région **karstique** (nombreux lacs du Jura par exemple). Dans les réseaux souterrains parcourus par des eaux de fonte glaciaire, elles peuvent également participer à colmater certaines galeries engorgées qui peinent à évacuer les eaux. [\(retour farines glaciaires\)](#)

Fenêtre de fonte

Dans les éboulis froids, en plein hiver, un courant d'air ascendant à température positive sort au sommet de l'**éboulis** par un effet de cheminée. Lorsque le phénomène est suffisamment puissant et régulier, il fait fondre la neige recouvrant l'éboulis aux principaux points de sortie de l'air, générant des fenêtres de fonte. [\(retour fenêtre de fonte\)](#)

*Fistuleuse*

Aussi nommées macaronis, les fistuleuses sont des concrétions de **calcite** translucides en forme de tube creux. Elles se forment à la verticale, au débouché d'une fissure au plafond d'une **grotte**. Les gouttes d'eau qui débouchent lentement de la fissure déposent progressivement de la calcite sur leur pourtour, formant petit à petit un tube dans lequel les suivantes progressent et poursuivent le processus. L'aspect translucide perdure tant que les gouttes d'eau sont pures et ne contiennent pas d'**argile**. Quelques cavités de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse abritent des fistuleuses. Il s'agit de formes récentes de concrétionnement. Ces formations sont extrêmement fragiles et doivent faire l'objet de la plus grande précaution. [\(retour fistuleuses\)](#)

*Fjell*

*Paysages de fjell dans les Alpes cristallines externes, sur des roches résistantes et imperméables.*

Mot d'origine norvégienne qui désigne un plateau de roches compactes portant les marques d'une intense abrasion **glaciaire**. Les fjells montrent une topographie caractéristique faite de roches arrondies ou « moutonnées » (ou « dos de baleine »), alternant avec des creux souvent occupés par de l'eau stagnante sur des roches imperméables. Ce genre de paysage remarquable est observable dans les Alpes cristallines externes et internes. Dans les massifs composés de **calcaires** massifs, soumis à une érosion **glaciaire** comparable, les paysages sont très différents et également très typés, présentant notamment des successions de



**banquettes glacio-karstiques.** Ces réactions différentes des roches aux processus d'érosion glaciaires récents contribuent à la variété des **géopatrimoines** et à la biodiversité dans une chaîne de montagnes telle que les Alpes.



### Foraminifères



Embranchement du règne animal composé d'organismes unicellulaires protégés par des coquilles fines (test) souvent **calcaires** et généralement formées de plusieurs loges. Ils vivent pour la plupart dans les mers, de préférence dans des eaux chaudes et claires. Les **orbitolines**, les globigérines ou encore les nummulites ont pu pulluler durant certaines périodes de l'ère secondaire et l'accumulation de leurs tests a contribué à la formation de couches de roches calcaires.

Forme structurale

En **géomorphologie**, désigne une forme de relief très fortement influencée par la structure tectonique initiale. Dans les massifs sédimentaires où alternent roches dures et roches tendres, l'érosion tend à buter sur les roches dures et à en détourner la géométrie (inclinaison des strates, plissement). La surface des couches dures guide donc souvent le travail de l'érosion qui les dégage plus ou moins parfaitement, on parle alors de surface structurale. Cependant, ce dégagement n'est jamais parfait ou totalement abouti. Les **vals** (ou vaux) perchés des Hauts de Chartreuse, par exemple, sont de très belles formes structurales, guidées par le plissement **synclinal** initial. À une autre échelle, les dalles de **calcaire** inclinées observables dans la réserve naturelle sont souvent des surfaces structurales dégagées à partir de **joints de strates**, leur pente correspond en général au **pendage** tectonique de ces couches. [\(retour formes structurales\)](#)

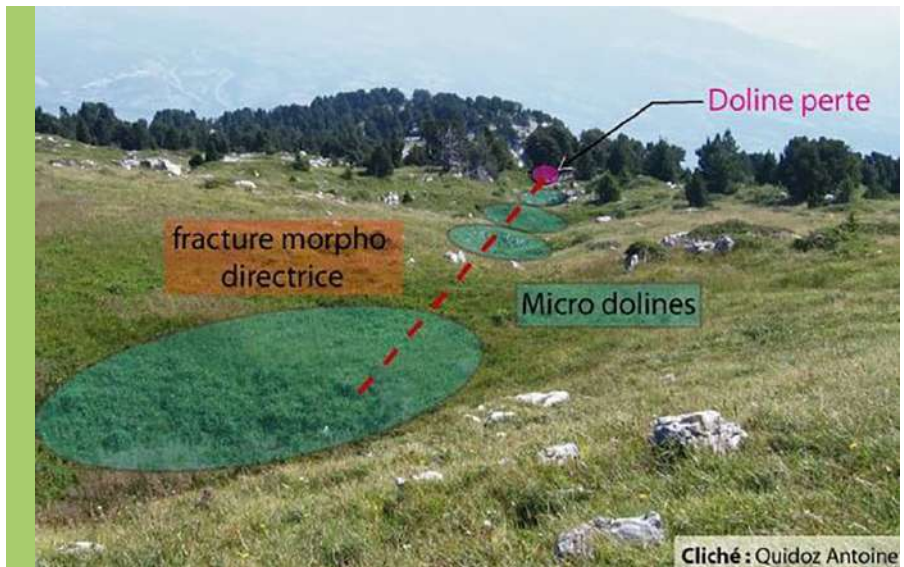
Fossile

(Gauche) : fossile d'oursin en cours de dégagement par l'érosion  
(Droite) : vertèbre de mosasaure découverte en 2015 en Chartreuse.

Reste, trace ou moulage naturel d'organisme végétal ou animal conservé dans des sédiments. Les fossiles les plus fréquents sont les mollusques. Ceci s'explique par le fait qu'ils étaient nombreux dans les milieux marins et pourvus d'une coquille **calcaire** apte à se conserver dans une roche englobante de même nature formée par la suite, tandis que les tissus organiques disparaissaient rapidement. Les calcaires nommés « **lumachelle** », que l'on trouve sur les alpages de la réserve naturelle, sont presque exclusivement composés de coquilles et/ou de débris de coquilles fossilisées. D'autres fossiles sont particulièrement rares, comme, les vertèbres fossilisées de **mosasaure** découvertes en 2015 en Chartreuse dans une couche de craies du **Campanien (Crétacé supérieur)** par Frédéric Dumont.

(retour fossile)

### Fracture morpho-directrice (tectonique)



Cliché : Quidoz Antoine

**Faïlle** ou diaclase ayant un rôle déterminant dans le développement de formes d'érosion qui prennent initialement appui sur ces **zones de faiblesse**. Ces fractures tectoniques, parfois masquées par la végétation, peuvent ainsi être révélées dans le paysage par des alignements réguliers de certaines formes d'érosion (en région **karstique** : **dolines**, couloirs ou **bogaz**, etc.). D'une façon générale, de nombreux talwegs et emplacements de vallées sont également liés à des fractures qui tendent à concentrer le travail de l'eau, ou encore à orienter des mouvements tectoniques ultérieurs.

## Gélifraction, gélifractions



Terme synonyme de **cryoclastie**: fragmentation d'une roche sous l'effet de l'alternance gel-dégel de l'eau contenue dans les fissures ou les pores de celle-ci. L'eau gelée prend près de 9 % de volume supplémentaire par rapport à l'état liquide, ce qui crée des tensions mécaniques considérables dans la roche. La gélifraction est un phénomène d'érosion majeur en climat **périglacière**.



facteur  
temps →



Le phénomène est, dans une moindre mesure, encore actif aujourd'hui, et à l'origine d'éboulis à blocs de tailles majoritairement pluricentimétriques au pied des parois rocheuses calcaires de la réserve naturelle. [\(retour gélifraction\)](#)

### Gélinotte des bois

La gélinotte des bois (*Bonasa bonasia*) ou poule des coudriers (noisetiers) est une espèce de gallinacé typique de forêts mixtes riches en sous-bois de feuillus des régions tempérées. Cette espèce emblématique de nos régions est en fort déclin depuis une cinquantaine d'années. La réserve naturelle des Hauts de Chartreuse propose encore des habitats forestiers favorables à l'espèce. Son exigence en matière d'habitats et la vulnérabilité de ses nichées au sol, notamment vis-à-vis des chiens, en fait une espèce très sensible. Sa préservation, justifie à elle seule l'interdiction des chiens dans la réserve naturelle.



### Gélive, gélif



Qualificatif désignant la sensibilité d'une roche ou de tout matériau à la fracturation par le jeu de la **gélifraction**. [\(retour gélives\)](#)

### Genévrier

Arbrisseau épineux, représenté par différentes espèces. En Chartreuse, ce sont principalement le genévrier commun (*Juniperus communis*) et plus particulièrement, sur les Hauts de Chartreuse, sa sous-espèce, le genévrier nain (*Juniperus communis ssp. nana*) ou genévrier de Sibérie, que l'on rencontre. Le genévrier nain est adapté à des conditions écologiques très difficiles : sécheresse du sol, froid. Bien qu'il ne dépende pas d'un sol calcaire pour s'installer, il s'en accommode très bien. Le genévrier est typiquement une espèce pionnière, il forme des landes sur les crêtes peu enneigées, souvent soumises au vent. Lorsque l'enneigement est, au contraire, persistant, ce sont les landes à rhododendron qui tendent à prendre le dessus. Le genévrier a été une des premières espèces végétales à coloniser les sols vierges de la réserve naturelle après la dernière glaciation.



## Géomorphologie



Dans des massifs géographiquement proches comme les massifs préalpins et les massifs cristallins externes, la géomorphologie et les habitats naturels en conséquence sont très contrastés. Discipline scientifique rattachée, en France, à la géographie. Elle a pour but de décrire et analyser les formes du relief terrestre et leurs évolutions. On distingue souvent la géomorphologie structurale, qui décrit la mise en place initiale des reliefs, et la géomorphologie dynamique ou climatique, qui décrit l'évolution de ce relief en différents modelés. Cette distinction reste conceptuelle car dans la réalité, la structure se forme sur de très longues périodes tectoniques, durant lesquels les climats et les modelés évoluent, ce dont il faut tenir compte dans toute analyse explicative des reliefs. En Chartreuse, la géomorphologie est à la fois variée, spectaculaire et complexe ! Depuis que des personnes s'intéressent à la compréhension des paysages, des reliefs et de leurs évolutions, bien des hypothèses ont été émises, générant de nombreux débats. Les fameux reliefs « inversés » des Hauts de Chartreuse, notamment, ont fait l'objet dans le passé de différentes explications, parfois très éloignées les unes des autres... [\(retour géomorphologie\)](#)

## Géopatrimoine

Le géopatrimoine (équivalent de geoheritage en anglais) correspond à des faits géologiques qui ont des importances globales (mondiales, nationales ou locales) et des sites géologiques qui représentent des phénomènes (volcanisme, ségrégation magmatique, métamorphisme, altération, sédimentation...) et/ou qui témoignent de l'histoire de la Terre (paléontologie, tectonique globale, climat, niveau marin, etc.). Il concerne des objets de toutes tailles (du paysage à la taille du minéral) qui sont intrinsèquement (par leur valeur propre) ou extrinsèquement (par le regard que l'on porte sur eux, c'est-à-dire culturellement) importants. La réserve naturelle des Hauts de Chartreuse comporte des sites d'une valeur géopatrimoniale très importante (écroulement historique du mont Granier, réseaux souterrains, fossiles, formes de plissement, lapiaz, etc.).



## Glaciaire



*Reliefs typiques d'une action glaciaire, dans un massif de roches cristallines massives*  
 Qualificatif désignant toute forme ou processus liés à l'action des glaciers. À ne pas confondre avec le terme « glacière » qui désigne, en géographie, une cavité contenant de la glace naturelle. [\(retour glacières\)](#)

Glacier

*Glaciers des massifs de la Vanoise (gauche) et du Mont-Blanc (droite)*

Masse de glace issue de la transformation progressive de la neige qui, dans un contexte climatique suffisamment froid, ne fond pas en totalité chaque année et s'écoule lentement par gravité et déformation plastique le long de la pente. Plusieurs types de glaciers existent selon leur taille et le contexte topographique dans lequel ils évoluent.

Si la même glace annuelle progresse toujours d'amont vers l'aval avant de fondre en arrivant à l'extrémité basse du glacier, le front du glacier, lui, peut avancer ou reculer en fonction de l'équilibre glaciaire. L'équilibre glaciaire s'ajuste en fonction des quantités de neige transformées en glace dans les zones d'alimentation en amont et de la quantité de glace qui fond en aval du glacier (bilan glaciaire). Sur les Hauts de Chartreuse, des glaciers ont occupé les vallons durant les périodes froides du **Quaternaire**, alimentant durant les périodes les plus froides des glaciers de vallée plus importants. Les derniers glaciers se sont retirés du site probablement vers -18 000 ans. [\(retour glaciers\)](#)



Glacier « chaud »*Glacier de l'Épéna, Vanoise*

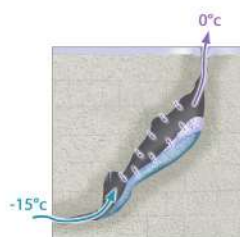
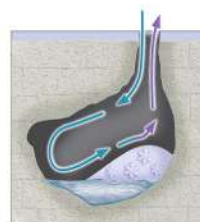
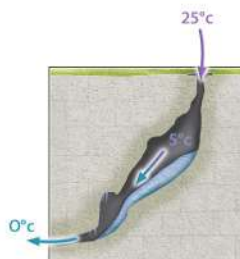
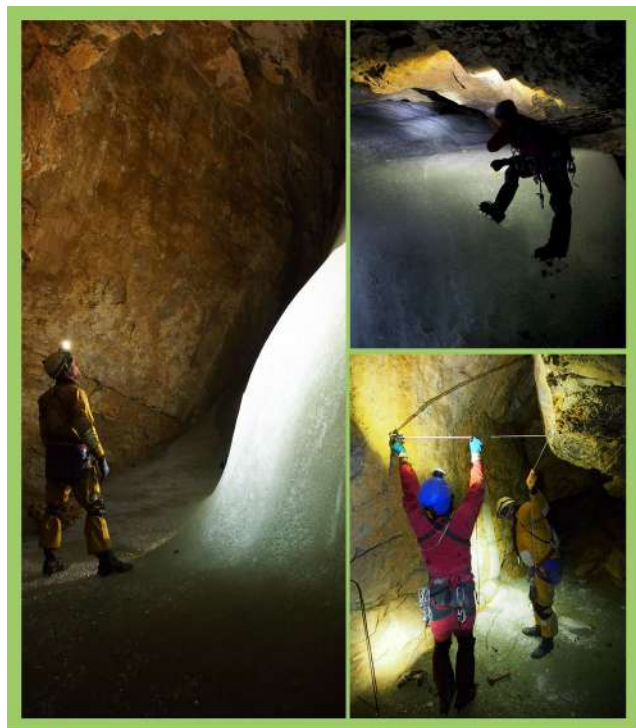
Type de **glacier** situé généralement dans les montagnes des régions tempérées, dont la température basale – au contact avec la roche – est légèrement supérieure à 0 °C. Ceci implique la présence d'un film d'eau de fusion, qui a un rôle important dans la progression de la glace vers l'aval et l'avancée du glacier. Son mouvement est plus rapide que celui d'un glacier « froid ». [\(retour glaciers chauds\)](#)

Glacier de l'Isère (nom propre)

*En situation anticyclonique hivernale, les mers de nuage occupant fréquemment la vallée de Grésivaudan, évoquent ce que devait être l'étendue glaciaire de la vallée de l'Isère durant les périodes pléniglaciaires.*

Le **glacier** de l'Isère est un ancien et vaste glacier des Alpes. Il a existé durant les différentes périodes glaciaires du **Quaternaire** et a laissé de nombreuses marques dans les paysages actuels. Plusieurs grandes vallées des Alpes du Nord ont été empruntées par ce glacier et ont été profondément surcreusées, jusque sous le niveau de la mer, avant d'être remblayées. Aux différentes phases de retrait du glacier, d'immenses lacs ont été comblés, notamment celui du **Grésivaudan**. Le lac du Bourget fait partie des reliquats de cette période. D'importantes moraines sont également encore bien visibles, comme dans les alentours de Voiron. En Chartreuse intérieure, le glacier de l'Isère a débordé par des **difffluences glaciaires** au niveau de certains cols (col du Granier, col du Coq). [\(retour glacier de l'Isère\)](#)

## Glacière



Variation du niveau de la glace - Gouffre du Grand Glacier (Chapareillan, Isère)



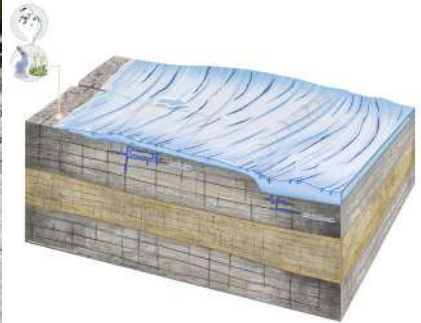
Avant 1985

1<sup>er</sup> septembre 2008

17 mai 2017

**Grotte** ou **gouffre** abritant de la glace naturelle. La glace peut avoir deux origines : soit de la neige accumulée se transformant progressivement en glace (glacière dynamique), soit du regel de l'eau de fonte de surface infiltrée dans des cavités froides agissant comme des congélateurs (glacière statique). Des types mixtes existent. Sur les Hauts de Chartreuse, plusieurs glaciers sont répertoriés, deux d'entre elles font l'objet d'un suivi rapproché pour comprendre l'impact du changement climatique sur leur fonctionnement. Malheureusement, il est constaté une perte très importante de volume des glaces ces dernières années. ([retour glaciers](#))

### Glacio-karstique



Qualificatif attribué aux formes de relief en région **calcaire** combinant les effets des processus de l'érosion **glaciaire** et de la **karstification**. Ces effets ont pu se succéder dans le temps ou être intimement combinés et simultanés selon les cas. [\(retour glacio-karstiques\)](#)

### Glissement sur strate



Lorsqu'une succession de strates sédimentaires a été inclinée par la tectonique, et qu'en aval des pentes aucun contre-relief ne peut les retenir, des glissements peuvent se manifester, favorisés par les joints **argileux** imbibés d'eau. Ces glissements, plus ou moins rapides, ont pour conséquence de disloquer la strate en glissement. Un chaos de blocs se crée alors en aval et une niche de départ s'ouvre en amont.

Gouffre

Dans les régions **calcaires**, orifice abrupt s'ouvrant sur une cavité profonde créée soit par dissolution, soit par effondrement de la voûte des galeries souterraines. Certains orifices **karstiques** sont de simples « puits à neige », dont l'eau de fonte gagne le milieu souterrain, mais qui ne permet pas le passage de l'Homme. Sur les Hauts de Chartreuse, les gouffres et puits à neige se dénombrent par centaines, les plus importants et les plus intéressants du point de vue de l'exploration **spéléologique** sont recensés et numérotés. En Dauphiné, le terme local « scialet » est souvent utilisé, tandis qu'en Savoie, c'est souvent le terme « tanne » ou « danne » qui les désigne. [\(retour gouffres\)](#)

### Gouttière synclinale

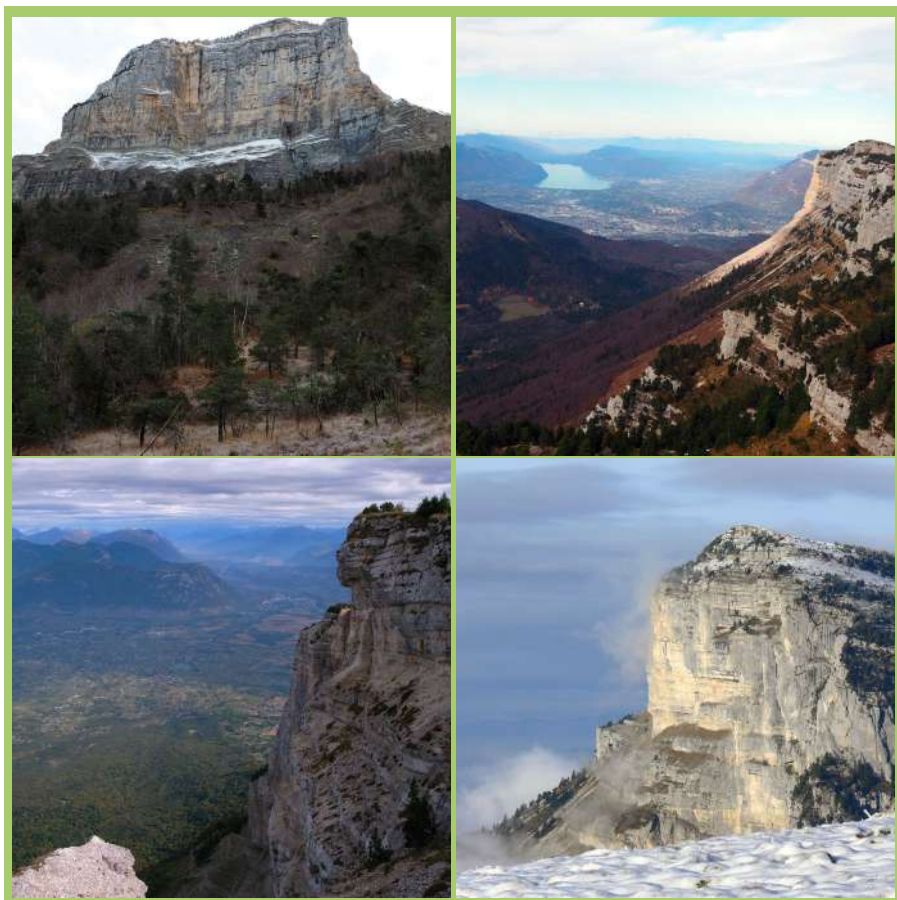


Ce terme est utilisé pour décrire une structure plissée en creux (**synclinal**) dont la structure géologique générale est inclinée vers un fond de vallée, collectant tous les écoulements de surface ou souterrains à l'intérieur des couches **calcaires** vers le fond de la structure synclinale. L'Aulp du Seuil, la Dent de Crolles, ou encore le système Alpe/Alpette fonctionnent comme de parfaites gouttières synclinales. [\(retour gouttière synclinale\)](#)

### Granier (mont)



Sommet et secteur situé à l'extrémité nord de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, culminant à 1 934 mètres d'altitude. Le mont Granier correspond à un bloc décalé et surélevé du reste du **val perché** des Hauts de Chartreuse par une faille, matérialisée en partie au lieu-dit du Pas des Barres. Contrairement aux autres compartiments de la réserve naturelle, le Granier a perdu son volet **synclinal** oriental. Il abrite de très vastes réseaux souterrains étagés, et présente un taux de cavernement parmi les plus importants du monde (F. Hobléa, 2010). Le Granier a également été rendu célèbre en 1988 par la découverte dans une galerie souterraine de l'un des plus importants gisements d'ossements d'**ours des cavernes** connus à ce jour (Balme à Colomb). Cette découverte a motivé la création du musée de l'Ours des cavernes sur la commune d'Entremont-le-Vieux dont une visite s'impose ! Le mont Granier est également célèbre pour l'écroulement d'un compartiment entier de sa face nord en 1248 suivi d'un phénomène de coulées de boue, phénomène connu pour être une des premières catastrophes naturelle aussi bien documentée.



[\(retour Granier\)](#)

### Grésivaudan

Grande vallée intra-alpine, séparant la Chartreuse du massif cristallin de **Belledonne**. Elle appartient à un ensemble plus vaste, le **Sillon alpin**, qui la prolonge vers le nord par la combe de Savoie et jusqu'au seuil de Megève. Au sens classique du terme, le Grésivaudan s'étend de la ville de Pontcharra, au nord, à Grenoble, au sud. Le fond plat caractéristique de cette vallée est typique d'un remblai par des alluvions. Le Grésivaudan, comme tout le Sillon alpin, correspond à une vaste dépression probablement d'origine tectonique, qui a été profondément surcreusée par l'action du **glacier de l'Isère** à plusieurs reprises.



Durant les périodes de retrait, de très grands lacs de vallées ont été remblayés à l'arrière des ombilics. L'épaisseur des alluvions est de plusieurs centaines de mètres. Ils renferment d'importantes nappes d'eau souterraines. [\(retour Grésivaudan\)](#)

### Grotte



Cavité rocheuse de grande taille, liée la plupart du temps à la dissolution **karstique** en région **calcaire**. Le terme recouvre de nombreuses caractéristiques possibles. Certaines grottes sont de simples **abris-sous-roche** de grande taille, sans lien avec le milieu souterrain, d'autres peuvent être les portes d'entrée d'immenses réseaux de galeries souterraines. Sur les Hauts de Chartreuse, de très nombreuses grottes de toutes sortes sont observables. [\(retour grottes\)](#)

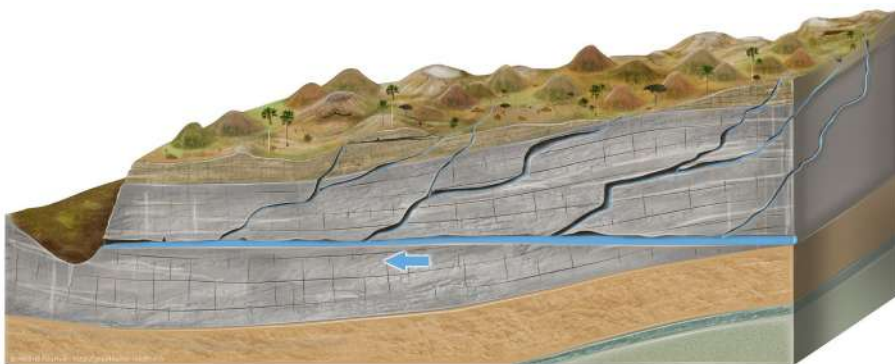
### Grotte effondrée

Portion de galerie souterraine se trouvant proche de la surface, dont le toit s'est effondré en partie ou en totalité. Un orifice, situé dans un secteur de chaos de blocs qui correspond à la strate effondrée, permet en général de pénétrer dans le réseau souterrain. De telles

formes sont observables en plusieurs sites de la réserve naturelle et participent à la diversité des chaos de blocs rocheux et aux types d'entrées vers le milieu souterrain.



### Grotte-tunnel



Grotte de grandes dimensions liée à une rivière constituée dans des terrains imperméables et traversant de part et d'autre des reliefs **calcaires** résiduels par un système de **perte/résurgence**. Ce genre de système est typique des karsts tropicaux comme il en existe de remarquables exemples en Chine, appelés aussi « karsts à buttes ».





Au début du **Tertiaire**, alors que le soulèvement alpin était à peine amorcé, de tels karsts étaient probablement bien développés dans nos **massifs subalpins** à peine naissants. [\(retour grottes-tunnels\)](#)

### Habitat naturel

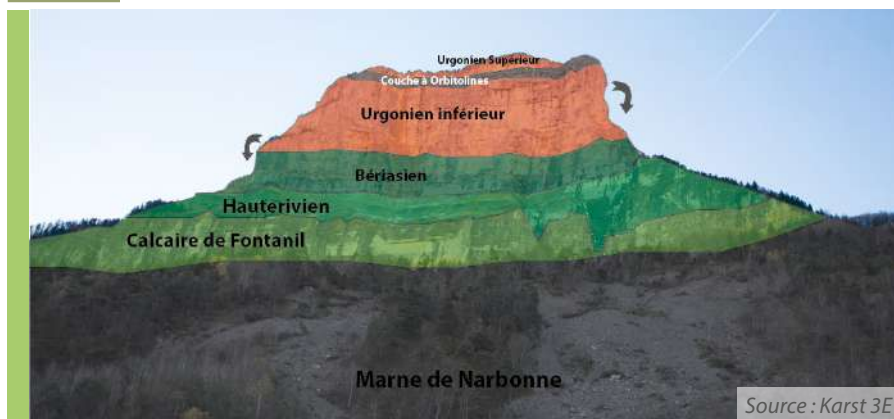
Terme désignant l'organisation naturelle de la végétation en communautés d'espèces en fonction des conditions écologiques (conditions climatiques et microclimatiques, type de sols et de substrats rocheux, exposition des versants, etc.).



Les habitats naturels sont définis par une espèce végétale dominante et/ou représentative des conditions écologiques, à laquelle sont associées de façon plus ou moins régulière tout un cortège d'espèces compagnes. Les habitats naturels ont des aspects très variés : ils peuvent recouvrir de vastes espaces comme certaines forêts ou landes, ou être très ponctuels (mares, pointements rocheux, etc.). En montagne, les différents habitats naturels s'organisent souvent en mosaïque, du fait de conditions écologiques très évolutives sur de faibles distances (gain d'altitude, expositions des versants, rôle important du relief et du substrat géologique). Cela est particulièrement le cas sur les Hauts de Chartreuse, comme, par exemple, dans les zones de **lapiés** multipliant à l'infini les micropelouses et végétation des dalles **calcaires** s'imbriquant de façon très fine.

Les habitats naturels sont bien sûr évolutifs en fonction de la dynamique de la végétation (en montagne, elle se fait avec beaucoup d'inertie) et plus ou moins influencés par l'Homme. Les prairies pâturées sont par exemple considérées comme des habitats « semi-naturels ». [\(retour habitats naturels\)](#)

### Hauterivien



Source : Karst 3E

L'Hauterivien est le troisième étage stratigraphique du Crétacé inférieur. Il correspond à environ –133 MA et –129 MA. Il tire son nom de la localité d'Hauterive dans le canton de Neuchâtel, en Suisse (« pierre d'Hauterive »). Il succède au **Valanginien** et précède le Barrémien (faciès **urgonien** en Chartreuse).

Sur les Hauts de Chartreuse et dans les **massifs subalpins** en général, cet étage stratigraphique est caractérisé par un important banc marno-calcaire qui se situe à la base des hautes parois calcaires urgoniennes. Il constitue des pentes en talus, qui sont souvent recouvertes d'**éboulis** issus de la fragmentation de l'urgonien ou par la végétation. Ce niveau constitue également le plancher imperméable des circulations d'eaux souterraines qui sont conduites à émerger en surface après avoir traversé la masse calcaire urgonienne (niveau d'émergence des cascades du cirque de Saint-Même notamment). Le faciès de l'Hauterivien prend souvent l'aspect de **marnes** « à miches » caractéristique.

Ceci n'est pas lié à une altération récente de la roche mais à des effets d'étranglements lors de la sédimentation des bancs calcaires pris entre des lits plus marneux.

Ce niveau est relativement riche en oursins de l'espèce *Toxaster amplus*. Attention, le ramassage des **fossiles** dans la réserve naturelle est strictement interdit. Admirez-les dans leur environnement!



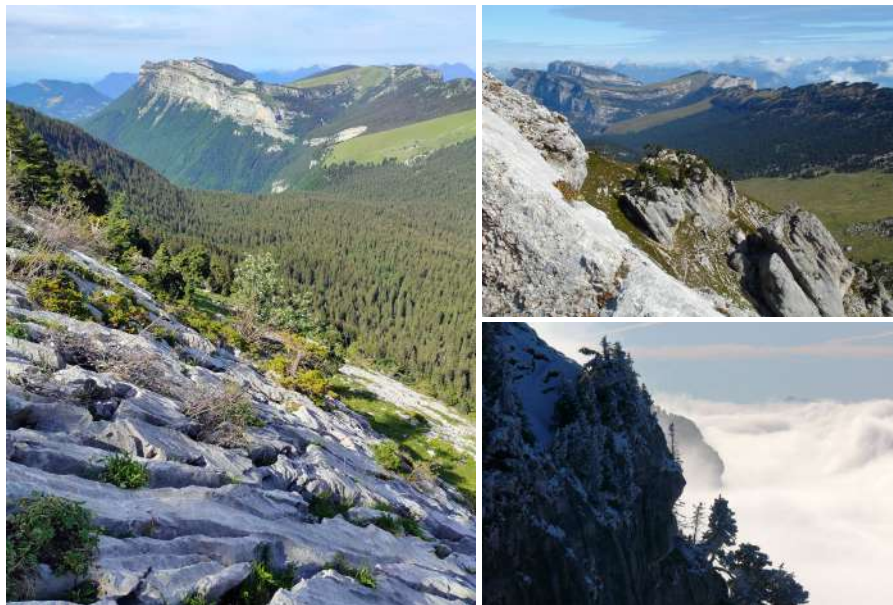
(retour Hauterivien)

Hauts de Chartreuse (réserve naturelle des)



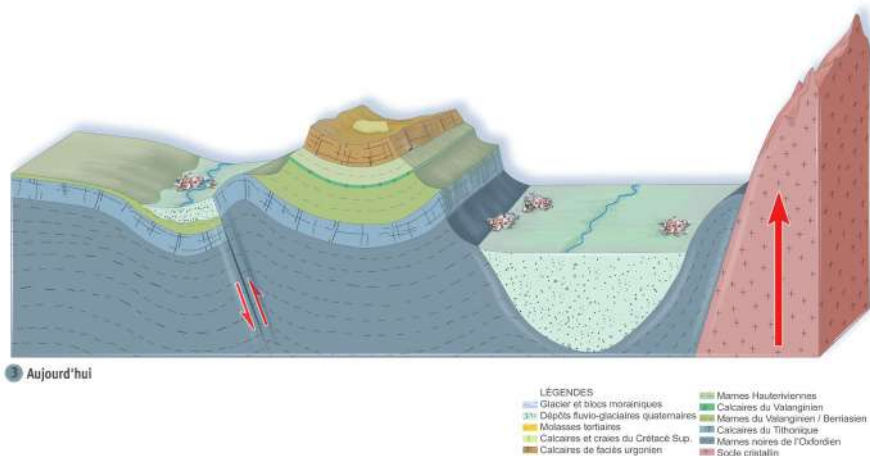
Cette dénomination, englobant l'ensemble des reliefs situés entre le mont **Granier** et la **Dent de Crolles**, sur la bordure orientale de la Chartreuse, est apparue lors de la création

de la réserve naturelle protégeant cet ensemble géographique, pour lequel il n'existait pas encore de dénomination d'ensemble. Les termes « plateau » ou « hauts plateaux » ne doivent pas être utilisés pour ce site car ils ne correspondent pas à la réalité du plissement des couches géologiques généralement très accentué en Chartreuse, ni à la topographie des lieux.



(retour Hauts de Chartreuse)

### Hercynien (ou varisque)



Qualificatif se rapportant à un cycle de formation de chaînes de montagnes réalisé durant l'ère primaire. Ces montagnes, sont érodées depuis la fin du Paléozoïque (il y a 270 à 280

MA), mais leurs racines jouent le rôle essentiel de **socle** dans la majorité des régions géologiques françaises. Ce socle peut être recouvert de sédiments, mais le massif armoricain, le massif Central ou les Vosges en sont des parties affleurantes, car rehaussées par la tectonique récente. Dans les Pyrénées et dans les Alpes, sous l'effet d'efforts tectoniques très puissants, des panneaux de ce socle, fortement compressés, ont été soulevés à haute altitude en fin de formation des chaînes. Dans les Alpes françaises, le mont Blanc, les aiguilles Rouges, la Lauzière, **Belledonne**, les Écrins et le Mercantour, regroupés sous le terme de « massifs cristallins externes », sont donc constitués de roches cristallines métamorphiques liées à un cycle de formation de chaîne de montagnes d'une génération antérieure...

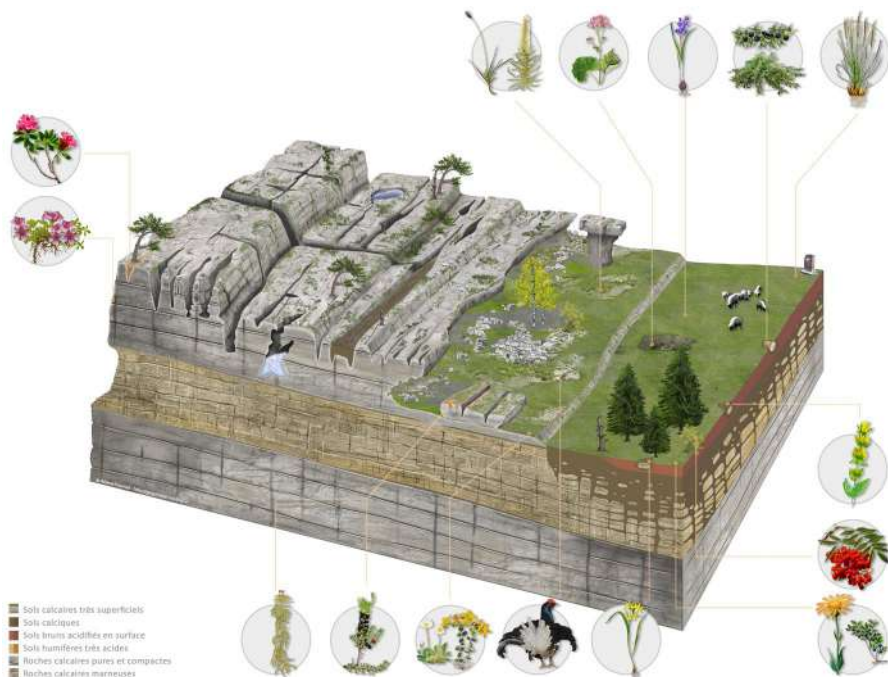


*Grand pic de la Lauzière, sommet typique de granites hercyniens.*

### Holocène

L'Holocène est l'époque actuelle des temps géologiques, qui débute il y a environ 10 000 ans, lorsque les derniers soubresauts climatiques froids de la dernière glaciation prennent fin (**Dryas**). L'Holocène est considéré comme une période interglaciaire, telle que la Terre en a connu plusieurs durant le Quaternaire. Au cours de l'Holocène, des variations climatiques, bien que plus modérées, se sont manifestées et ont eu néanmoins des répercussions importantes sur la composition et la répartition de la végétation, ainsi que sur le développement des civilisations humaines et certains faits historiques. L'analyse et la datation absolue des pollens conservés dans les sols tourbeux sont les principales méthodes pour tenter de retracer l'histoire paléoclimatique et paléoenvironnementale de l'Holocène.

Elles permettent aussi de mieux comprendre l'influence directe ou indirecte de l'homme sur son environnement.



- sols calcaires très superficiels
- sols calcaires
- sols bruns acidifiés en surface
- sols humifères très acides
- roches calcaires pures et compactes
- roches calcaires mameuses

Malgré des évolutions climatiques modérées par rapport aux périodes glaciaires, les microreliefs et les habitats naturels ont considérablement évolué sur les Hauts de Chartreuse durant l'Holocène, par des facteurs naturels et anthropiques. [\(retour Holocène\)](#)

Isostasie

*Les massifs cristallins externes (Aiguilles-Rouges, au premier plan) connaissent un soulèvement important et récent par isostasie, non sans conséquences sur leurs couvertures sédimentaires (Chaîne des Fiz, au second plan).*

Les chaînes de montagnes ont des racines profondes, liées à une grande masse de matériaux géologiques, superposés les uns sur les autres, forcés à s'enfoncer et se transformer dans les profondeurs par les chevauchements de plaques tectoniques. La densité moyenne des matériaux est plus importante en profondeur que vers la surface. Au fur et à mesure du temps et de l'érosion qui allège les reliefs, les racines de la chaîne remontent, sur le principe d'Archimède. C'est la **compensation isostatique**. Ceci a notamment pour conséquence de faire apparaître en surface des roches cristallines formées dans les profondeurs. Le soulèvement encore actuel des Alpes peut être lié à ce phénomène d'isostasie.

Joint de stratification

Discontinuité séparant deux strates dans les roches sédimentaires. Ce sont des **zones de faiblesses** importantes dans le jeu de l'érosion, car elles orientent la percolation de l'eau et le travail de dissolution dans les ensembles **calcaires karstifiés**. Souvent **argileux**, ils peuvent aussi jouer un rôle important dans l'érosion mécanique, en favorisant des glissements de la strate supérieure sur la strate inférieure lorsqu'elles sont inclinées dans le sens de la pente. [\(retour joints de stratification\)](#)

Jura

Chaîne de montagnes récente pouvant être considérée comme la conséquence directe des raccourcissements et tensions tectoniques liées à la formation des Alpes. Le Jura est constitué d'épais dépôts de roches sédimentaires datant de l'ère secondaire, en grande majorité **calcaires**, qui ont été modérément plissés, malgré bien des complexités tectoniques dans le détail. Le massif a donné le nom à la période du Jurassique de l'ère secondaire (ou **Mésozoïque**) dans la nomenclature géologique mondiale. Les plissements jurassiens s'étirent au sud jusqu'à s'accoler aux confins occidentaux de la Chartreuse (chaîne de l'Épine, montagne du Ratz, etc.), ce qui constitue un couloir écologique majeur pour la faune comme pour la flore. D'un point de vue géologique, la forte présence de roches sédimentaires et des milieux **karstiques** est un point commun important. Cependant, l'intensité plus forte des plissements en Chartreuse implique une évolution du relief plus poussée et plus complexe. La présence de bancs **marneux** plus épais en Chartreuse, ainsi que de calcaires **urgoniens**, a également permis le dégagement de formes structurales plus nettes par **érosion différentielle**.



(Droite) le lac du Bourget : un lac jurassien. Au fond, la Chartreuse. [\(retour Jura\)](#)



Jurassien (relief)

*Succession typique de reliefs «jurassiens» dans les Préalpes du nord...(Bornes et Bauges).*

*Au centre et à gauche de la photo, les sommets correspondent à des reliefs dérivés ou inversés : les anticlinaux ont disparu, les parois calcaires correspondes aux bordures des synclinaux perchés.*

*Les sommets plus modestes de droite (sans corniches rocheuses) correspondent à des voûtes anticlinales de plissement plus modéré où l'érosion a d'avantage respecté la disposition tectonique initiale*

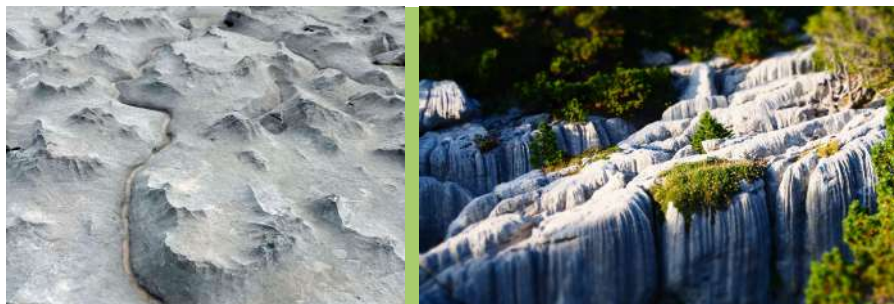
Le type jurassien désigne une gamme de reliefs caractéristiques développée dans des massifs montagneux formés de roches sédimentaires modérément plissées et où alternent couches dures et couches tendres sur lesquelles l'érosion va agir de façon différenciée, comme c'est le cas, entre autres, dans le **Jura**. Lorsque le relief jurassien est conforme à la structure tectonique initiale, il associe des chaînons **anticlinaux**, les monts, et des vallées **synclinales**, les vaux (ou vals). Mais l'action de l'érosion peut dégager d'autres formes typiques, dites dérivées (combes, mont dérivé, cluses, crêts, etc.) jusqu'à des formes dites inversées (**synclinal perché**, volet synclinal). Les Hauts de Chartreuse offrent de magnifiques exemples d'inversion de relief jurassien en synclinaux perchés (Alpe, Aulp du Seuil, Dent de Crolles) et volets synclinaux (Granier, Chamechaude), qui interdiront au randonneur éclairé de parler de « plateau » pour ces lieux !



*Val perché typique d'une inversion de relief de type «jurassien» : les pentes correspondent à un plissement de couches relevées vers un anticlinal qui a disparu... (retour jurassien)*

Kammenitsa

Terme d'origine slave, qui désigne, en région **karstique**, une petite cuvette de dissolution superficielle, creusée à la surface d'une dalle calcaire et dans laquelle de l'eau issue des précipitations ou de ruissellement se trouve piégée. La présence de l'eau retenue dans la cuvette entretient le processus de formation. Ce type de petites formes karstiques se combine aux **karrens** pour former les champs de **lapiés** ou **karrenfeld**. Dans des zones karstiques où l'eau ne parvient pas à se maintenir en surface, les kammenitsas peuvent avoir un rôle non négligeable, pour l'abreuvement des passereaux notamment. [\(retour kammenitsas\)](#)

Karren, Karrenfeld

« **Lapiaz** » ou « **lapiés** » est un terme d'origine savoyarde (franco-provençal ou romand des linguistes) repris dans la langue française et synonyme du terme allemand **Karren**, désignant un creusement linéaire superficiel dans la roche calcaire. Ce processus est lié à la dissolution du **calcaire** par l'eau, aboutissant à une rainure s'approfondissant progressivement au cours du temps. Le champ de lapiaz (ou **Karrenfeld**) est une étendue typique de roches calcaires striées de ces rainures.

Il existe plusieurs types de lapiaz, dont, principalement :

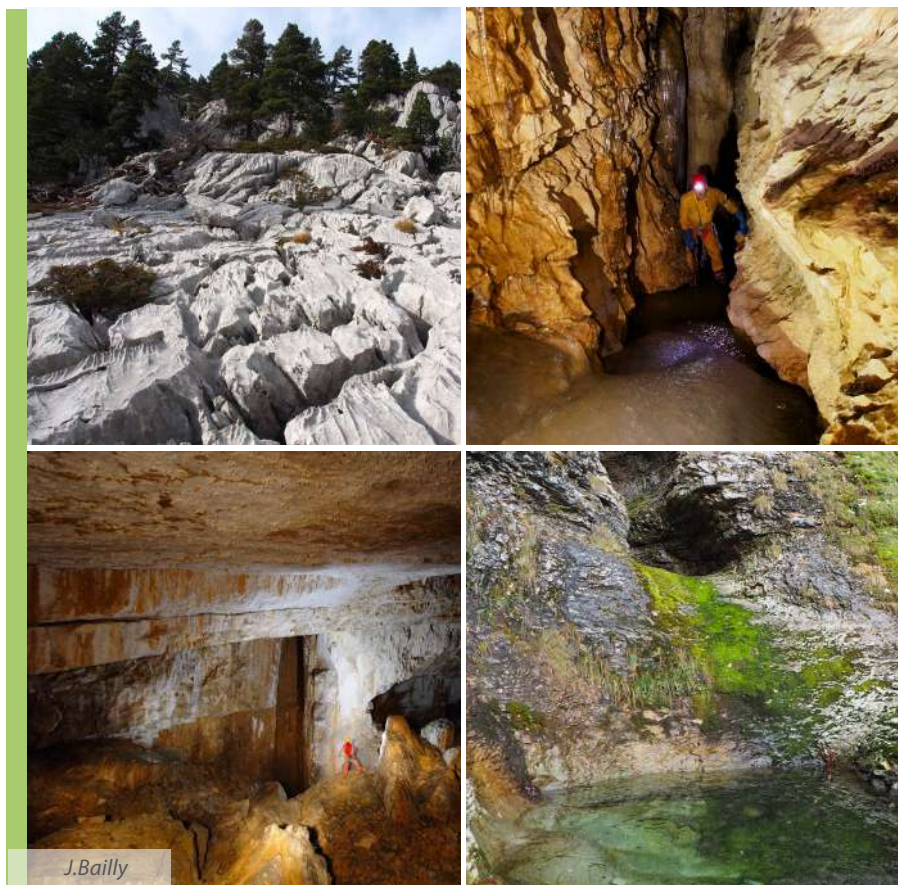
- les *lapiaz de ruissellement*, disposés dans le sens de la pente, qui sont liés au seul ruissellement des eaux de surface et s'incurvent fréquemment en suivant la ligne de plus grande pente du détail topographique.
- les *lapiaz de fracture*, qui présentent des cannelures rectilignes disposées souvent parallèlement entre elles car influencées par la tectonique dont elles agrandissent par dissolution les fissures initiales.

### Karst, relief karstique, karstification

Le karst, du nom d'une région slovène, désigne l'ensemble des formes liées aux processus de dissolution par l'eau des roches **calcaires** (et salines, plus rares) suffisamment pures et épaisses. La karstification produit des formes de relief très originales, ainsi qu'un fonctionnement hydrologique spécifique, amenant les eaux de surface à creuser des réseaux de galeries souterraines à partir des zones de faiblesse de la roche et à réapparaître en surface au contact des roches imperméables. Un massif dit karstique doit donc être appréhendé dans ses formes de surface comme dans sa dimension souterraine.

Le karst est une caractéristique majeure des Hauts de Chartreuse, toute la surface des vallons se développe sur des surfaces karstifiées, contrairement aux versants des bordures, établis sur des pentes **marneuses** non concernées par ce phénomène. En surface, les formes principales caractéristiques du karst de Chartreuse sont des **dolines**, des **lapiaz** (ou lapiés), des **gouffres**, des **bogaz**, des **kammenitsas**, des **banquettes glacio-karstiques**. Dans les réseaux souterrains, différents niveaux de galeries ont été creusés, au fur et à mesure de l'évolution, du soulèvement et du plissement du massif. Certaines galeries sont fossiles et contiennent de précieux témoins paléogéographiques (sédiments piégés, concrétions séniles) attestant de conditions de creusement dans des contextes très anciens et très différents de l'actuel. Des galeries **actives** dans les parties basses du massif, au contraire, sont toujours en cours de creusement et assurent le drainage actuel du massif. Des **puits-méandres**, sections plus ou moins verticales, assurent des jonctions entre différents niveaux et témoignent d'une intense karstification en contexte **glaciaire** et de soulèvement du massif durant le **Plio-quaternaire**.





Différents aspects des phénomènes karstiques sur les Hauts de Chartreuse. [\(retour relief karstique\)](#)

### Karst couvert

Un **karst** couvert est un massif karstifié en profondeur mais dont la surface est restée imperméabilisée par une couche sédimentaire non karstifiable ou par des dépôts recouvrant des formes préalablement karstifiées en surface. La karstification en profondeur peut se faire depuis des zones d'infiltration en périphérie de la zone couverte, de sorte que se développe un réseau souterrain dans les bancs calcaires sous la couverture imperméable. Actuellement, le karst des Hauts de Chartreuse n'est pas couvert, toutes les couches calcaires qui affleurent en surface sont karstifiables, à des degrés divers. [\(retour karsts couverts\)](#)

Karst nu

Un karst nu est une zone karstifiée totalement dépourvue de végétation. L'absence ou la présence de végétation a une influence importante sur le type de formes développée par l'érosion chimique.



(retour karsts nus)

Lagopède alpin (*Lagopus muta helvetica*)

Oiseau sédentaire (non migrateur) appartenant à l'ordre des Galliformes, occupant, dans les Alpes, des habitats naturels de haute montagne (étage alpin à nival). Emblématique des espèces réfugiées en haute montagne depuis la dernière période **glaciaire**, le lagopède alpin a notamment pour caractéristique de changer de couleur de plumage au cours de l'année par des mues successives. Elles lui permettent de mieux se fondre dans les tonalités saisonnières de la montagne et l'aident à échapper aux prédateurs. L'espèce ne niche plus en Chartreuse, les altitudes sont trop basses, mais il est possible d'observer de temps à autre des individus en « balade », provenant probablement de la chaîne de **Belledonne**. L'espèce est en régression dans les Alpes du fait de plusieurs facteurs, dont le changement climatique qui réduit ses espaces vitaux et tend à déséquilibrer ses cycles de vie par rapport à la phénologie de la végétation dont il dépend.

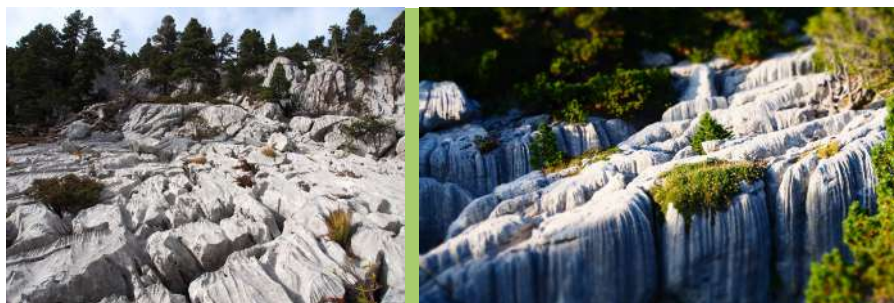


(retour lagopède)

Langue glaciaire

*Langue glaciaire dans le massif du Mont-Blanc (glacier du Tour).*

Forme caractéristique prise par les **glaciers** en région montagneuse, du fait de l'écoulement de la glace canalisée dans les vallées par les reliefs. [\(retour langues glacières\)](#)

Lapiaz, lapiés

« Lapiaz » ou « lapiés » est un terme d'origine savoyarde (franco-provençal ou romand des linguistes) repris dans la langue française et synonyme du terme allemand **Karren**, désignant un creusement linéaire superficiel dans la roche calcaire. Ce processus est lié à la dissolution du calcaire par l'eau, aboutissant à une rainure s'approfondissant progressivement au cours du temps. Le champ de lapiaz (ou **Karrenfeld**) est une étendue typique de roches calcaires striées de ces rainures.

**Il existe plusieurs types de lapiaz, dont, principalement :**



- les *lapiaz de ruissellement*, disposés dans le sens de la pente, qui sont liés au seul ruissellement des eaux de surface et s'incurvent fréquemment en suivant la ligne de plus grande pente du détail topographique.



- les *lapiaz de fracture*, qui présentent des cannelures rectilignes disposées souvent parallèlement entre elles car influencées par la tectonique dont elles agrandissent par dissolution les fissures initiales. ([retour lapiez](#))

Lapiaz couverts / découverts

*Lapiaz récemment découvert à la suite d'une chute et du déracinement d'un arbre.*

*Les lapiaz sont encore colorés par les acides humiques du sol.*

Selon leur origine et les évolutions environnementales, certains **lapiaz** se développent sous la couverture du sol et évoluent éventuellement à découvert à la suite de phénomènes ayant dégagé ces sols (érosion naturelle à la suite de dégradations climatiques ou facteurs anthropiques). Les formes développées à couvert ou à découvert sont différentes et peuvent se superposer en fonction des évolutions environnementales. Leur observation peut donner des indices sur l'évolution locale de la couverture pédologique et de la végétation.

[\(retour lapiés couverts\)](#)

Lapiaz démantelés

Expression utilisée pour désigner un ensemble de bancs calcaires (ou strates) si profondément **karstifiés** et **lapiazés**, qu'ils finissent par former des blocs séparés et isolés, le plus souvent le long de fractures tectoniques préférentiellement exploitées par l'eau. Certains blocs, désolidarisés du banc initial, peuvent basculer dans la pente et former de curieux **chaos rocheux**. Les lapiaz témoignent de l'origine du démantèlement, à savoir une dissolution active de la roche, qui fait disparaître sur place progressivement l'ensemble de la strate. Au sein de la réserve naturelle, de magnifiques lapiaz en cours de démantèlement sont observables notamment le long du sentier, sous le sommet du Pinet.



Lapiaz de paroi

Cliché : Hallier Claire

Type de **lapiaz** formé sur des parois calcaires suffisamment lisses et raides pour engendrer un écoulement de l'eau de ruissellement parfaitement linéaire. En conséquence des cheneaux de dissolution parallèles se sont formés, et permettent l'exagération progressive de ces formes en concentrant de plus en plus le ruissellement de l'eau. Ces formes remarquables se développent notamment sur des miroirs de **faille** de la réserve naturelle qui proposent des parois très lisses, soit deux types de **géopatrimoines** remarquables sur un même site... [\(retour lapiés de parois\)](#)

Lave torrentielle

Clichés : S.Forêt

Écoulement exceptionnel pouvant apparaître dans un cours d'eau de montagne mêlant eau, **argiles** et matériaux de toutes tailles lors d'épisodes pluvieux violents. L'ensemble constitue un liquide visqueux et très dense que rien n'arrête, capable de transporter des blocs de roche très volumineux. Il ne faut pas confondre ce phénomène avec celui de coulée

boueuse, qui se produit sur un versant argileux déstabilisé par fluage, sans lien avec un cours d'eau. À la suite de l'éroulement rocheux du pilier nord-est du Granier en 2016, un épisode de lave torrentielle s'est produit lors d'un violent orage, remobilisant les blocs **éboulés** jusque sur la route départementale reliant Chapareillan au col du Granier. Un tel phénomène, d'une bien plus grande ampleur, a eu lieu également à la suite de l'éroulement de 1248, expliquant le déplacement de certains blocs très volumineux jusque dans la cluse de Chambéry, à 8 kilomètres de là.

### Lichen



Les lichens sont des organismes vivants associant un champignon et une algue. Cette association ou « symbiose », permet de coloniser des milieux naturels très difficiles pour les autres formes végétales. Ce sont donc des organismes pionniers, qui, en colonisant les fissures des roches et en y pourrissant, favorisent la formation d'un début de sol et l'installation d'autres cortèges de végétaux pionniers. À leur échelle, les lichens contribuent également, de façon microscopique mais continue, à la fragilisation des minéraux de surface des roches, à l'élargissement de certaines microfissures. [\(retour lichen\)](#)

### Lièvre brun (*Lepus europaeus*)

Le lièvre brun est l'espèce de lièvre sauvage la plus répandue dans toute l'Europe et l'ouest de l'Asie. Moins adapté que le lièvre variable aux conditions extrêmes liées au froid et l'altitude, il est néanmoins capable de fréquenter les plus hauts sommets de Chartreuse même en hiver. Son hybridation avec le lièvre variable que l'on sait possible, est peut-être à l'origine de la disparition de celui-ci en Chartreuse depuis une trentaine d'années.



[\(retour lièvre brun\)](#)

Lièvre variable (*Lepus timidus*)

Le lièvre variable, ou « blanchot », est une espèce originaire de la toundra arctique particulièrement adaptée au froid et aux environnements enneigés. Une partie de la population s'est fragmentée et réfugiée dans les Alpes à la fin de la dernière période **glaciaire** alors qu'elle occupait toutes les plaines d'Europe en climat glaciaire il y a plus de 15 000 ans. Cette espèce a la particularité de changer de couleur de pelage selon les saisons ce qui l'aide à échapper aux prédateurs. Ses oreilles et son museau sont également raccourcis par rapport au lièvre brun, ce qui représente une forme évolutive d'adaptation au froid.

Le lièvre variable a disparu de Chartreuse il y a au moins trente ans, probablement concurrencé par la population de lièvres bruns avec lequel il s'hybride et se « noie » génétiquement. Les populations de lièvres variables de Chartreuse n'avaient pas possibilité de trouver des secteurs exclusifs plus haut en altitude comme c'est encore le cas dans d'autres massifs malgré le changement climatique en cours. À la suite d'une étude génétique menée par la réserve naturelle à partir des crottes de lièvre récoltées en altitude, il est apparu qu'aucune trace d'ADN de lièvre variable n'était encore perceptible. Les populations des autres massifs des Préalpes du Nord semblent également en déclin et très fragiles.



[\(retour lièvre variable\)](#)

Ligne d'équilibre glaciaire

*Massif du Mont-Blanc.*

La ligne d'équilibre **glaciaire** est une altitude théorique correspondant à un bilan moyen annuel équilibré entre l'accumulation de glace l'hiver, et la fonte en été. À l'amont de cette ligne, on parle de zone d'accumulation, et en aval, de zone d'ablation.

Le changement de cette altitude, si elle perdure à la hausse ou à la baisse au-delà des variations annuelles, traduit une évolution climatique. Dans les Alpes du Nord, cette ligne d'équilibre est évaluée à environ 2 900 mètres d'altitude. Mais avec le changement climatique, elle pourrait remonter jusqu'à 3 500 mètres d'ici à la fin du siècle. [\(retour ligne d'équilibre glaciaire\)](#)

Limons

Dépôts issus du travail de l'érosion dont la taille des grains est intermédiaire entre celle des **argiles** et celle des sables. Les limons font partie de la charge transportée par les rivières et les fleuves, ils sont majoritairement le produit de l'érosion des roches cristallines : des débris de quartz et des feldspaths. [\(retour limons\)](#)

Lophiodon

Les lophiodons correspondent à un genre de mammifères herbivores semblables aux tapirs actuels apparu et disparu au cours de l'ère **tertiaire**. La découverte d'une mâchoire de lophiodon en Chartreuse en 1898 (Les Échelles) a permis à l'époque, par **datation relative**, de comprendre l'origine des sables réfractaires qui y étaient exploités. [\(retour lophiodon\)](#)

Lumachelle

La lumachelle (de *lumachella*, diminutif de *lumaca*, « escargot ») est une roche sédimentaire contenant un grand nombre d'organismes fossiles entiers ou brisés, accumulés par sédimentation. En Chartreuse, on désigne souvent sous ce vocable la formation qui recouvre le niveau des calcaires **urgoniens** – sur une cinquantaine de mètres à l'origine – et qui tapisse une grande partie du fond des **vals perchés** de la réserve naturelle, sur lesquels se sont développés les alpages. Mais malgré la présence de restes fossiles d'huîtres, il faut préférer pour cette formation l'appellation « calcaires à **encrines** » qui la caractérise mieux. [\(retour lumachelles\)](#)

### Marmite de géant



Vasque creusée dans le lit rocheux d'un cours d'eau par l'action des courants tourbillonnants transportant des particules abrasives. Il s'agit typiquement d'une forme d'érosion mécanique des cours d'eau. Quand elles se multiplient et deviennent coalescentes, les marmites de géant engendrent l'approfondissement soudain du cours d'eau, c'est une forme d'amorce d'érosion des rivières en « trait de scie » ou microcanyons. Les marmites de géant sont présentes aussi dans le lit des cours d'eau souterrains qui cheminent dans le **karst**.

[\(retour marmites de géant\)](#)

### Marnes



Les marnes sont des roches sédimentaires composées d'un mélange de **calcaire** et d'**argile** (entre 35 et 65 %). Leur importance est majeure dans la composition des paysages des massifs sédimentaires et en Chartreuse notamment. Le fait de parler de « massif calcaire » oriente beaucoup l'attention sur les roches calcaires pures formant de belles parois rocheuses. Mais les plissements harmonieux de « **couverture souple** » sont rendus possibles par la plasticité des marnes qui accompagne les niveaux calcaires, plus cassants face aux efforts tectoniques. Plus discrètes dans le paysage, elles définissent les talus intermédiaires souvent recouverts de végétation entre deux niveaux calcaires. Lorsque des processus d'érosion les mettent localement à nu, elles contribuent à la diversité des **habitats naturels** et à la richesse floristique du massif. Dans certaines conditions, la décalcification de surface d'affleurements marneux laisse la prédominance aux argiles qui contribuent à une acidification des sols et à une diversification des espèces floristiques en région calcaire. Les niveaux marneux définissent aussi les planchers imperméables des circulations d'eau souterraines et la localisation des sources en zone **karstique**. [\(retour marnes\)](#)

Massifs cristallins

Ensemble de massifs montagneux constitués de roches dites « cristallines », c'est-à-dire issues du refroidissement d'un magma sous la surface ou de la transformation d'autres types de roches par métamorphisme et permettant le développement de cristaux bien visibles dans la structure des roches. Les familles de roches dominantes dans ces massifs sont les granites, les gneiss et les micaschistes. Parmi les massifs cristallins emblématiques dans les Alpes françaises figurent les Alpes cristallines externes, dont les massifs de **Belledonne** et du Mont-Blanc, entre autres, font partie. Leur géologie implique une imperméabilité des roches pour les eaux de ruissellement, d'où la fréquence de lacs, de **tourbières** et de torrents contrairement aux massifs **karstiques**. Les roches cristallines impliquent aussi, la plupart du temps, une acidification renforcée des sols, qui a une influence sur le type de végétation, excluant les espèces strictement calcicoles. Par leurs caractéristiques, les massifs cristallins proposent des paysages et des habitats naturels de montage très différents des massifs sédimentaires, participant à la grande diversité des biotopes et paysages alpins.

*Paysages de massifs cristallins - cliché haut : Lauzière / ci-dessous : Aiguilles-Rouges & Belledonne*



[\(retour massifs cristallins\)](#)

### Mésolithique

Période de la préhistoire située entre le Paléolithique et le **Néolithique**, allant d'environ –9 500 ans à environ –5 500 ans. Dans les Alpes occidentales, cette période se manifeste plus particulièrement vers –8 000 ans par l'arrivée d'un courant culturel nouveau, le **Sauveterrien**. Une forte expansion de la présence de l'Homme vers des sites d'altitude s'y manifeste, au-dessus de la limite des forêts et gagnant vers l'intérieur des massifs internes. Le passage du Mésolithique récent au Néolithique ancien qui est marqué par la mise en place des économies agropastorales, s'effectue au cours de la seconde moitié du VI<sup>e</sup> millénaire BP. Selon Pierre Bintz et Christophe Griggo (2011) : « En montagne, on voit apparaître sur les mêmes sites occupés par les mésolithiques, des faciès mixtes qui mélangent les traditions mésolithiques avec des éléments échangés ou empruntés au Néolithique ancien : ovins ou bœufs domestiques, céramiques, indices d'activités agricoles. On peut parler d'un Néolithique ancien montagnard dont les limites se superposent à celles du Mésolithique ». D'un point de vue bioclimatique, la période du Mésolithique correspond étroitement à une période dite **Atlantique**, légèrement plus chaude et humide que l'actuel, ce qui a favorisé l'installation de l'Homme dans des environnements alpins auparavant trop difficiles.

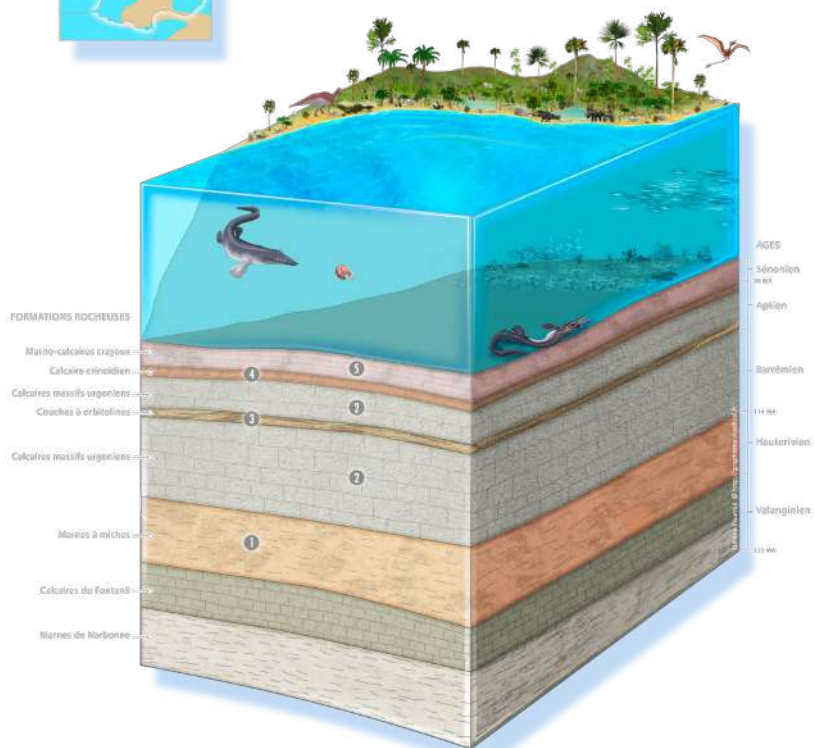


[\(retour Mésolithique\)](#)

### Mésozoïque

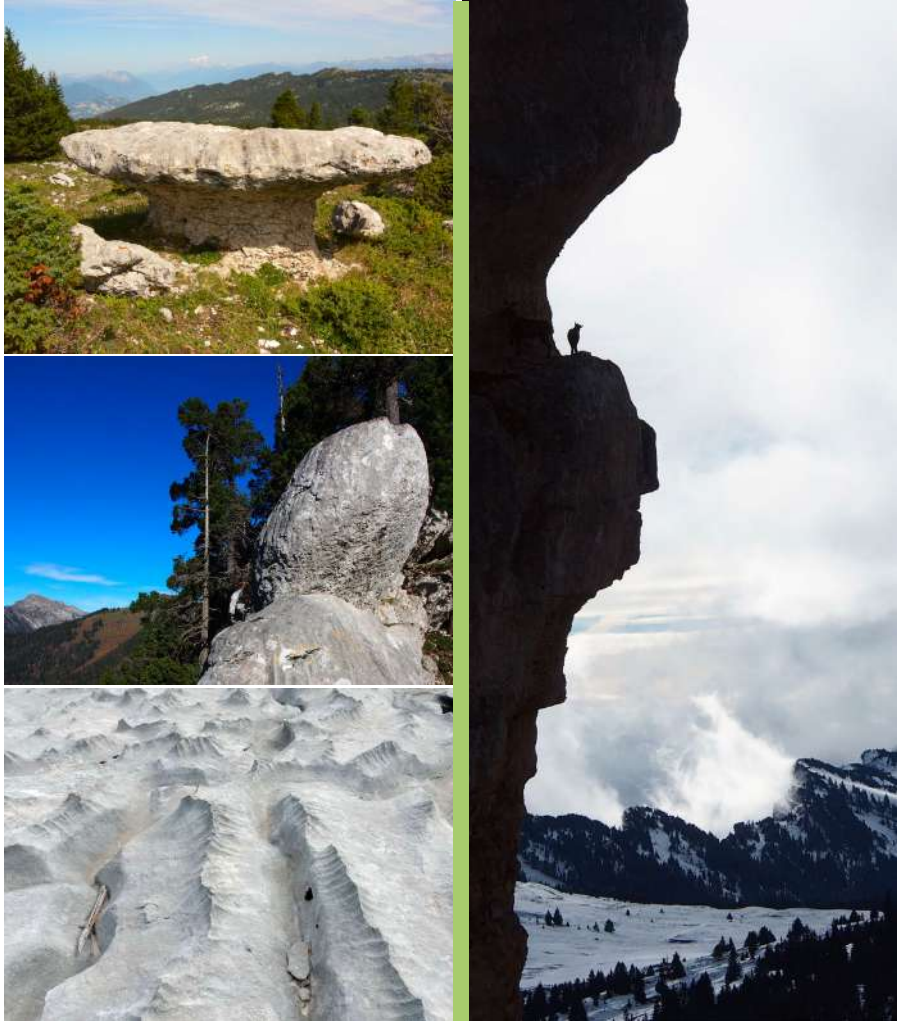
Ère géologique traditionnellement nommée « ère secondaire », datée de –252 MA à –66 MA, subdivisée en Trias, Jurassique et Crétacé. Cette période connaît une expansion extraordinaire des formes de vie avec la profusion d'espèces de céphalopodes (**ammonites**, bélemnites) et la domination des dinosaures. C'est aussi durant cette ère qu'apparaissent les plantes à fleurs, les mammifères, les oiseaux qui restent cantonnés à d'étroites niches écologiques. La fin du Mésozoïque correspond à la grande disparition des dinosaures et des céphalopodes. Durant le Mésozoïque, à l'emplacement des Alpes, un bras de mer se forme et presque toute la période voit s'accumuler une importante série de sédiments marins qui deviendront les roches formant, entre autres, les massifs **subalpins**, dont la Chartreuse.

-75 MA Ere secondaire - Crétacé supérieur

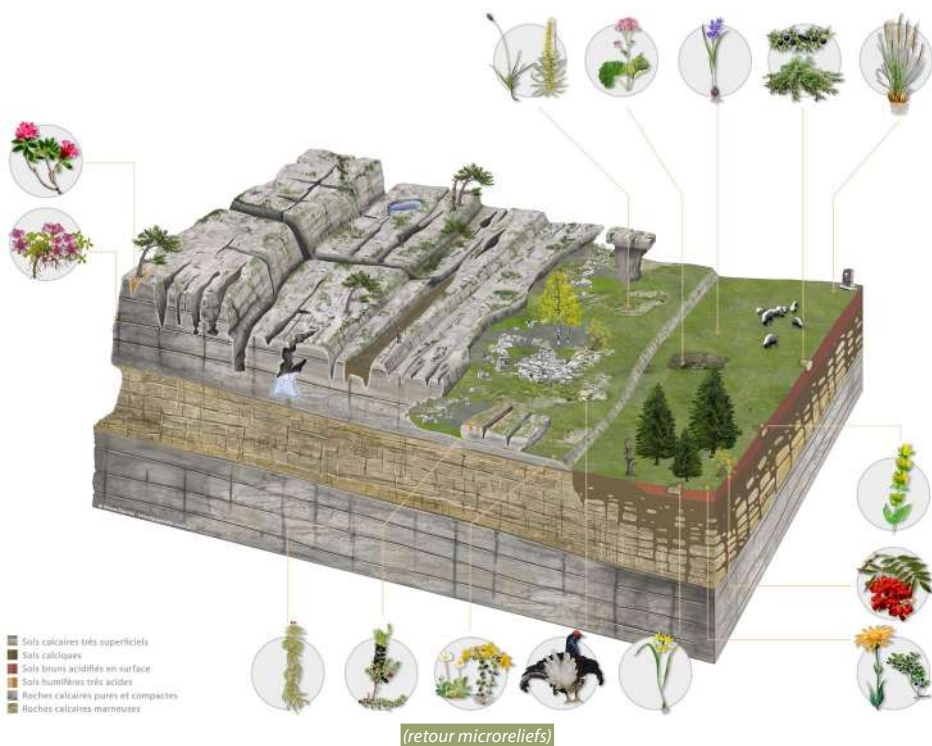


(retour Mésozoïque)



*Microrelief*

Désigne un relief de petites dimensions, de l'ordre du décimètre à quelques mètres. Au-delà de l'agrément et du caractère qu'ils peuvent apporter à certains paysages, les microreliefs ont un rôle déterminant dans les écosystèmes de montagne. De nombreux liens existent avec la faune (abris, postes d'affût, etc.) et encore davantage avec la flore (conditions microclimatiques, contact des racines avec tel ou tel type de roche...). Les nombreux microreliefs des Hauts de Chartreuse participent à la mosaïque d'habitats naturels et une grande diversité d'espèces floristiques. Les **lapiaz**, les **dolines**, les innombrables **abris-sous-roche** sont des exemples de microreliefs fréquents sur les Hauts de Chartreuse.



### Miroir de faille



Partie visible du plan de **faille** le long duquel deux compartiments rocheux ont coulissé après une cassure tectonique et qui se manifeste par un escarpement rocheux. Plusieurs très beaux miroirs de failles sont observables sur la réserve naturelle.

## Molasse



Terme utilisé pour un ensemble de **roches sédimentaires** détritiques accumulées sous une faible profondeur d'eau, dans les bassins périphériques des chaînes de montagnes en cours de formation (voir aussi **Sillon alpin**). Les molasses constituent les débris d'érosion en conséquence des puissants mouvements de surrection. Elles sont souvent constituées de niveaux irréguliers de grès à ciment **calcaire** ou **argileux** entre lesquels se mêlent des conglomérats. Les molasses forment les reliefs modérés de l'avant-pays alpin, car ces roches détritiques ont elles-mêmes été affectées par les derniers mouvements alpins. La molasse a été beaucoup utilisée comme matériau de construction dans le bâti traditionnel (Voiironnais, Terres froides, Bugey savoyard...). Le terme proviendrait de « meule », car ces formations ont également été utilisées à cette fin. [\(retour molasse\)](#)

## Montagnard (étage de végétation)

L'étage de végétation montagnard est une ceinture de végétation altitudinale qui se distingue dans le paysage végétal et qui se situe entre l'étage collinéen, qu'il domine, et l'**étage subalpin**, qui lui succède vers le haut.

En Chartreuse, l'étage montagnard se situe approximativement entre 900 et 1 400 mètres d'altitude, et peut-être défini assez commodément par la tranche d'altitude dans laquelle le hêtre et le sapin pectiné dominent naturellement (sans exclusion d'autres espèces), constituant de très belles forêts mixtes (les hêtraies-sapinières) et appréciées des forestiers pour leur productivité. À noter qu'au sein de cet étage, l'épicéa a été fortement favorisé par l'Homme au détriment du sapin, alors qu'il ne domine naturellement qu'à partir de l'étage subalpin inférieur. Sur les Hauts de Chartreuse, la délimitation de l'étage montagnard est assez simple, car elle coïncide assez étroitement avec les flancs de versant situés au pied des grandes parois rocheuses de calcaire **urgonien**.





*Ambiances de l'étage montagnard dans la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.*

[\(retour étage de végétation montagnard\)](#)

### Moraine

Dépôt de débris de roches de tailles très hétérogènes qui ont été amenés par les **glaciers**. L'hétérogénéité de ces dépôts peut aussi concerner la nature des roches, en fonction des zones géologiques parcourues par le glacier. C'est ainsi que dans certaines moraines glaciaires de Chartreuse, il n'est pas rare de trouver des fragments de roches cristallines (granites, gneiss, micaschistes...) venues des massifs internes des Alpes par le travail du **glacier de l'Isère** qui diffluit en Chartreuse par différents cols. Cette caractéristique a permis de faire la part des choses entre l'existence de ces « débordements » des immenses glaciers de vallée, et la présence de petits appareils glaciaires locaux, dont ceux qui prenaient naissance sur les Hauts de Chartreuse.



L'étude des nombreuses moraines anciennes dans nos régions et de leur composition permet donc de retracer le parcours et l'avancée de différents glaciers, leurs confluences et **diffluences** éventuelles. Selon l'emplacement des débris par rapport à l'avancée du glacier avant leur dépôt, les moraines peuvent être frontales, latérales, internes, ou de fond. Les moraines glaciaires en Chartreuse sont aujourd'hui généralement masquées par la végétation, mais certaines formes caractéristiques en bourrelets ou des talus trahissent parfois leur présence. Il n'est pas rare que les moraines constituent de petits **aquifères** alimentant des petites sources. Elles ont pu localement influencer l'emplacement des premiers hameaux. [\(retour moraines\)](#)

Moraine de fond

Ensemble de débris rocheux qui ont été pris en charge par le **glacier** au niveau de sa semelle et ont été abandonnés à sa fonte. La composition et le volume de la moraine de fond ont une importance sur la puissance d'abrasion des glaciers.

Morphogenèse

En géographie, désigne l'ensemble des processus naturels qui donnent naissance et contribuent à l'évolution des formes du relief terrestre.

Mosasaure

Les mosasaures désignent une famille éteinte de reptiles marins de grande taille ayant vécu durant l'ère secondaire (**Mésozoïque**) et disparu en même temps que les dinosaures, durant la grande crise d'extinction de la fin de cette ère. Ils appartiennent à l'ordre des Squamates

dans lequel on retrouve les lézards et les serpents. Le terme de mosasaure provient de la Meuse, cours d'eau près duquel le premier spécimen a été découvert en 1766 aux Pays-Bas et qui amena des questions décisives pour l'évolution de la paléontologie à l'époque, par l'intermédiaire du célèbre paléontologue Georges Cuvier. Les découvertes de restes fossiles de mosasaure sont très rares en France. En 2015, une découverte exceptionnelle par Frédéric Dumont de 24 vertèbres de la queue d'un mosasaure a été faite à Entremont-le-Vieux en Chartreuse, une première à l'échelle des Alpes. [\(retour mosasaures\)](#)

### Mousses



Les mousses, ou Bryophytes, constituent un embranchement du règne végétal. Les plantes de cet embranchement sont des végétaux caractérisés par l'absence de système vasculaire. L'organisation morphologique et anatomique des mousses est très simple et les tissus de soutien sont peu performants. Elles n'ont donc pas de racines, mais des sortes de filaments simples qui ne servent qu'à s'accrocher au substrat. Ils peuvent aussi absorber de l'eau, comme l'ensemble des parties de ces plantes. Les mousses sont apparues sur Terre il y a environ 480 MA. Il existe un grand nombre d'espèces très diverses, capables de s'adapter à tous les climats. Les forêts de montagne sont souvent des milieux riches en espèces de mousses. Espèces pionnières, souvent après les lichens, elles contribuent à leur échelle à l'altération des roches et la préparation des sols pour des végétaux plus exigeants, comme les plantes dites « supérieures ». Des études sont en cours sur la réserve naturelle pour mieux connaître les populations présentes. [\(retour mousses\)](#)

### Néolithique



Le Néolithique est une période préhistorique commençant aux environs de -5 500 ans. Le passage du **Mésolithique** au Néolithique ancien correspond à l'apparition des économies

agropastorales et certaines formes de sédentarisation. Selon Pierre Bintz et Christophe Griggo (2011): « En montagne, on voit apparaître sur les mêmes sites occupés par les mésolithiques, des faciès mixtes qui mélangent les traditions mésolithiques avec des éléments échangés ou empruntés au Néolithique ancien : ovins ou bœufs domestiques, céramiques, indices d'activités agricoles. On peut parler d'un Néolithique ancien montagnard dont les limites se superposent à celles du Mésolithique ». [\(retour Néolithique\)](#)

### Névé



*Réserve naturelle des Aiguilles Rouges / Soldanelle des Alpes.*

Accumulation de neige persistante ayant résisté à la fusion printanière et dont l'état a déjà beaucoup évolué par rapport à de la neige fraîche, sans être encore transformée en glace. Sur les Hauts de Chartreuse, les névés s'observent jusqu'au début de l'été sur les hautes pentes exposées au nord (col de Bellefont), mais aussi en grand nombre dans les fissures, dolines et diverses anfractuosités du karst sous couvert forestier. À proximité des névés, une flore spécifique se développe, profitant d'une alimentation en eau régulière et tardive ; on parle de végétation des combes à neige.

### Niche de gélivation





Au pied des escarpements rocheux, ou au contact de deux bancs **calcaires**, le gel régulier de l'humidité stagnante crée des niches, des **abris-sous-roche** sans prolongement, qui ne sont pas des **grottes**. Souvent, il s'agit de simples surplombs, qui affectent un banc rocheux un peu moins résistant. Les niches de gélivation sont très nombreuses au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse et contribuent au caractère paysager du site.

### *Niche écologique*



La niche écologique peut se définir comme le rôle et la place de l'espèce (proies, prédateurs) dans le fonctionnement de l'écosystème. Selon la célèbre analogie d'Odum (1959) : «... la niche écologique, c'est la profession de l'espèce alors que l'habitat en est l'adresse». La niche écologique ne doit pas être confondue avec le microhabitat, observable directement sur le terrain et favorable à telle ou telle espèce, et qui, même s'il en est une des conditions, n'en est pas la seule. [\(retour niches écologiques\)](#)

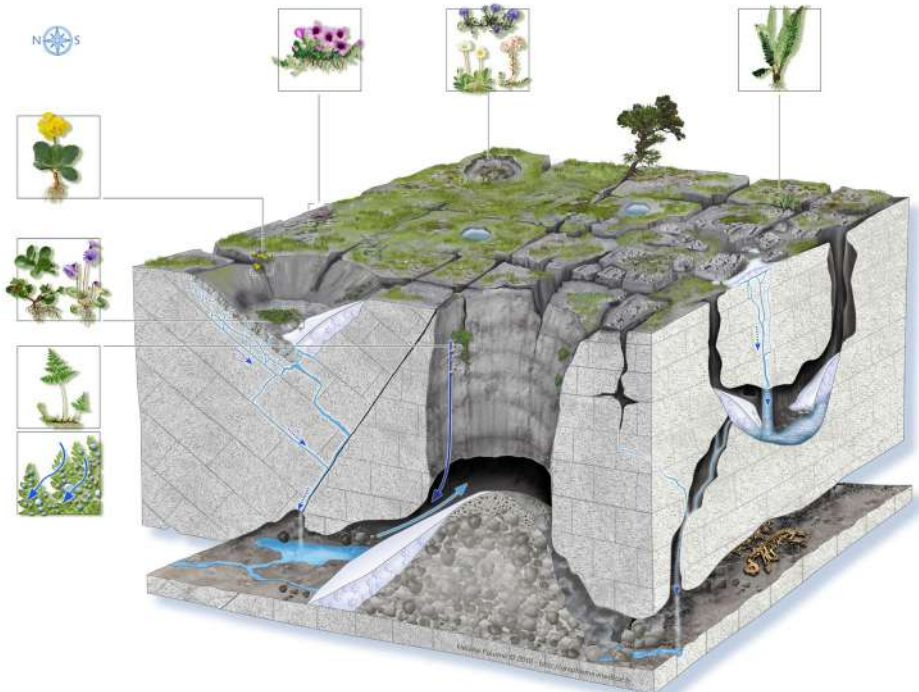


Nivation

*Réserve Naturelle de Carlaveyron et massif du Mont-Blanc.*

Ensemble des phénomènes ayant une influence sur la formation des reliefs par l'action directe de la neige et des **névés**. Le terme n'inclut pas les actions **glaciaires** qui sont à considérer différemment dans la **morphogénèse** des reliefs de montagne.

Sur les Hauts de Chartreuse, la nivation joue, par exemple, un rôle observable sur la forme des **dolines**, souvent dissymétriques du fait de la persistance d'un névé sur leur rebord exposé au nord. Le névé alimente la dissolution de la bordure calcaire de la doline par l'eau de fonte jusqu'au cœur de l'été, tandis que la bordure exposée au sud n'évolue pas ou peu.



[\(retour nivation\)](#)

Nucléides cosmogéniques

Le terme désigne l'ensemble des noyaux produits dans l'environnement terrestre (atmosphère ou lithosphère) lors de réactions nucléaires induites par les particules issues du rayonnement cosmique. Certaines particules ont une vie longue, ce qui permet, pour certains sédiments, de dater leur mise en place sur des périodes remontant à plusieurs millions d'années. Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, cette technique a été utilisée pour dater des échantillons de sédiments occupant des cavités souterraines du mont **Granier** (F. Hobléa, 2011). Elle a permis de confirmer l'âge très ancien de ces sédiments, et, par **datation relative**, des niveaux de grottes supérieures du massif contenant ces sédiments. Les réseaux les plus anciens, dont les entrées sont observables sous les plus hauts sommets de Chartreuse, se seraient formés entre le Miocène supérieur et le Pliocène supérieur (entre -7MA et -2,5 MA environ). [\(retour radionucléides\)](#)

Nunatak



Dans les régions recouvertes par des **calottes glaciaires**, les nunataks sont les pointements et arêtes rocheuses qui restent émergées des glaces. Lors des périodes glaciaires dans nos régions, le rôle et la distribution de ces reliefs isolés ont été très importants car ils pouvaient constituer des refuges locaux pour la flore et la faune. Certaines répartitions étranges et anarchiques de la flore alpine actuelle pourraient s'expliquer par l'emplacement de ces refuges exigus qui servirent probablement de « camps de base » pour la recolonisation lors des déglaciations. Ainsi, durant les périodes glaciaires, sur les Hauts de Chartreuse, les hautes crêtes et sommets constituaient des nunataks. Dans certains massifs, et si la structure géologique le permet, les formes les plus emblématiques des nunataks sont des sommets pyramidaux éparnés par l'érosion glaciaire.

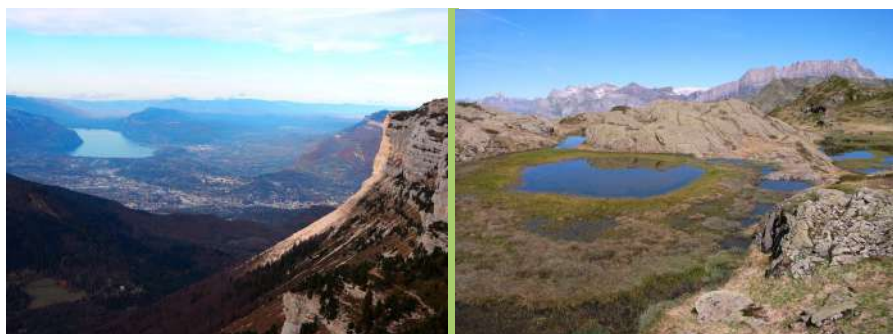
### Oeille



Terme propre à la Chartreuse désignant un relief ruiniforme en forme de tourelle, de gendarme, de clocheton, d'aiguille, etc. L'origine des « oeilles » est toujours la même : le

recul des parois rocheuses au cours du temps n'est pas régulier. Parmi les facteurs de recul, la **gélifraction** enlève de la roche, petit à petit, morceau par morceau, progressant selon un réseau de fracturation interne propre à la roche. Si une partie est plus compacte, moins fracturée, elle reste relativement indemne, tandis que les parties alentour disparaissent progressivement, jusqu'à isoler un oëille. Lorsque le phénomène est de grande ampleur en marge de l'abrupt d'un plateau **calcaire**, on parle de « butte-témoin ». Un exemple magistral en est fourni dans le massif voisin du Vercors et son célèbre mont Aiguille. Célèbre sommet visible du fameux... Pas de l'Oëille de la **Dent de Crolles** !

### Ombilic (glaciaire)



*Lac du Bourget vu depuis le Granier / Petits lacs d'ombilic dans les Alpes cristallines externes*

Dans une vallée occupée par un **glacier**, un ombilic est un secteur surcreusé par ce dernier, généralement à la faveur de roches tendres, d'une zone tectonisée, ou encore dans un secteur d'alternance répétée de va-et-vient au front du glacier. À l'aval de l'ombilic, un **verrou** peut, après le retrait du glacier, retenir un lac, comblé plus ou moins rapidement par des alluvions fluvioglaciaires. La vallée du **Grésivaudan** est un gigantesque ombilic glaciaire surcreusé dans des roches **marneuses** très tendres. Il a été comblé par des épaisseurs considérables d'**alluvions**. De même, le lac du Bourget, dans la cluse de Chambéry, correspond à un vaste ombilic glaciaire en cours de comblement. Mais l'origine et l'emplacement de ces vallées ne sont pas seulement dus au fait glaciaire, le **glacier de l'Isère** s'étant écoulé dans des vallées préexistantes de longue date...et dont l'emplacement initial était sans doute influencé par la tectonique. Dans les massifs cristallins, des alternances de microreliefs encore bien visibles aujourd'hui illustrent également bien, à une autre échelle, les alternances entre ombilics et verrous et le travail d'érosion différentielle des glaciers.

Orbitolines

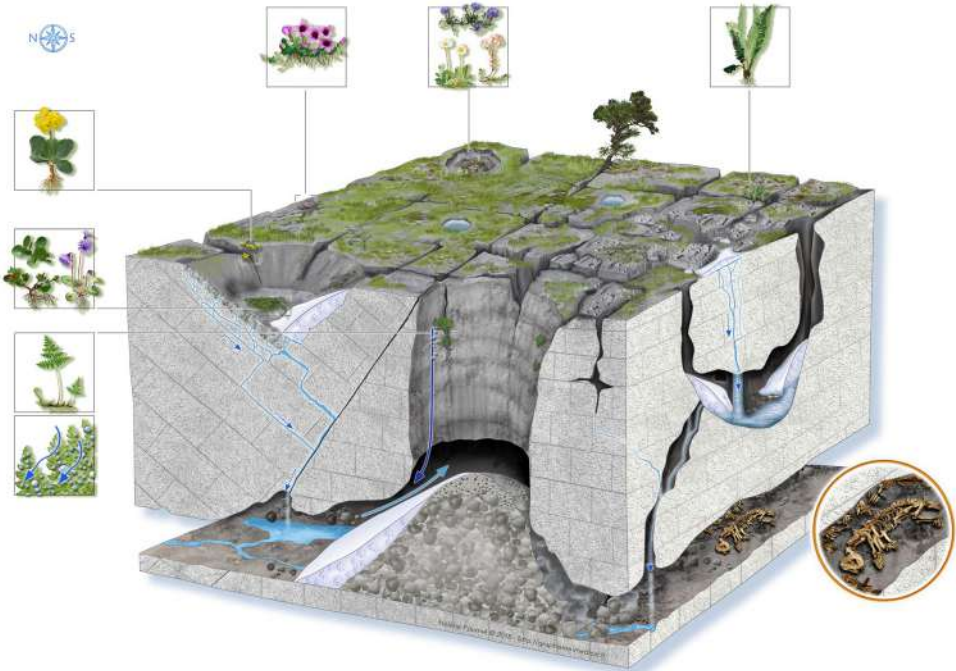
Les orbitolines appartiennent à un genre éteint de **Foraminifères** géants de 4 à 10 mm de diamètre, ayant proliféré entre le Barrémien et le Cénomaniens (Crétacé). Dans les massifs subalpins septentrionaux, les orbitolines sont souvent associées à un niveau géologique dans lequel leurs restes fossiles sont abondants. Ce niveau, de quelques mètres seulement, est souvent bien marqué dans le paysage car il forme une vire spectaculaire, perchée aux deux tiers supérieurs des parois verticales de calcaire **urgonien**, qui couronnent de nombreux sommets **subalpins**. Les «vires à orbitolines» forment des talus particulièrement nets et réguliers en Chartreuse, elles sont à l'origine des fameuses «randonnées du vertige» et sont aussi nommées «**sangles**».

Ours des cavernes

L'ours des cavernes est une espèce d'ours de grande taille apparue vers -250 000 ans et disparue vers -25 000 ans. L'ours brun, autre espèce d'ours moins lourd et moins grand,

était lui aussi présent durant ces périodes. L'ours des cavernes avait un régime alimentaire beaucoup plus orienté vers les végétaux que les apports carnés. Parmi les causes possibles et probablement multiples de sa disparition, figure le manque de flexibilité dans son régime alimentaire, au cœur de la période la plus froide de la dernière glaciation du **Würm**. L'ours des cavernes utilisait souvent des grottes favorables à ses longues périodes d'hivernation et pour la mise bas. En Chartreuse, plusieurs grottes ont délivré des ossements d'ours des cavernes qui témoignent de sites très favorables à la présence de l'espèce dans le massif. Parmi celles-ci, un site exceptionnel a été découvert par des spéléologues en 1988, la **grotte de la Balme à Colomb**, située sur le versant occidental du mont **Granier**, dans la réserve naturelle. Des milliers d'ossements ont été retrouvés et des analyses poussées ont été menées par un groupe de scientifiques (sous la direction de Michel Philippe), apportant des éléments de connaissance importants sur ce site unique et les très nombreuses générations d'ours ayant fréquenté ce site. Aujourd'hui, l'accès aux galeries souterraines de la Balme à Colomb est condamné pour éviter les pillages, mais un musée dédié restitue l'intérêt de ce site exceptionnel à Entremont-le-Vieux, à visiter absolument !

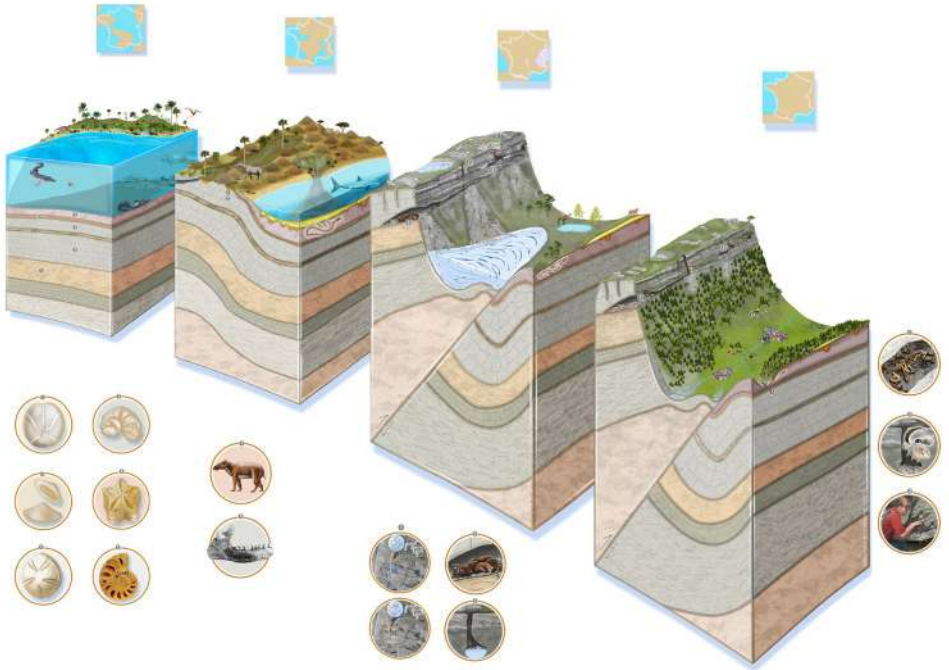
En cas de découvertes paléontologiques nouvelles dans d'autres réseaux souterrains, rappelons que les prélèvements sont strictement interdits, qu'il ne faut rien déplacer et prévenir dans les meilleurs délais les services de la réserve naturelle pour mettre en place les mesures de sauvegarde et d'analyse scientifiques appropriées.



[\(retour ours des cavernes\)](#)

### Paléogéographie

La paléogéographie consiste à tenter de comprendre et reconstituer la géographie des temps passés et son évolution à la surface du globe. Cet exercice fait appel à la géologie, la géographie physique (géomorphologie, climatologie...) et la paléontologie. Cette discipline révèle des changements considérables au cours de l'histoire de la Terre. Les connaissances paléogéographiques acquises tendent à montrer des phénomènes de cycles (tectoniques, d'érosion, climatiques...). Un cycle complet de préparation, de formation et d'érosion complète d'une chaîne de montagnes (cycle orogénique) est de l'ordre de 200 MA. Bien qu'il s'agisse d'un puzzle dont il manque de nombreuses pièces, en Chartreuse, les indices permettant de retracer des éléments paléogéographiques sont riches. Ils sont surtout contenus dans les **fossiles des roches sédimentaires** (le milieu de vie des organismes marins fossilisés), la tectonique et la disposition des plis qui ont affecté ces différentes roches sédimentaires, les moraines glaciaires, ou encore des sédiments piégés dans des **grottes d'altitude très anciennes**.



### Parc naturel régional

Un parc naturel régional est un outil de classement territorial défini comme suit dans le code de l'environnement :

« Un parc naturel régional peut être créé sur un territoire dont le patrimoine naturel et culturel ainsi que les paysages présentent un intérêt particulier. Les parcs naturels régionaux concourent à la politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social et d'éducation et de formation du public. À cette fin, ils ont vocation à être des territoires d'expérimentation locale pour l'innovation au service du développement durable

*des territoires ruraux. Ils constituent un cadre privilégié des actions menées par les collectivités publiques en faveur de la préservation des paysages et du patrimoine naturel et culturel.»*

Un parc naturel régional est donc un espace majoritairement rural dont on cherche à protéger et valoriser les différentes composantes ainsi que son identité territoriale et culturelle. Ce classement est soumis, entre autres, à une enquête publique et à l'approbation préalable des communes, et il n'implique pas, sauf exception, de réglementation particulière. La création des PNR est issue d'une réflexion approfondie menée à la fin des années 1960 en réponse au constat de dévitalisation de nombreuses régions rurales de France et la tendance à la banalisation des paysages avec les changements socio-économiques rapides du XX<sup>e</sup> siècle. Le PNR de Chartreuse a été créé en 1995 et sa charte, document cadre, a été renouvelée en 2023. Le classement est acté par l'État, mais les financements spécifiques en conséquence du classement sont principalement assurés par les régions, et un syndicat mixte est créé pour mettre en place les actions. Contrairement à ce que l'appellation pourrait laisser entendre, les actions mises en place dans un PNR ne concernent pas que la protection de la nature, mais de nombreux autres domaines (économie « durable », culture, tourisme, etc.) visant toutes à la revitalisation du territoire dans un environnement où le cadre « naturel » tient une place importante. À quelques nuances près, aucune réglementation spécifique ne s'applique dans les PNR, contrairement aux zones cœur des parcs nationaux ou aux réserves naturelles, dont les objectifs sont différents. Un classement en PNR n'implique pas la création d'une réserve naturelle, les deux démarches de classements sont indépendantes. Mais lorsqu'une réserve naturelle est créée au sein d'un PNR par l'État, la gestion lui est souvent confiée, comme c'est le cas en Chartreuse.

### Pastoralisme



Le pastoralisme est l'ensemble des pratiques liées à un mode de vie agricole reposant sur un usage extensif des pâturages et par conséquent, à un déplacement périodique des animaux domestiques. Dans les Alpes du Nord, le pastoralisme se manifeste traditionnellement par des déplacements rythmés par les saisons et la phénologie de la végétation, exploitant tour à tour les ressources fourragères des fonds de vallée et des versants d'altitude (« remues »), oscillant entre une ferme d'hivernage et un pâturage d'été dans le même massif (alpage ou « alpe/tte » en Chartreuse). Ce système « alpin » ou « helvétique » est possible à condition de stocker suffisamment de ressources pour l'alimentation des troupeaux en hiver, ce qui suppose la fenaison, le séchage et le stockage du foin, et un type d'habitat adapté en



conséquence pour abriter le troupeau en hiver. En été, l'organisation de la vie en alpage, avec des contraintes spécifiques d'accès et d'isolement, peut faire appel à des systèmes d'organisation collectifs (groupements d'alpages, fruitières...).

Dans les Alpes du Sud, les contraintes climatiques et fourragères peuvent impliquer traditionnellement des déplacements plus importants, prenant la forme de « transhumances » de plusieurs dizaines à centaines de kilomètres, concernant presque exclusivement des troupeaux ovins.

Sur les Hauts de Chartreuse, le système traditionnel est à rattacher à la première catégorie, mais le système « transhumant » existe actuellement également sur la réserve naturelle. Les modalités de la vie pastorale ont également beaucoup évolué en quelques générations. Jusqu'aux années 1950-1960, une organisation collective spécifique permettait de produire des fromages directement sur les alpages des Hauts de Chartreuse. Ce n'est plus le cas aujourd'hui, seules des bêtes à viande fréquentent les pâturages. Activité pluriséculaire, l'usage pastoral a eu un rôle dans la structuration actuelle des sols, et une influence importante sur les paysages et certains milieux naturels des Hauts de Chartreuse (ouverture et maintien de prairies à l'étage subalpin notamment). L'ancienneté de cette activité humaine, qui n'a cependant jamais été figée par tradition, ne doit pas faire oublier le subtil équilibre entre pastoralisme, ressources fourragères, ressources en eau, fragilité des sols et biodiversité en cas de modification des pratiques ou des paramètres climatiques.



Cliché : Hallier Claire

Ancien bassin d'abreuvement sculpté dans la roche calcaire, témoin de l'activité pastorale sur les Hauts de Chartreuse. [\(retour pastoralisme\)](#)

Pédogenèse

*(Gauche) : sol très rudimentaire sur roche calcaire compacte, de l'humus brut mal décomposé et acide recouvert de mousses, typique de l'étage subalpin. La pédogenèse y est très lente et difficile. / (Droite) : sol forestier de l'étage montagnard assez bien évolué, développé sur un dépôt morainique. On y distingue différents horizons colorés, montrant la bonne intégration des éléments organiques avec les débris du substrat rocheux.*

La pédogenèse est l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques qui aboutissent à la formation des sols et participent à leur renouvellement. Ces processus interagissent de façon complexe, et toute modification dans ces interactions provoque la progression, la régression, ou la transformation de ces sols. La pédogenèse est un processus de base, essentiel aux fonctionnements des écosystèmes. En montagne, l'omniprésence du froid associée à l'altitude ralentit l'ensemble des processus biologiques et donc la pédogenèse. L'altération des sols de montagne par les activités humaines (surcharge pastorale, piétinement touristique, coupes forestières sévères, acidification des sols calciques...) est un des problèmes importants pour la conservation des écosystèmes de montagne. La réserve naturelle des Hauts de Chartreuse n'échappe pas à cette problématique. [\(retour pédogenèse\)](#)

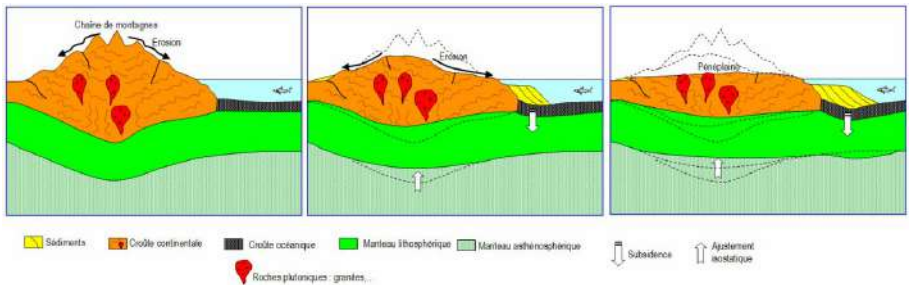
Pendage

*Sur les Hauts de Chartreuse, l'inclinaison des strates, marquée par des lignes parallèles entre les bancs rocheux, est souvent visible dans le paysage lorsque la roche n'est pas recouverte de végétation.*

Sens et degré d'inclinaison des couches géologiques sédimentaires à la suite des mouvements tectoniques par rapport à leur disposition horizontale d'origine. Sur les cartes géologiques éditées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), des symboles indiquent par endroits le sens et l'importance du pendage. Les pentes de versants des massifs sédimentaires ne correspondent pas souvent au pendage des couches : soit celles-ci ont été chanfreinées par l'érosion, soit les couches sont recouvertes sur tout ou partie par des dépôts meubles de diverses natures qui font un angle entre le pendage des couches et la pente réelle du versant. Le pendage des couches peut donc se vérifier sur le terrain seulement lorsque la stratification est directement visible (**joint de strates**), non masquée par la végétation. L'étude du pendage des couches des différentes parties d'un massif permet de reconstituer par projection la géométrie globale des structures géologiques et de proposer des coupes interprétatives. [\(retour pendage\)](#)

### Pénéplaine

Zone géographique globalement très plane ou faiblement ondulée, point d'aboutissement d'un cycle d'érosion d'une chaîne de montagnes. Une pénégplaine peut recouper à l'emporte-pièce différentes structures géologiques correspondant aux racines d'une chaîne de montagnes complexe, et présenter des parties colmatées par des sédiments. Durant la longue mise en place des reliefs alpins, certaines périodes d'érosion intense sous climat chaud auraient aussi, au moins en partie, pénégplanisé certains reliefs en cours de formation.



Par Virginie Marquet

<https://svtlyceedevenue.wordpress.com/theme-1-b-le-domaine-continental-et-sa-dynamique/chapitre-3-la-disparition-du-relief/>, CC BY-SA 3.0

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=58015080>

### Pergélisol

Parfois aussi désigné par le terme anglais permafrost, il s'agit de la partie d'un sol gelée de façon permanente. Deux grands types de pergélisol existent, en fonction de la température principalement. Le pergélisol froid, bien en dessous de la température de fusion de la glace, s'observe dans les plus hautes latitudes ou en très haute montagne actuellement dans les Alpes. On parle d'un pergélisol tempéré lorsque la température reste proche de 0 °C. L'existence d'un pergélisol est liée à plusieurs paramètres. La température moyenne annuelle de la surface du sol est le principal facteur, mais l'enneigement, le rayonnement solaire et la nature du terrain se combinent et peuvent expliquer sa présence à des altitudes diverses et de façon plus ou moins continue. [\(retour pergélisols\)](#)

Périglaciaire

Le domaine périglaciaire correspond à des zones soumises à des conditions climatiques froides, non **glaciaires**, où l'action du gel et des alternances de gel et de dégel joue un rôle important. Actuellement, les zones supérieures des Hauts de Chartreuse appartiennent au domaine périglaciaire. Le domaine périglaciaire était également dominant dans nos régions à toutes altitudes pendant de longues périodes, avant et après les grandes glaciations. ([retour périglaciaires](#))

### Perte karstique



(Gauche) : perte karstique d'un écoulement de surface conséquent en Vanoise, au contact d'un massif imperméable et d'un massif karstique / (Droite) : petite perte karstique sur les Hauts de Chartreuse, active seulement durant les épisodes pluvieux conséquents.

Orifice par lequel un écoulement d'eau disparaît au profit d'une circulation souterraine. Dans les massifs **karstiques**, les pertes sont fréquentes, situées souvent au contact de terrains imperméables avec des **calcaires** karstifiés. Lorsqu'un écoulement puissant vient d'une région imperméable, il peut se maintenir un certain temps en surface avant de disparaître progressivement par plusieurs pertes échelonnées au fond du cours d'eau, sans être toujours visibles. Sur les Hauts de Chartreuses, les pertes karstiques sont à la fois nombreuses et discrètes car l'omniprésence des terrains karstiques permet peu de concentrations d'écoulement en surface, ce qui est peu favorable au développement de pertes importantes adaptées à l'absorption de gros volumes d'eau.

### Petit âge glaciaire

Période relativement froide allant du début du xive siècle jusque vers 1860, qui aurait été liée à une activité volcanique importante. Dans les massifs glaciaires, les **glaciers** ont durant cette période connu une avancée notoire et laissé des **moraines** encore bien visibles aujourd'hui. [\(retour petit âge glaciaire\)](#)

### Phytoclastie



Contribution des végétaux à la dislocation des roches par l'action de leurs racines. En s'insinuant dans les fissures et **zones de faiblesse** des roches cohérentes, les racines des

plantes et les rhizoïdes des mousses créent des tensions importantes qui contribuent à la fragilisation mécanique des roches, et peuvent favoriser l'action d'autres processus (pénétration de l'eau dans la roche, **gélifraction**, hydroclastie, etc.).



### Piémont



Le piémont est une zone géographique située au pied d'une chaîne de montagnes, qui entretient des liens physiques et fonctionnels avec celle-ci. D'un point de vue **géomorphologique**, il est généralement constitué d'importants dépôts d'érosion issus de la chaîne de montagnes (plaine alluviale par remblais d'anciens lacs glaciaires, cônes de déjection, collines **molassiques**...). Le bassin de Saint-Laurent-du-Pont – Les Échelles, les collines de Miribel – Les-Échelles et du Voironnais sont typiques d'un piémont. [\(retour piémont\)](#)

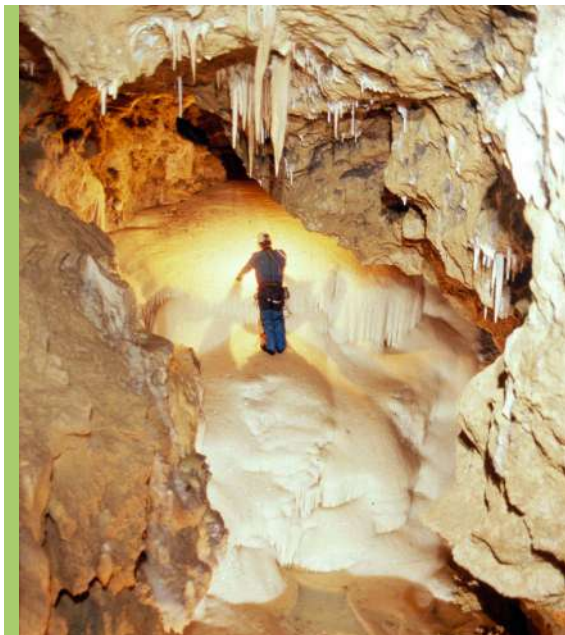
### Pipkrake



Les pipkrakes sont de fines aiguilles de glace (quelques millimètres à quelques centimètres) s'érigeant verticalement au-dessus du sol. Elles sont souvent surmontées de cailloutis ou de quelques particules de terre. Ce phénomène est lié à un épisode de gel brutal se manifestant dans un sol détremé par la pluie ou la fonte de neige de proximité. Le gel nocturne durcit le sol, sauf, dans un premier temps, là où des cailloutis jouent un rôle isolant qui retarde le gel. Plus tard, le gel se poursuit en profondeur dans le sol et expulse l'eau résiduelle protégée par les cailloutis dans une étroite colonne dans le sol. L'eau expulsée vers l'extérieur gèle au fur et à mesure et parvient à soulever quelques cailloutis. Il ne faut pas confondre les pipkrakes avec les aiguilles de givre sur la végétation qui résultent de la condensation et du gel de l'humidité atmosphérique. Ce phénomène de pipkrakes est visible et réalisé surtout dans les sols nus d'altitude, car plus bas, mousses et feuilles mortes masquent souvent le phénomène au promeneur et isolent plus facilement du gel profond. D'apparence anecdotique, les géomorphologues considèrent pourtant que ce phénomène aurait eu, durant les périodes plus froides, un rôle non négligeable dans l'érosion et le façonnage des versants de montagne. Répété à des milliers de reprises, il faut imaginer d'énormes quantités de particules soulevées de quelques centimètres du sol, puis retombant plus bas dans la pente au dégel... [\(retour pipkrakes\)](#)

### Plancher stalagmitique

Un plancher stalagmitique correspond à des couches de **calcite** recouvrant totalement ou partiellement le sol d'une **grotte**. Ce recouvrement est lié au dépôt par précipitation chimique du **carbonate de calcium** dissous dans les eaux ruisselant au sol de la **grotte**, par le même processus que la formation des **stalactites** et **stalagmites** (**spéléothèmes**). La présence de planchers stalagmitiques épais traduit des périodes d'abandon progressif d'une grotte par les eaux souterraines dans un contexte climatique favorable (présence de sol végétal en surface chargeant en CO<sub>2</sub> les eaux s'infiltrant ensuite dans la grotte). Plusieurs générations de planchers stalagmitiques peuvent traduire une alternance des conditions **paléogéographiques** extérieures et leur datation basée sur des méthodes paléomagnétiques (uranium-thorium) peut apporter de précieuses informations. De nombreuses grottes des Hauts de Chartreuse abritent des planchers stalagmitiques, dont certains sont plus ou moins démantelés, témoignant d'évolutions climatiques passées complexes.



Plancher stalagmitique composé d'une calcite particulièrement pure, dans un réseau karstique du Tarn.

### Plasticité des roches



 Plissement synclinal

 Faille

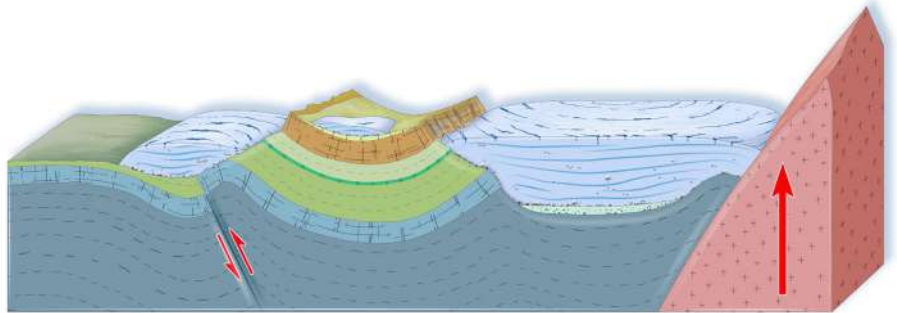
### Une traduction de la limite de plasticité des roches calcaires face à la poussée tectonique

Le temps long des déformations ainsi que l'échauffement permettent même à des roches cohérentes, comme les **calcaires**, de répondre de façon plastique à certaines contraintes tectoniques. Le réagencement des minéraux grain à grain contribue notamment à cette plasticité d'ensemble et la possibilité de plissements souples à l'échelle du paysage même dans des roches très rigides. Lorsque les contraintes tectoniques s'accroissent ou prennent différentes directions, le seuil de plasticité peut être dépassé et des cassures apparaissent (**diaclasses, failles**). Dans les calcaires massifs des Hauts de Chartreuse, plissements harmonieux et failles affectent les mêmes niveaux géologiques. Les grandes failles (pointillés rouges)



qui ont délimité en plusieurs compartiments le magnifique synclinal des Hauts de Chartreuse, correspondent à un mouvement tectonique secondaire oblique ayant engendré des décalages dans la structure plissée principale. C'est ainsi, par exemple, que le Granier (photo de gauche, au fond) a perdu son volet synclinal oriental, décalé vers l'est et sans doute d'avantage soumis à l'érosion régressive des parois bordant le massif. [\(retour plasticité des roches\)](#)

### Pléistocène



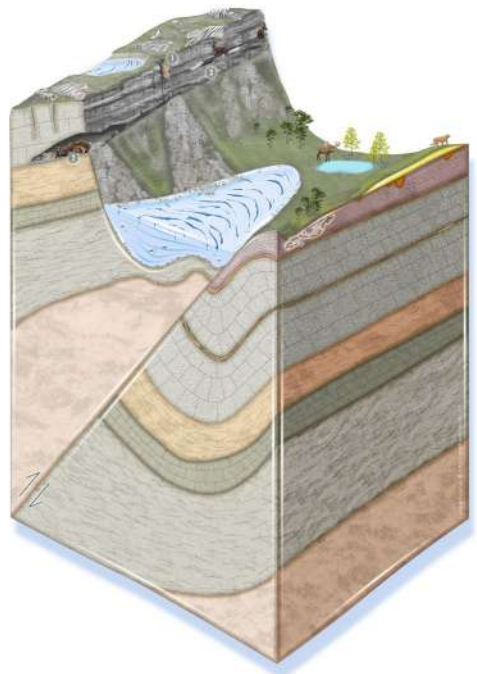
🕒 - 700 000 à - 500 000 ans (milieu du Quaternaire)

Le Pléistocène est la première époque géologique de la période du **Quaternaire**. Il débute à  $-2,58$  MA avec l'apparition des premiers hominidés jusqu'à  $-11\,700$  ans BP. Il est précédé par le Pliocène et suivi par l'**Holocène**. Le Pléistocène se distingue d'un point de vue climatique par l'alternance de plusieurs périodes glaciaires et interglaciaires. Dans les Alpes, en plus de l'action glaciaire, le soulèvement alpin s'est poursuivi.

🕒 - 48 000 ans - Ère quaternaire - Wümm

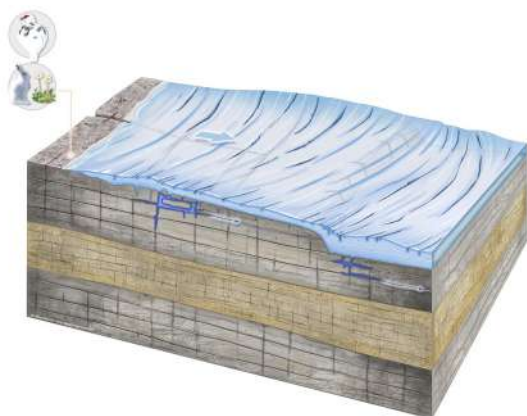


📍 Sites archéologiques contemporains du pléistocène



[\(retour pléistocène\)](#)

### Pléniplacaire



Un pléniplacaire est une période au cours de laquelle les **glaciers** ont atteint leur extension et leur dimension maximales. Le dernier pléniplacaire (**Würm supérieur**) a été daté dans nos régions entre –30 000 ans et –12 000 ans. Mais des glaciations plus anciennes (**Riss**, notamment), ont atteint des extensions encore supérieures. [\(retour pléniplacaires\)](#)

### Plio-quatenaire

Terme utilisé pour regrouper les événements se déroulant durant le Pliocène et le **Quaternaire**, soit les 5 à 6 derniers millions d'années. Dans nos régions des Alpes occidentales, le terme recouvre la dernière et importante phase de plissement/soulèvement alpine (phase rhodanienne) ainsi que la succession de périodes **glaciaires** et interglaciaires, soit de profondes et relativement rapides évolutions géographiques.

### Préalpes – Préalpin



*Paysage préalpin typique, massif des Bornes-Aravis.*

Au sens géographique large, ce terme désigne un ensemble de massifs situés en position externe de l'arc alpin, constitués de **roches sédimentaires** et dont les altitudes moyennes sont plus modestes que dans les massifs internes. Au sens géologique, la définition est beaucoup plus restrictive et ne peut pas s'appliquer à la Chartreuse. Le seul massif français pouvant être qualifié dans ce cas de « **préalpin** » est le Chablais, avec le prolongement en Suisse de ce domaine géologique spécifique. Ce dernier est caractérisé par d'importantes

nappes de charriage affectant des terrains sédimentaires en provenance de zones internes des Alpes, au contraire du domaine **subalpin** auquel appartient la Chartreuse qui concerne des terrains plissés autochtones. [\(retour massifs préalpins\)](#)

### Préboréal



Désigne une période située entre –10 300 et –9 000 ans BP et correspondant au début de l'époque **holocène**. Il marque la fin de la dernière oscillation froide ayant suivi la déglaciation du **Würm**. Les pins et les bouleaux étaient alors les espèces d'arbres pionnières dans les fonds de vallée et sur les versants de Chartreuse. [\(retour Préboreal\)](#)

### Puits



En région **karstique**, le terme « puits » peut désigner un conduit naturel souterrain à dominante verticale et de section plus ou moins cylindrique, pouvant recouper d'autres types de galeries souterraines aux morphologies différentes. Ces conduits sont fréquents dans les réseaux souterrains du type alpin et en Chartreuse. Les puits souterrains correspondent

souvent à une réponse au soulèvement des Alpes et à un approfondissement rapide des réseaux karstiques en conséquence. Dans la plupart des cas, le fond des puits est plus large que leur sommet, en forme d'éteignoir. Cette particularité est liée au fait que lorsque l'eau s'écoule en cascade depuis le sommet du puits, elle se disperse et diffuse des embruns qui auraient un rôle non négligeable dans l'élargissement basal des puits par dissolution. En **spéléologie**, le terme désigne, au sens large, les sections d'exploration verticales d'un réseau souterrain devant être franchies à l'aide de cordes. [\(retour puits\)](#)

### Puits-méandre



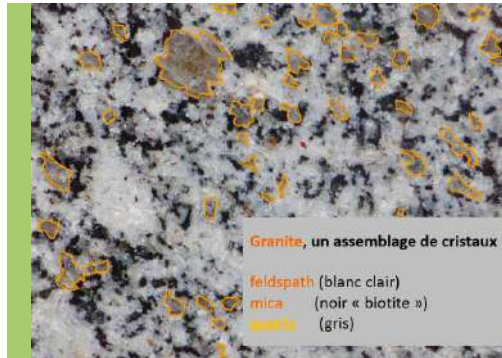
*(Gauche) : section de puits-méandre, développé initialement dans le milieu souterrain et exhumé par l'érosion karstique de surface*

En région **karstique**, forme particulière de galeries souterraines fréquemment développées dans les réseaux alpins et en Chartreuse et souvent associées à des **puits** « simples », se traduisant par des galeries verticales beaucoup plus hautes que larges et sinusoidales. Elles traduisent l'enfoncement rapide d'écoulements souterrains dans un contexte de fort potentiel hydraulique entre le point d'entrée des eaux et le niveau de base des **émergences** des réseaux souterrains. Ces formes sont généralement associées à un soulèvement récent des reliefs karstiques (soulèvement alpin) et de violents écoulements de fonte saisonniers lors des périodes **glaciaires**. Elles s'observent dans des roches **calcaires** particulièrement peu fracturées, ayant laissé libre cours au cheminement des écoulements, sans qu'ils soient guidés par des **diaclasses** ou des **failles**. En **spéléologie**, les puits-méandres sont des galeries pouvant poser, par leur étroitesse variable et leur hauteur, des problèmes particuliers de franchissement, obligeant à des techniques de progression dite « en opposition » ou encore « à l'égyptienne ».



[\(retour puits-méandres\)](#)

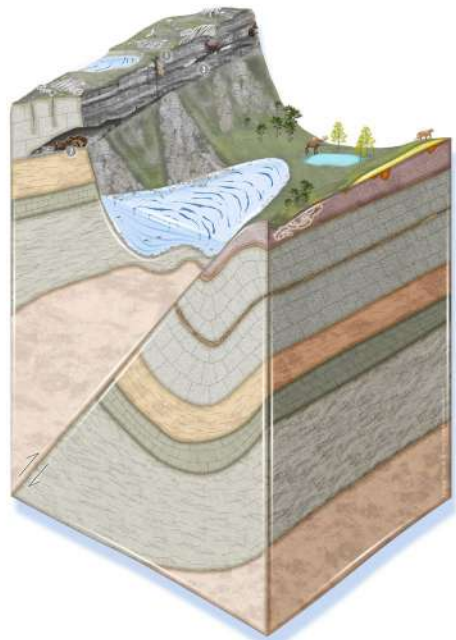
L.Thierry

Quartz

Minéral composé de silice, très résistant à l'altération mécanique ou chimique dans les processus d'érosion. Le quartz rentre dans la composition minérale de plusieurs roches cristallines, dont les granites et les gneiss, parmi d'autres minéraux moins résistants (micas, feldspaths...). Le sable est une roche composée presque uniquement de grains de quartz, alors que les autres roches ont été « digérées » par l'érosion durant les processus de transport continentaux jusque vers les mers ou les océans. La présence de sables et de quartz dans les massifs sédimentaires peut avoir plusieurs origines. Le démantèlement de couches de **calcaire** siliceux n'ayant laissé sur place que les quartz insolubles durant le **Tertiaire** explique par exemple la présence des sables réfractaires de Chartreuse. Bien plus tard, durant le **Quaternaire**, les glaciers ont apporté des roches cristallines contenant du quartz depuis les Alpes cristallines, laissant des **moraines** plus ou moins remaniées et dispersées dans le massif. ([retour quartz](#))

Quaternaire (ère ou période)

-40.000 ans - Ère quaternaire - 1900m



Après avoir historiquement été défini par les scientifiques comme une ère géologique à part entière, le Quaternaire a été officiellement reconsidéré en 2009 comme une période géologique (subdivision de l'ère du **Cénozoïque** – ou ère **tertiaire**). Cette période qui débute vers -2,58 MA jusqu'à aujourd'hui est caractérisée par une alternance de nombreux cycles climatiques **glaciaires** et interglaciaires dont la durée moyenne aurait été d'environ 100 000 ans. Le Quaternaire est lui-même subdivisé entre époque **pléistocène** et époque **holocène** (- 11 000 ans à aujourd'hui), mais la délimitation de la transition entre les périodes du Pliocène et du Pléistocène, au début de la période Quaternaire, reste très débattue. Dans les Alpes et en Chartreuse, le Quaternaire a marqué de profondes évolutions non seulement liées aux actions glaciaires et périglaciaires, mais aussi au soulèvement des Alpes qui s'est poursuivi et a contribué à l'encaissement des vallées. [\(retour Quaternaire\)](#)

### Radiation évolutive

Une radiation évolutive correspond à une évolution et une différenciation des espèces vivantes très rapides, multipliant la diversification des morphologies et de l'écologie des espèces. Une telle diversification s'est manifestée au sein des mammifères au début de l'ère **tertiaire** par exemple, après la grande crise d'extinction des dinosaures marquant la fin de l'ère **secondaire** et laissant de nombreuses **niches écologiques** disponibles. [\(retour radiation évolutive\)](#)

### Relicte glaciaire



Cliché : J.Bailly

*Dryade à huit pétales / Lagopède des Alpes / Lièvre variable et dryade à huit pétales /*

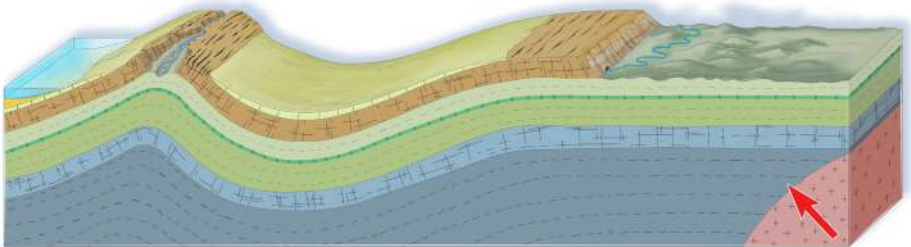
*Silène acaule / Chevêchette d'Europe*

Une relictte ou relique glaciaire est une espèce adaptée à un climat froid (mais pas forcément « **glaciaire** »), isolée dans un massif montagneux ou un site à microclimat froid en région tempérée du fait du retrait vers le nord des milieux favorables après les épisodes glaciaires. De nombreuses espèces emblématiques de la faune et de la flore des Alpes sont des relicttes glaciaires et forment des populations plus ou moins isolées de leur aire de répartition principale (Scandinavie, Russie...). Ce sont souvent des espèces au statut précaire.

[\(retour relictte glaciaire\)](#)

*Relief conforme*

Le relief est dit conforme à la structure géologique quand ses points hauts et ses points bas correspondent à la mise en place initiale des terrains par les mouvements tectoniques (plissements, **failles**), malgré le travail de l'érosion. C'est le cas, par exemple, quand un « mont » correspond au plissement **anticlinal** (en voûte) de couches géologiques, et qu'un « val » correspond à un pli en creux ou **synclinal** des couches géologiques. Si ce n'est plus le cas, on peut parler de relief non conforme, de relief dérivé, ou même de relief inversé par rapport à la structure. Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, le relief a beaucoup évolué au fur et à mesure de sa mise en place et n'est plus conforme à la structure : il a été inversé.



1 -10 à -5 MA (Miocène supérieur)

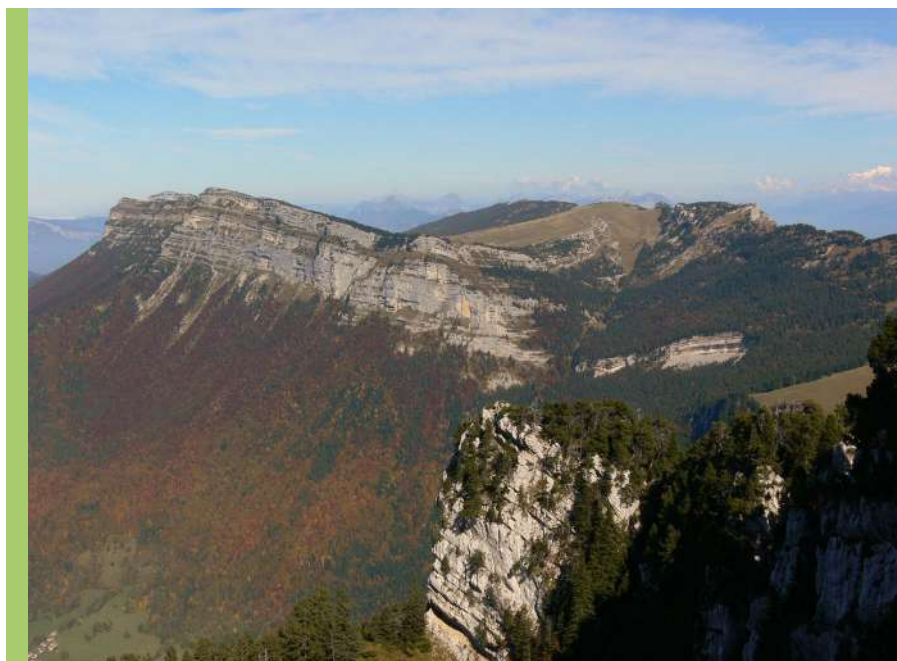


*Exemple de relief resté conforme à la structure, dans un environnement géologique très proche de la Chartreuse (Massif des Bornes Haute-Savoie). Les sommets sont moulés sur les plissements en voûte (anticlinaux, dont l'un est bien visible à droite de la photo), les vallons correspondent aux plissements en creux - synclinaux, dont l'un est bien visible au centre de la photo).*

*Cette conformité n'existe pas dans les Hauts de Chartreuse, où les voûtes anticlinales ont été totalement digérées par l'érosion (relief inversé). [\(retour relief conforme\)](#)*

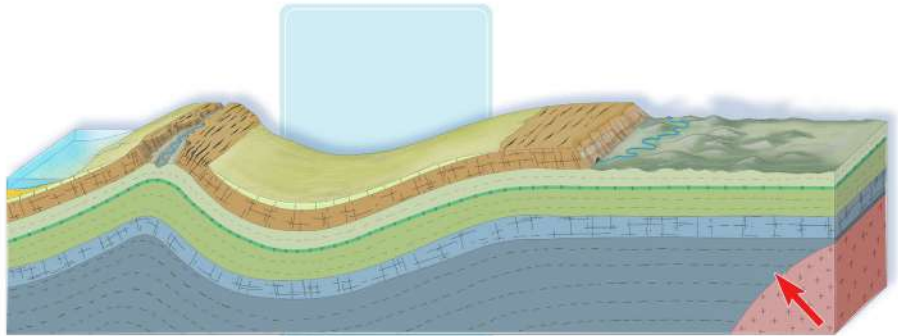
### Relief inversé

Le relief est dit inversé quand les sommets et points hauts du relief actuel correspondent à des zones qui étaient en creux lors du plissement initial du relief. Ce phénomène est entre autres lié au facteur d'**érosion différentielle**, qui progresse beaucoup plus rapidement dans certaines roches (**marnes**) que d'autres (**calcaires**). Les Hauts de Chartreuse forment un magistral exemple de relief inversé (synclinal perché) qui explique la disposition topographique originale du site.

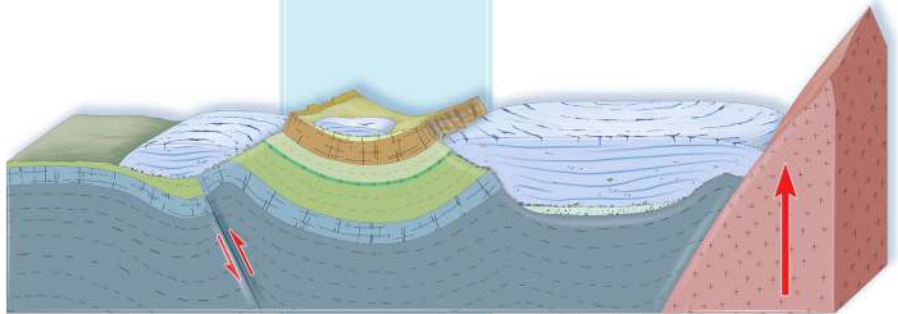




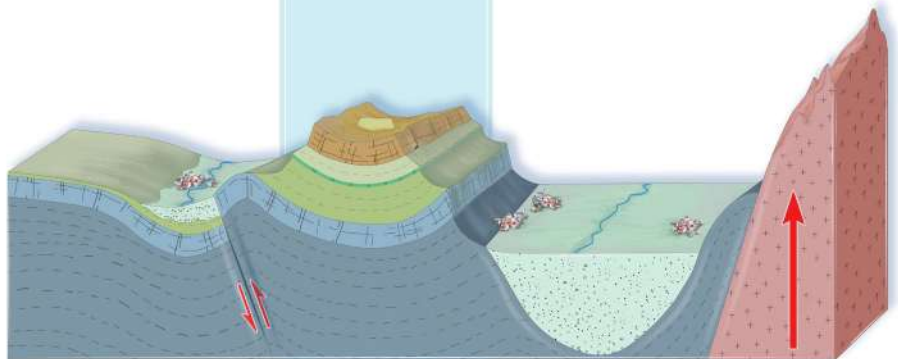
## Évolution probable de la bordure orientale de Chartreuse en relief inversé



1 -10 à -5 MA (Miocène supérieur)



2 - 700 000 à - 500 000 ans (milieu du Quaternaire)



3 Aujourd'hui

LÉGENDES			
	Glacier et blocs morainiques		Marnes Hauteriviennes
	Dépôts fluvioglaciers quaternaires		Calcaires du Valanginien
	Molasses tertiaires		Marnes du Valanginien / Bernisien
	Calcaires et craies du Crétacé Sup.		Calcaires du Tithonique
	Calcaires de faciès urgonien		Marnes noires de l'Oxfordien
			Socle cristallin

(retour relief inversé)

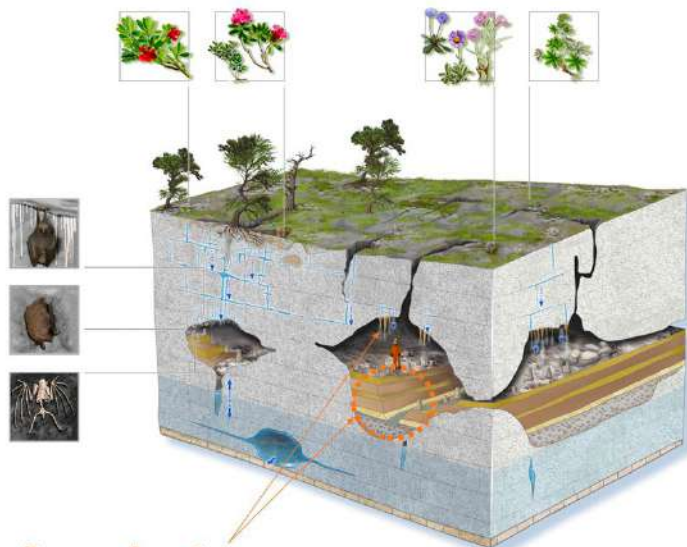
### Relief structural



Un relief est dit structural quand la surface topographique résulte de la structure géologique mise en place par la tectonique et qu'il reste peu évolué par rapport au dispositif initial. Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, par exemple, certaines pentes rocheuses correspondent parfaitement au dos des strates **calcaires**, suivant la même pente que le **pendage** de celles-ci : on peut parler ici de surfaces structurales. Mais souvent, les pentes structurales ont été soit digérées, soit recoupées en biseau par des agents d'érosion ou encore recouvertes par des dépôts ou des formations superficielles (**éboulis, moraines, colluvions...**). [\(retour relief structural\)](#)

### Remplissage endokarstique

Ensemble de matériaux naturels d'origine chimique ou détritique qui contribuent à colmater les galeries souterraines partiellement ou entièrement après ou pendant leur formation. L'étude et la datation de ces différents types de remplissages sont d'un intérêt scientifique majeur, car ils constituent des indices de paléoenvironnements préservés de l'érosion extérieure depuis de très longues périodes. Ils permettent aussi de reconstituer au moins partiellement l'âge et les modalités de formation des réseaux souterrains.



### Remplissages karstiques

Dans les réseaux souterrains de Chartreuse, les principaux types de remplissages sont :

- des **altérites remaniées**, qui correspondent à d'anciennes couvertures sédimentaires démantelées sous climat tropical et dont les résidus ont été piégés dans le **karst**. Ces altérites ont pu être remaniées par les écoulements souterrains, qui ont trié les parties les plus fines par décantation des **argiles** dans les points bas par exemple. Ce sont les premiers éléments susceptibles d'avoir colmaté les grottes chronologiquement.
- les **concrétions chimiques de calcite**, correspondant à des périodes chaudes avec couverture végétale.
- les **alluvions fluvioglaciaires**, mises en place par des écoulements puissants, empêchant le dépôt de particules fines. Ces écoulements étaient souvent liés aux eaux de fonte glaciaire, et transportaient par roulement sur le lit des matériaux de tailles diverses.
- les **varves carbonatées**, qui correspondent à la décantation de fines particules **calcaires** lors de l'enneigement des parties profondes des réseaux durant les écoulements saisonniers de fonte **glaciaire**.



### Réseau souterrain ou réseau karstique

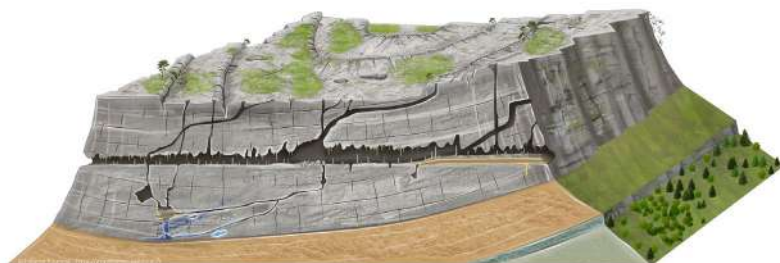
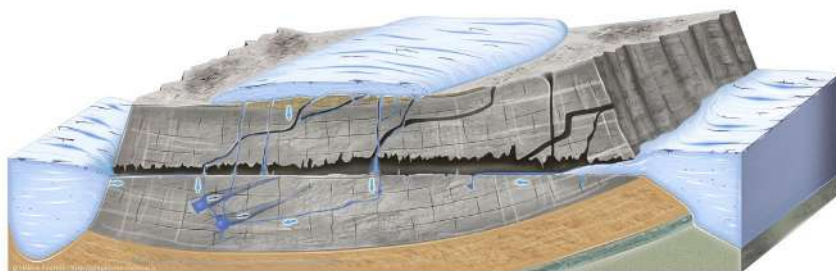
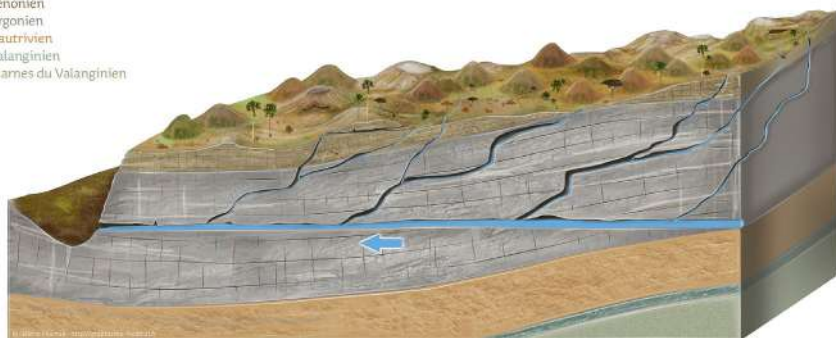
En région **karstique**, un réseau souterrain correspond à un ensemble de **grottes** et galeries naturelles connectées entre elles et qui correspondent à l'évolution du système de drainage hydrologique développé au sein d'un massif calcaire au cours du temps.

La géométrie et les interconnexions entre galeries peuvent prendre des aspects étonnants et peu commodes à comprendre (labyrinthes, étagement de galeries, arrêt brutal d'une grande galerie, etc.). Ces formes répondent à de nombreux paramètres, dont l'évolution au cours du temps de la tectonique (soulèvement du massif karstique), ou encore aux évolutions **paléogéographiques** et paléoclimatiques influençant le mode de creusement

des galeries, leur abandon, leur colmatage, ou encore leur éventuelle réutilisation ultérieure. Les réseaux souterrains des massifs karstiques alpins combinent, d'aval en amont, des conduites forcées (remplies d'eau en permanence), des galeries **actives** (parcourues d'eau en permanence mais pas forcément en plein), des galeries semi-actives (parcourues d'eau en période de crue ou de hautes eaux saisonnières uniquement), des galeries aveugles ou encore fossiles (totalement abandonnées par les eaux), des **puits-méandre**, des puits tubulaires verticaux. Les réseaux **spéléologiques**, au sens strict, correspondent à la partie des réseaux souterrains explorés/explorables par l'Homme, soit une partie seulement des réseaux souterrains réellement existants.

Sur les Hauts de Chartreuse, plusieurs réseaux souterrains gigantesques ont été explorés par les spéléologues, dont certains dépassent les cinquante kilomètres de galeries connectées entre elles. Ces réseaux correspondent à six principaux systèmes hydrologiques karstiques différents (Granier – Source des Éparres, Alpe-Alpette-Cernon, Alpette de la Dame – Mort-Ru, Aulp du Seuil – Guiers vif, Bellefont – Fontaine noire). Plus de 280 kilomètres de galeries de réseau souterrain ont été explorés à ce jour sur les Hauts de Chartreuse.

- Sénonien
- Urgonien
- Hautrivien
- Valanginien
- Marnes du Valanginien





(retour réseaux souterrains)

### Réserve naturelle (nationale ou régionale)



Une réserve naturelle correspond, en France, à un classement spécifique de « sites naturels » présentant des enjeux importants de protection de la nature. Ce classement peut être mis en place par l'État ou la Région. Il implique une réglementation spécifique, dont les dispositions sont prévues par la loi (code de l'Environnement). Le classement en réserve naturelle n'implique pas la maîtrise foncière des parcelles classées. Les réserves naturelles représentent un des outils majeurs de protection de la nature en France, elles sont protégées sur le long terme par un décret interministériel qui détaille les activités réglementées ou interdites. Outre la protection de tous les éléments constituant les écosystèmes (faune, flore, habitats naturels, patrimoine géologique...), les réserves naturelles ont aussi pour mission de contribuer à la connaissance scientifique et la sensibilisation du public au patrimoine naturel. Le classement en réserve naturelle n'exclut pas les activités humaines, mais cherche à les rendre compatibles avec la préservation des écosystèmes à protéger. Des moyens spécifiques

sont mis en place pour assurer ces missions, notamment la surveillance et la prévention des atteintes environnementales. Les réserves naturelles sont créées après un processus de concertation et d'enquête publique. Les différentes organisations socioprofessionnelles et les administrations concernées se réunissent régulièrement en comité consultatif pour débattre et s'exprimer sur les décisions de gestion importantes. Les zones classées en réserve naturelle représentent environ 0,6 % de la surface de la France métropolitaine.

La réserve naturelle nationale des Hauts de Chartreuse a été classée en 1997, instituée par le décret n° 97-905. Elle couvre une surface de 4445 hectares, du mont Granier à la Dent de Crolles. Le projet a été initié en 1978 par la FRAPNA (Fédération Rhône-Alpes de protection de la nature), puis pris en charge par les services de l'État. La gestion de cette réserve naturelle est assurée depuis sa création par le parc naturel régional de Chartreuse sous convention avec l'État. ([retour réserve naturelle](#))

### Rhexistasie



Concept permettant de désigner un ensemble de conditions liant l'évolution des sols à celle du tapis végétal et de certains modelés du relief dans un contexte de dégradation climatique et/ou d'érosion. Il s'oppose au terme de **biostasie**. Dans les périodes de rhexistasie, une rupture de l'équilibre des sols se manifeste, soit du fait de péjoration de conditions climatiques, soit du fait de l'action anthropique, ou encore de mouvements tectoniques. Des amorces d'érosion régressive se créent, les sols sont de moins en moins préservés de l'érosion mécanique des eaux par une végétation insuffisamment stable et couvrante. La roche sous-jacente est mise à nu, et, en montagne, soumise directement aux actions mécaniques de ruissellement, de gel-dégel, ou encore d'incision directe par la dissolution de la roche (**calcaire**). En conséquence, le substrat rocheux devient de plus en plus difficile et sélectif pour les plantes, dont le pouvoir couvrant et protecteur est moindre. Lorsqu'une telle boucle de rétroaction se crée, on parle de « crise rhexistasique ». Les formes de relief peuvent ainsi évoluer, une crise rhexistasique contribuant à rajeunir par des formes « vives » les modelés des roches antérieurement recouvertes. Sur les Hauts de Chartreuse, par exemple, il est courant d'observer sur des lapiaz aux formes émoussées, quelques formes traduisant une dissolution linéaire directe : des **lapiaz** en « peigne ». ([retour rhexistasie](#))

### Riss

Le Riss désigne l'avant-dernier grand âge **glaciaire** connu dans les Alpes, qui se serait étendu de -300 000 ans à -130 000 ans environ. Durant cet âge glaciaire, les glaciers se sont avancés plus loin dans les plaines périalpines que durant le dernier âge glaciaire qui a laissé des

traces plus nettes car plus récentes (**Würm**). Lors du Riss, on estime que de nombreuses oscillations glaciaires se sont manifestées, et avec elles plusieurs mouvements de flux et de reflux des glaces.



(retour Riss)

### Roche sédimentaire



*Les Hauts de Chartreuse sont composés de différents niveaux et types de roches sédimentaires, toutes caractérisées par une stratification plus ou moins visible dans le paysage.*

Les roches sédimentaires représentent une très grande famille de roches ayant pour point commun d'être le résultat de l'accumulation de dépôts de matériaux d'origines diverses et plus ou moins transformés au fond des mers, des lacs ou encore dans des dépressions continentales. Elles se différencient des roches magmatiques, issues des profondeurs de la terre et résultant d'un refroidissement plus ou moins rapide vers ou à la surface.

Les matériaux à l'origine des sédiments peuvent être des résidus d'autres roches érodées sur le continent (sables, **argiles**...), des éléments chimiques précipités (gypse, sel gemme, **calcite**, certains **calcaires**...), ou encore des débris organiques (récifs de polypiers, de rudistes, coquillages accumulés). Une infinité de faciès existent parmi les roches sédimentaires, selon les conditions et la nature des dépôts. En Chartreuse, les roches constituant le massif sont toutes sédimentaires, alternant principalement calcaires et **marnes**, dans des proportions variées. De façon plus anecdotique dans le paysage, des poches de **sables** peuvent être observées dans certains niveaux supérieurs, traduisant une érosion sous climat chaud et humide (Éocène) après le retrait de la mer des dernières couches sédimentées. Parmi les calcaires, le faciès **urgonien** est emblématique et spectaculaire, il forme la plupart des hautes parois sommitales. Quelques roches magmatiques, très discrètes, peuvent toutefois être observées çà et là dans des dépôts superficiels de surface : il s'agit de blocs **morainiques**, apportés par les glaciers durant le **Quaternaire** depuis les Alpes cristallines.

### Rudiste

Les rudistes sont un ordre de mollusques bivalves, ayant prospéré durant l'Ère secondaire et ayant disparu à la fin du Crétacé, il y a environ 65 MA. Une grande diversité de formes a existé. Leur coquille était longue et épaisse, et les valves asymétriques. La plupart des rudistes présentaient une valve creuse de forme conique, courbée en forme de corne et une valve plate plus petite. Les rudistes sont des fossiles bioconstructeurs abondants dans les calcaires de faciès urgonien des Hauts de Chartreuse. Dans la plupart des cas, seules les sections des coquilles sont visibles.

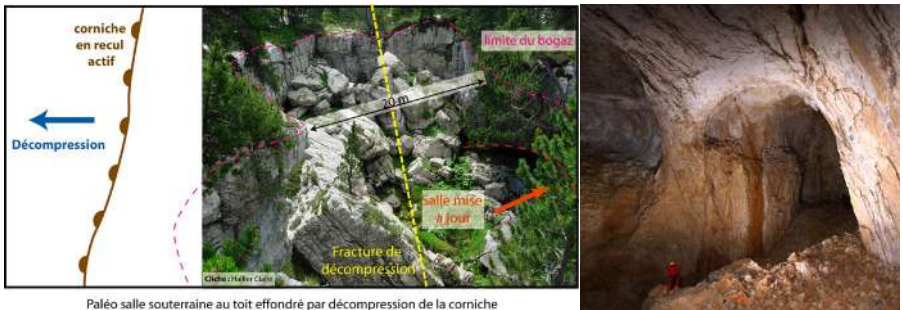


### Sables rouges

Dépôts de sables rougeâtres plus ou moins purs occupants en divers endroits de Chartreuse des cavités karstiques exhumées. Ces sables rouges proviennent de l'altération de couches géologiques supérieures par dissolution sous climat chaud, durant l'ère tertiaire (Éocène-Oligocène). Ils ont parfois été piégés et conservés dans des cavités karstiques affectant les niveaux calcaires sous-jacents. Au sein de ces cavités, ils ont pu être parfois indurés dans des processus complexes. [\(retour sables rouges\)](#)



### Salle souterraine (karst)



Paléo salle souterraine au toit effondré par décompression de la corniche

Dans les réseaux souterrains, portions de galeries ayant pris des volumes importants et formant des espaces de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres de largeur et de hauteur. La fracturation tectonique peut favoriser l'élargissement ponctuel des vides souterrains, la convergence de différentes galeries est également parfois un facteur favorable. Parfois le plafond peut s'effondrer et se traduire par un grand creux en surface encombré d'un chaos de bloc rocheux.

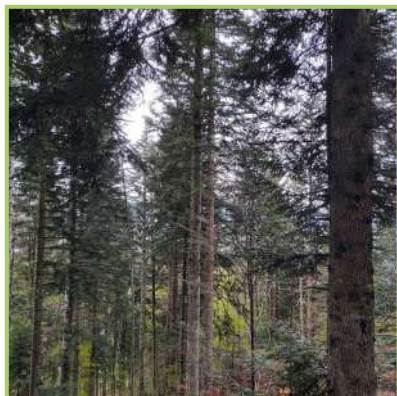
### Sangles



Terme propre à la Chartreuse désignant les vires longitudinales caractéristiques parcourant les hautes parois rocheuses. Voir aussi : **vire à orbitolines**. [\(retour sangles\)](#)

### Sapinière

Forêt essentiellement composée de sapins, qu'il ne faut pas confondre avec la pessière, composée essentiellement d'épicéas. En Chartreuse, les sapinières « pures » n'existent pas, elles sont plutôt à considérer comme des hêtraies-sapinières, car le sapin est rarement dominant naturellement (étage montagnard), au contraire de l'épicéa qui domine nettement dans l'**étage subalpin**. En revanche, durant l'**Holocène**, il est fort probable que des sapinières dominaient largement l'étage subalpin dans un contexte climatique un peu plus chaud et humide.



(retour sapinières)

### Sauveterrien

En préhistoire, le Sauveterrien est une culture **mésolithique** caractérisée par des armatures de flèche en forme de triangle ou d'aiguille dont la dimension n'atteint souvent pas 2 centimètres; des trapèzes s'y ajoutent dans les stades récents. Le Sauveterrien s'étend de 8 000 à 4 500 avant J.-C.; il occupe la moitié sud de la France.

### Sénonien



Division géologique et stratigraphique du **Crétacé supérieur** (ère **secondaire**), dont l'emploi tend à disparaître au vu de l'évolution de la connaissance de la stratigraphie. Le terme a été choisi en référence de la ville de Sens. Sur les Hauts de Chartreuse, le Sénonien correspond aux couches géologiques les plus récentes, et qui n'ont été conservées de l'érosion que dans des secteurs restreints (Alpette de Chapareillan, Alpette de La Dame). Il s'agit de **calcaires** crayeux, qui correspondent au niveau « **campanien** », terme préférable désormais à celui de « sénonien ». (retour Sénonien)

### Silicates

Grande famille de minéraux qui rentrent dans la composition de très nombreuses roches et constituant 97 % de la croûte terrestre. Leur structure est formée principalement de tétraèdres de silicium et d'oxygène, auxquels peuvent s'ajouter divers éléments: aluminium, magnésium, fer, calcium, sodium, etc. L'érosion chimique des roches contribue à défaire ces structures (ex: hydrolyse) et à libérer différents types d'éléments selon leurs résistances relatives ou leurs propriétés à se recombina chimiquement. (retour silicates)

### Sillon alpin

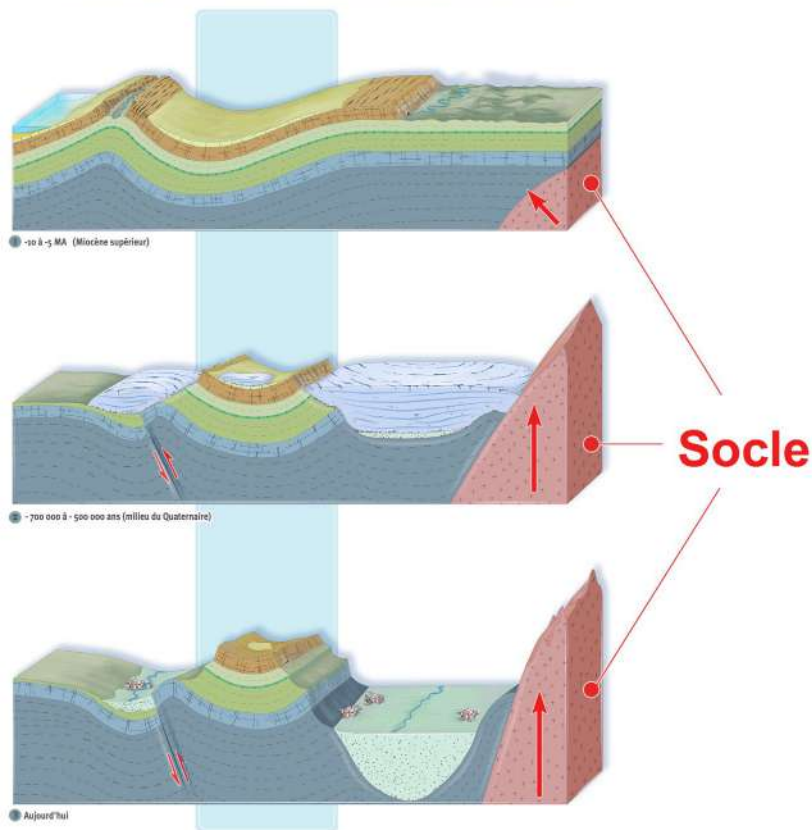


Le Sillon alpin est une vaste dépression allongée qui s'étend du seuil de Megève au nord au col de la Croix-Haute au sud, dont les parties les plus vastes sont constituées par la combe de Savoie et le **Grésivaudan**. Entre l'est et l'ouest, il sépare les **massifs subalpins** et les massifs centraux. Sa formation géologique est complexe, mais au moins deux facteurs se seraient combinés : d'une part, la formation des massifs centraux (et en particulier les massifs cristallins externes) aurait provoqué le glissement des séries sédimentaires des massifs subalpins vers l'ouest, créant en arrière une vaste déchirure structurale. Celle-ci s'est ouverte dans des terrains sédimentaires tendres, qui ont été sensibles à une érosion rapide, notamment durant les périodes **glaciaires**.

### Socle

En géologie, le socle désigne un grand ensemble de roches ayant subi un ou plusieurs cycles complets de formation de chaînes de montagnes (déformations tectoniques, métamorphisme, intrusions granitiques, érosion et **pénéplanation**) et n'existant plus que sous la forme de racines totalement recoupées et aplanies par l'érosion. Le socle rigide peut ensuite être plus ou moins gauchi par la tectonique et être affleurant sur de vastes surfaces bombées (boucliers), ou être affaîssé et recouvert de sédiments marins ou lacustres (bassins sédimentaires). L'ensemble de ces sédiments est alors nommé « couverture » puisqu'il recouvre, au moins partiellement, le socle. Dans le cadre particulier de la formation d'une nouvelle chaîne de montagnes, les compressions tectoniques peuvent amener à porter des panneaux de socle à de très hautes altitudes le long de vastes plans de **failles**. Dans ce cas, les roches observées sont bien plus anciennes que les mouvements tectoniques qui les ont soulevés. La Chartreuse correspond à une couverture de socle soulevée et poussée vers l'ouest par l'émersion de panneaux de socle correspondant à la chaîne de **Belledonne**.

## Évolution probable de la bordure orientale de Chartreuse en relief inversé



[\(retour socles\)](#)

### Solifluxion

En géomorphologie, désigne un mouvement plastique à liquide de roches à fort teneur en **argile** pouvant apparaître sur des pentes de versants imbibées d'eau. Il s'explique par la forte capacité d'absorption en eau des argiles, modifiant leur état physique. Dans les paysages, les formes liées à ce phénomène sont typiques, tels des « coups de cuillère » dans les flancs de la montagne, on parle parfois de « loupe de solifluxion ». Dans les **Préalpes** du Nord, au climat humide, le phénomène peut être dangereux pour certaines installations humaines souvent établies sur des pentes marneuses riches en argile.

### Spéléologie / exploration spéléologique

Discipline consistant à explorer et étudier les cavités souterraines naturelles. L'activité spéléologique mondiale s'exerce en grande majorité en région **karstique**, processus majeur de formation de cavités naturelles apte à développer d'immenses réseaux souterrains et posant de nombreux défis scientifiques et d'exploration. Mais l'activité peut aussi se pratiquer marginalement en contexte volcanique (tubes de lave) ou **glaciaire** (moulins et cavités des eaux de fonte proglaciaires). Les Hauts de Chartreuse font partie des hauts lieux de la

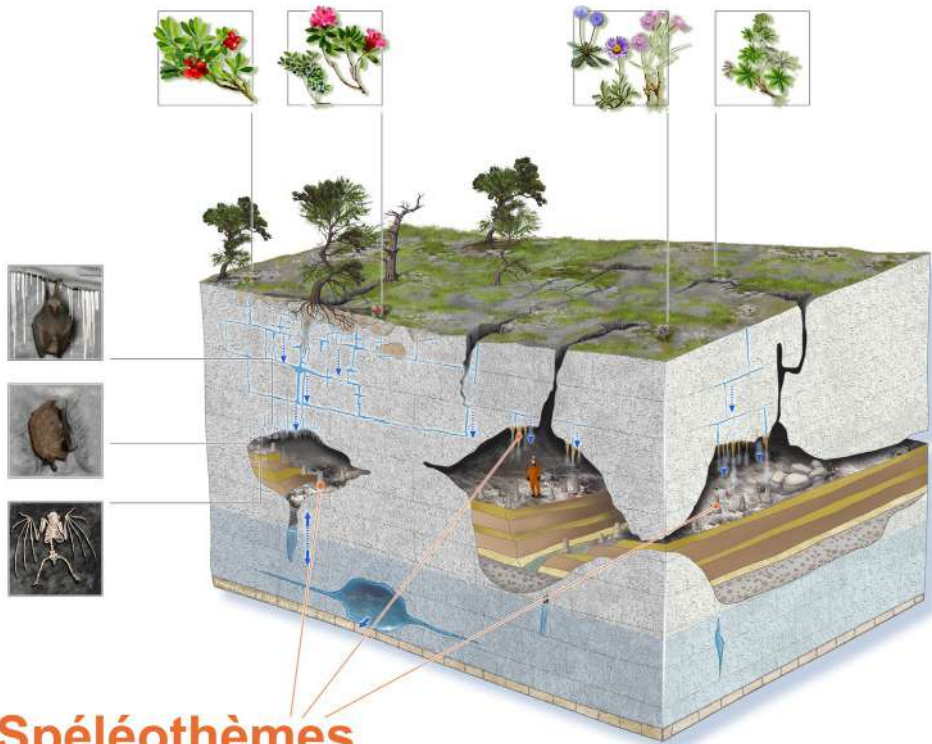
spéléologie française et mondiale. Ceci s'explique par des conditions naturelles favorables à l'exceptionnelle dimension de plusieurs réseaux souterrains, mais aussi par la place prise dans l'histoire de la discipline de quelques pages d'exploration et d'évolutions techniques dans des réseaux souterrains devenus emblématiques (**Dent de Crolles**, réseau de l'Alpe). Le classement en **réserve naturelle** doit garantir l'esprit d'une pratique d'exploration et d'aventure scientifique, dans le respect des **géopatrimoines**, des espèces et des archives environnementales que ces réseaux contiennent. Des autorisations exceptionnelles de campements spéléologiques sont délivrées au sein de la réserve naturelle pour poursuivre l'effort d'exploration et de connaissance scientifique de ces fascinants réseaux souterrains.



[\(retour exploration spéléologique\)](#)

### Spéléothèmes

Le terme désigne toutes les formes de concrétions de calcite dans les réseaux **karstiques** (**stalactites**, **stalagmites**, **planchers stalagmitiques**, **draperies**, **gours**, **fistuleuses**, etc.). Les spéléothèmes sont formés à partir de la circulation d'une eau acidifiée dans les fissures du sol au contact de laquelle une partie de la roche **calcaire** est dissoute. Quand l'eau infiltrée dans les sols, puis la roche, débouche dans une galerie souterraine de grandes dimensions, l'air y circule librement, la pression de gaz carbonique diminue, et le calcaire dissous est restitué par l'eau sous forme de concrétions de calcite qui forment en s'accumulant des spéléothèmes. L'acidité de l'eau de pluie et sa capacité à dissoudre du calcaire sont multipliées de plusieurs ordres de grandeur au contact du gaz carbonique produit par la respiration des végétaux. Ce phénomène est donc efficace lors des périodes chaudes et humides favorables à une intense activité végétale. Les spéléothèmes sont de précieux indicateurs des climats passés. Ils enregistrent également les crises érosives du sol et peuvent renfermer et conserver des pollens. Sur les Hauts de Chartreuse, les plus grands spéléothèmes sont séniles et correspondent à des périodes chaudes et humides du passé.



# Spéléothèmes

[\(retour spéléothèmes\)](#)

Stalactite

Concrétion de **calcite** se formant au plafond d'une **grotte**, dans le sens descendant, au débouché d'une fissure où suinte de l'eau. Celle-ci dépose le **calcaire** qu'elle a dissous précédemment pour se mettre en équilibre chimique avec un air moins saturé de gaz carbonique dans la grotte que dans la fissure. Voir aussi **spéléothème** et **remplissage karstique**. [\(retour stalactites\)](#)

Stalagmite

Concrétion de **calcite** conique et plus ou moins élancée, se formant au sol d'une **grotte**, sous l'effet d'un goutte-à-goutte provenant d'une fissure du plafond. Lorsqu'une stalagmite rejoint une **stalactite**, on parle de colonne. [\(retour stalagmites\)](#)

Station abyssale

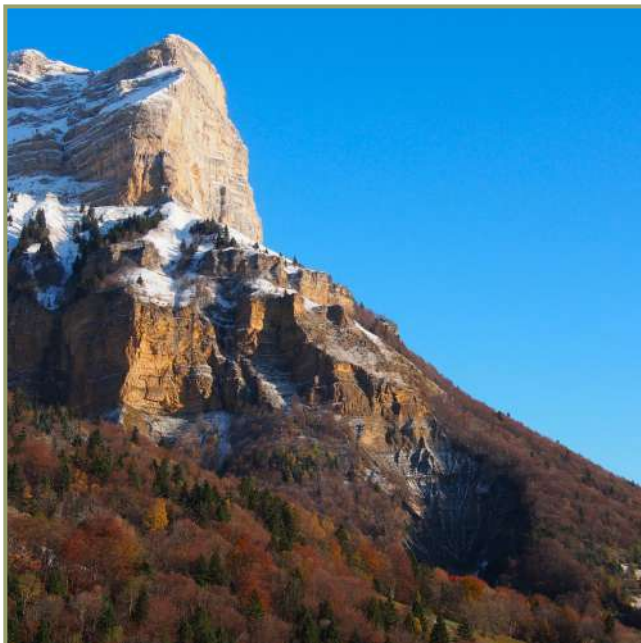
En écologie montagnarde, ce terme est utilisé pour désigner un site où s'observe une communauté d'espèces végétales se rencontrant habituellement beaucoup plus haut en altitude. Ce phénomène est lié à des anomalies microclimatiques froides à une altitude donnée. Dans la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, de remarquables stations

abyssales sont connues et étudiées (La Plagne, cirque de Saint-Même), implantées sur des **éboulis froids** renfermant de la glace entre les blocs et exhalant de l'air froid jusqu'au cœur de l'été. Sur ces sites, des espèces observables à plus de 1 800 mètres d'altitude en Chartreuse se maintiennent à environ 1 000 –1 100 mètres d'altitude.



[\(retour stations abyssales\)](#)

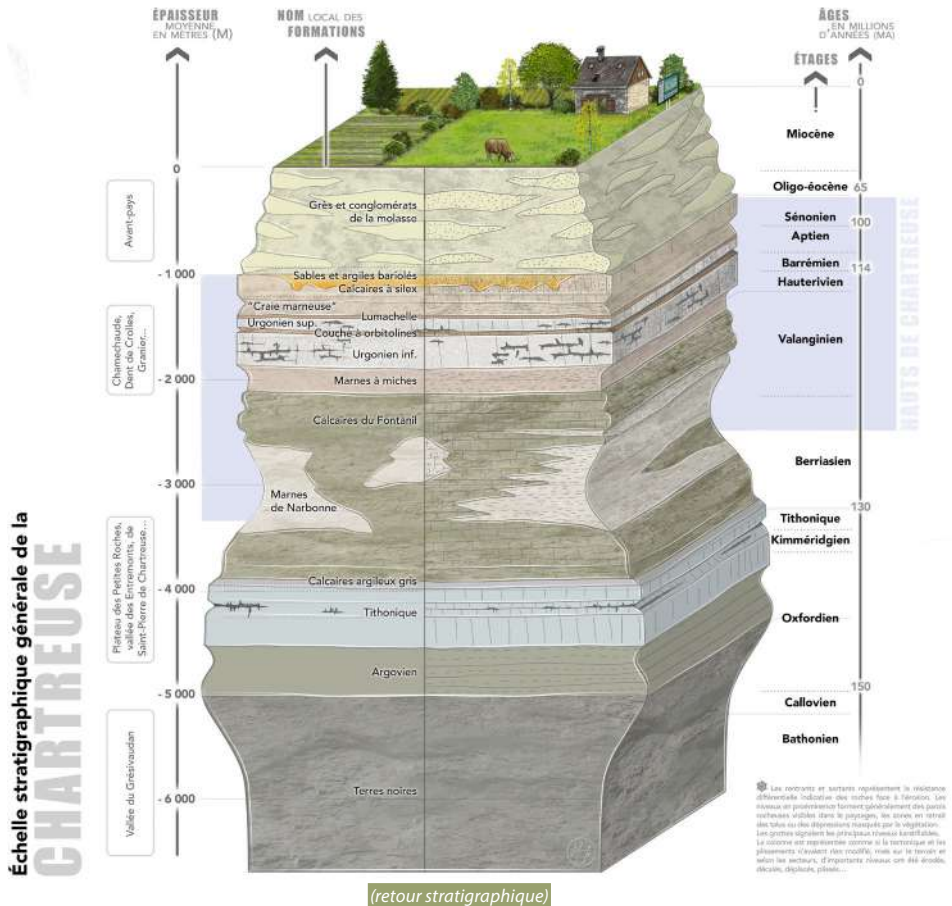
### Stratigraphie



Description et étude de la succession des différentes couches géologiques sédimentaires. Les principes de continuité et de superposition permettent, en analysant les strates sur le terrain, de reconstituer et de comparer les différents événements chronologiques ayant pu affecter les dépôts en un lieu donné et de recouper les informations avec la stratigraphie



d'autres lieux. Le résultat concret de ce patient travail se matérialise par la représentation d'une colonne stratigraphique faisant apparaître la succession, l'épaisseur, l'âge et la résistance relative des couches sédimentaires en un lieu donné.



### Stries glaciaires

Rayures peu profondes affectant certains blocs rocheux disposés dans une direction parallèle et résultant de l'abrasion **glaciaire**. Les stries sont causées par le frottement des **moraines de fond** (cailloux, graviers) transportées à la semelle des **glaciers**. Les stries glaciaires visibles datent généralement de la dernière période glaciaire, ou, dans les régions proches des glaciers existant actuellement, du **petit âge glaciaire**. Elles aident parfois à retracer le parcours et la direction d'anciens glaciers. En Chartreuse, les stries glaciaires ont été quasiment systématiquement effacées par la **karstification**.



*Dans les massifs montagneux présentant des roches cristallines massives, des stries glaciaires ont pu être bien conservées des phénomènes d'érosion ultérieurs, contrairement aux massifs karstiques comme les Hauts de Chartreuse. [\(retour stries glaciaires\)](#)*

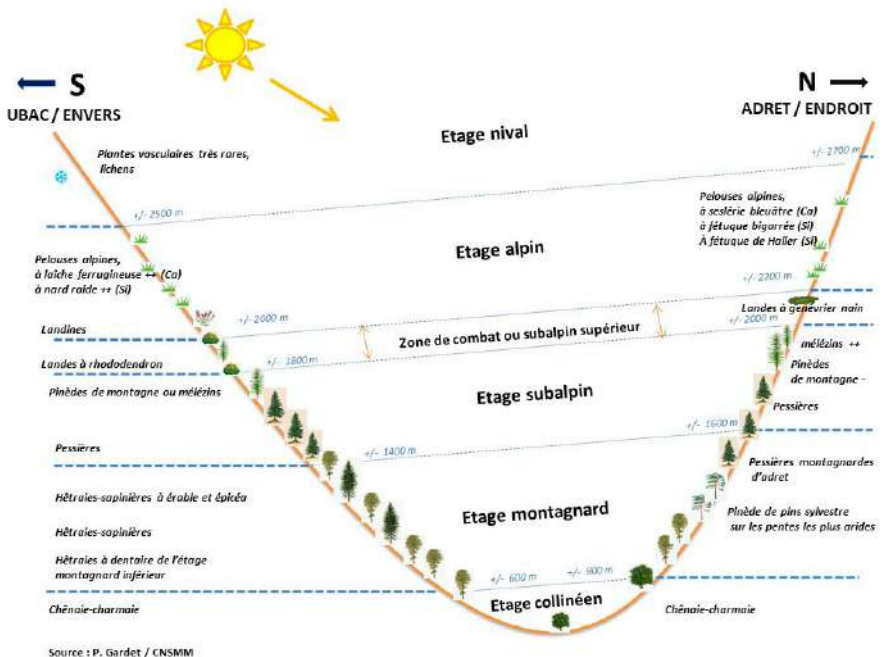
### Subalpin (étage de végétation)

L'étage de végétation subalpin est une ceinture de végétation naturelle qui se distingue dans le paysage et se situe entre l'**étage montagnard** (forêts mixtes), qu'il domine, et l'**étage alpin**, qui lui succède vers le haut. L'étage subalpin est le dernier étage avant la limite naturelle de la forêt, avant les pelouses « naturelles » de l'étage alpin.

Sur les Hauts de Chartreuse, l'étage subalpin peut être approximativement situé entre 1 400 et 1 900 mètres d'altitude. Il coïncide avec les altitudes de presque toute la surface des vallons perchés, à l'exception des plus hauts sommets qui flirtent avec l'étage alpin (**Dent de Crolles**, Lances de Malissard, Dôme de Bellefont). Dans le détail, cet étage est loin d'être monotone et du fait de conditions climatiques qui commencent à être très sélectives, la variation des autres facteurs occasionne d'importantes nuances d'**habitats naturels** qui contribuent à la grande diversité écologique du site. On peut grossièrement distinguer un étage subalpin inférieur largement dominé par l'épicéa avec quelques infiltrations marginales de feuillus spécialisés (sorbier des oiseleurs, érable sycomore, bouleau pubescent, aulne vert), d'un étage subalpin supérieur largement dominé par le pin à crochets, avec une transition située aux alentours de 1 700 mètres d'altitude. Les pelouses d'alpage des Hauts de Chartreuse utilisées et maintenues par l'usage pastoral sont des pelouses subalpines paranaturelles, gagnées de longue date sur l'espace forestier. Elles participent elles aussi de la grande diversité végétale de l'étage subalpin, lorsqu'elles ne sont toutefois pas pâturées de façon trop intensive. Dans le cas contraire, l'acidification des sols amène une flore appauvrie et stéréotypée, et par ailleurs moins nutritive pour la faune sauvage comme pour le bétail.



(Gauche) Pic de Jallouvre, chevron résiduel de la retombée anticlinale du Bargy, massif des Bornes / (droite haut) : Arcalod, massif des Bauges / (droite bas) : Chamechaude et retombée orientale de la Chartreuse

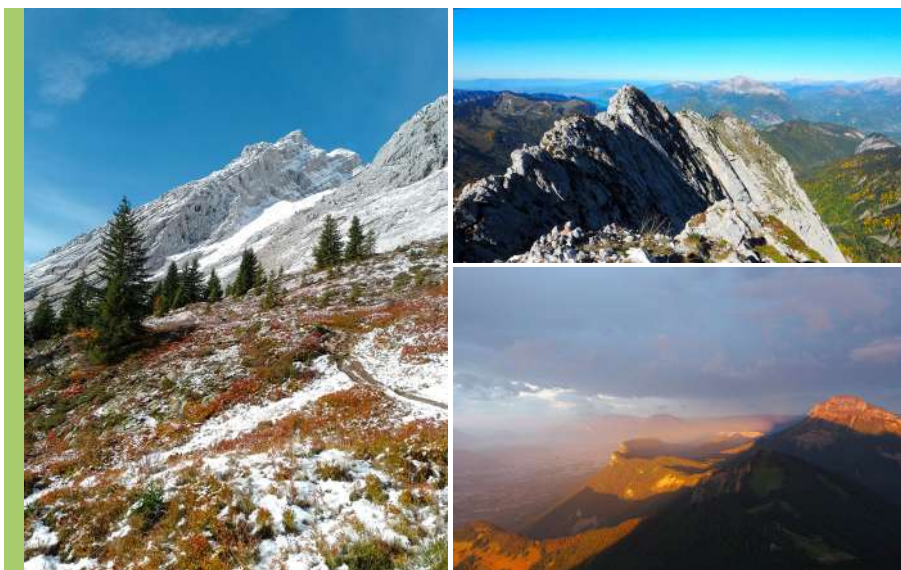


(retour étage végétation subalpin)

Subalpin (massif)

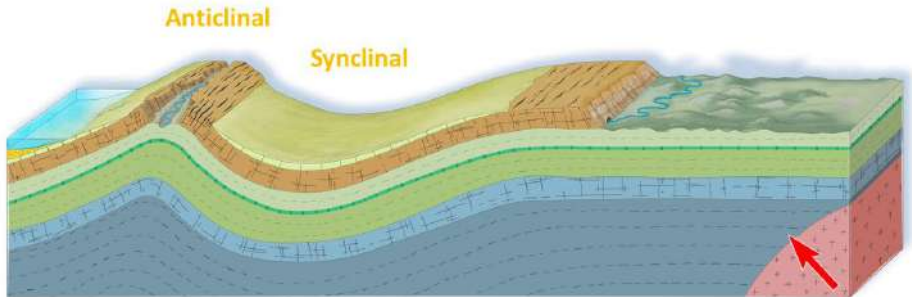
Au sens géologique, ce terme désigne un ensemble de massifs allant du Haut Faucigny (ou Haut Giffre) au nord jusqu'au Vercors au sud (en passant par les Bornes-Aravis, les Bauges et la Chartreuse). Ce domaine est situé en partie externe de la chaîne alpine sur son versant occidental.

De nombreux points communs permettent de regrouper ces massifs, en particulier la **stratigraphie** des **roches sédimentaires** qui les composent (appartenance au domaine de sédimentation delphino-helvétique) et leur mise en place durant l'histoire alpine (rôle du soulèvement tardif des Alpes cristallines externes dans leur plissement final/soulèvement). Parmi les points communs de ces massifs, un rôle majeur dans le paysage est joué par les majestueux calcaires **urgoniens** qui couronnent la plupart des sommets et permettent un développement de reliefs **karstiques** dénudés contrastant avec les zones **marneuses** abondamment couvertes de forêts. Mais les intensités et styles de plissements ont été très variés, donnant à chaque massif une personnalité géomorphologique propre (relief conforme du Vercors, inversion du relief en Chartreuse, relief dérivé dans les Bornes...). Le terme ne doit pas être confondu avec celui de **Préalpes**, qui est impropre pour ces massifs d'un point de vue géologique, mais qui peut être utilisé d'un point de vue biogéographique.

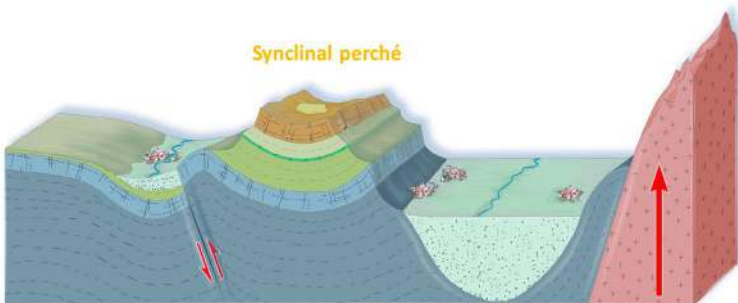
Subboréal

Subdivision climatique de l'**Holocène** entre -4 700 et -2 700 ans BP, qui correspond à une époque qui s'assèche et se rafraîchit relativement par rapport à l'**Atlantique** (d'environ 0,1 °C), mais qui reste nettement plus chaud que le Subatlantique. C'est au Subboréal notamment que l'épicéa est venu reconquérir sa place dans les Alpes du Nord françaises. [\(retour Subboréal\)](#)



Synclinal (pli)

Forme de pli simple affectant des couches **rocheuses sédimentaires**, en forme de **gouttière** (ou dépression concave vers le haut). Le **pendage** des couches sédimentaires converge vers le fond de la gouttière. Le synclinal s'oppose à l'**anticlinal**, celui-ci formant une voûte. Les vallons des Hauts de Chartreuse correspondent tous à un synclinal, qui s'est retrouvé isolé et perché par l'érosion rapide des ensembles rocheux situés dans les structures géologiques anticlinales adjacentes. [\(retour synclinal\)](#)

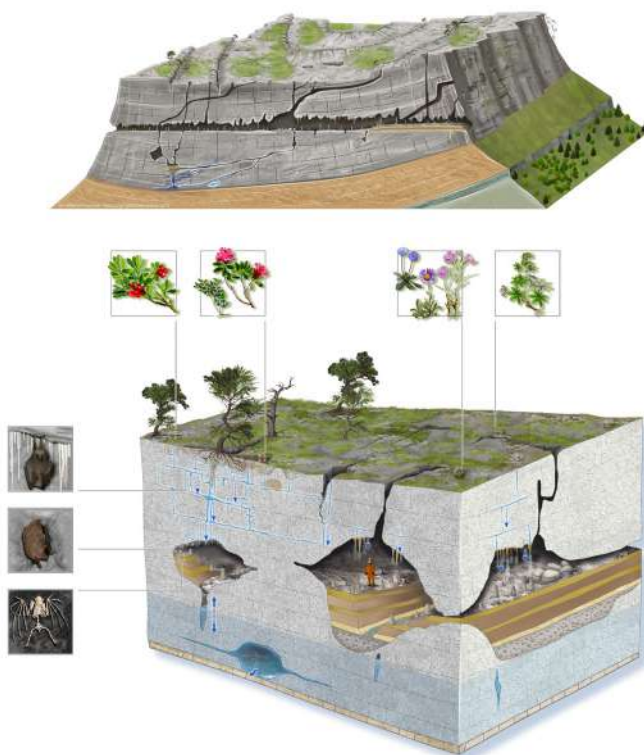
Synclinal perché

Un synclinal est dit « perché » lorsqu'il se retrouve en position sommitale dans le paysage, alors qu'il était en situation inférieure dans la disposition géologique structurale initiale.

Ce type de relief est lié à un phénomène d'**érosion différentielle** qui parvient à progresser plus rapidement dans les structures **anticlinales**, malgré leur proéminence originelle, que dans les **synclinaux**. Plusieurs explications, qui ne s'excluent pas nécessairement, ont été avancées. La fracturation extensive des voûtes anticlinales aurait créé des entailles favorables à l'érosion initiale des points hauts. Mais l'existence de phases d'aplanissement intermédiaires sous climat chaud, durant la formation des Alpes, a eu probablement un rôle facilitant. En recoupant « à l'emporte-pièce » anticlinaux et synclinaux, et laissant apparaître les terrains tendres du cœur des anticlinaux. Le travail de l'érosion différentielle aurait été ensuite facilité lors d'une phase finale de soulèvement. Le **synclinal perché** des Hauts de Chartreuse est un exemple magistral de ce type de relief : le fort exhaussement des structures plissées en Chartreuse, ainsi que les épaisses couches **marneuses** facilement érodables sous le niveau calcaire **urgonien**, ont été des facteurs très favorables au dégagement de ces synclinaux perchés. [\(retour synclinal perché\)](#)

### Système karstique

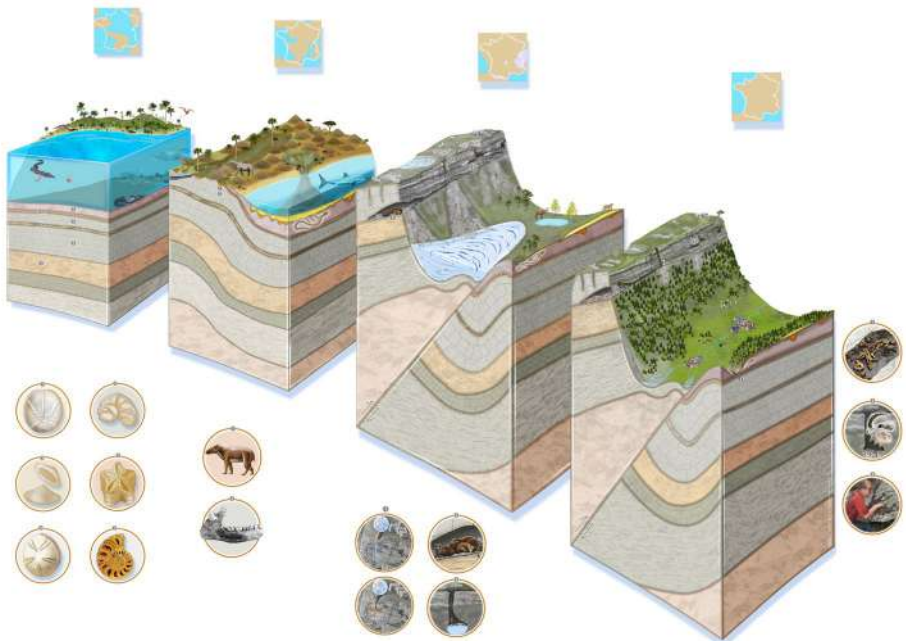
Un système karstique correspond à une unité d'organisation hydrologique donnée drainant un massif karstique. Il s'organise en une surface de bassin-versant, des fissures et galeries souterraines assurant le transfert de l'eau au sein de la roche **calcaire**, et une **émergence** évacuant ces eaux en dehors du système karstique. Ce système d'écoulements souterrains est lié à une lente dissolution du calcaire par les eaux de pluie ou de fonte des neiges naturellement acides à partir des fissures et discontinuités de la roche calcaire qu'elles agrandissent et façonnent (karstification).



Dans les vallons des Hauts de Chartreuse, la totalité des bassins-versants sont reliés à des systèmes karstiques, au nombre de huit. Leur délimitation en surface n'est pas toujours évidente, car les trajets souterrains de l'eau peuvent emprunter des chemins surprenants, liés à des discontinuités géologiques invisibles en surface. Les bassins-versants « apparents » ne correspondent donc pas toujours aux bassins-versants réels. Des opérations de traçage des eaux (par coloration temporaire utilisant des procédés non polluants) sont parfois réalisées pour mieux en connaître la réalité.

Dans les systèmes karstiques, la taille des fissures et galeries empruntées par l'eau dans leur trajet souterrain ne permet ni filtration, ni auto-épuration, ce qui en fait des ressources en eau très fragiles. La taille des réserves en eau des systèmes karstiques de la réserve naturelle est relativement modeste, car les conduits ont été dimensionnés durant le **Quaternaire** par des écoulements beaucoup plus importants et puissants qu'aujourd'hui, qui évacuent donc facilement et rapidement une grande partie des eaux lors des forts épisodes de pluie actuels.

### Système morphogénique



Ensemble des processus (eau, glace, vent, gravité...) qui façonnent le relief dans un espace donné, et des facteurs qui les conditionnent. Dans une même région, des systèmes morphogéniques différents ont pu se succéder au cours du temps, en fonction des évolutions climatiques et tectoniques notamment, et produisant des formes et formations d'érosion différentes. Certains éléments de nos paysages témoignent encore de systèmes morphogéniques anciens. Dans les Alpes du Nord, les périodes **glaciaires** ont laissé de nombreux témoignages encore visibles aujourd'hui.

Plus discrètes et plus difficiles à interpréter sont les traces laissées par des systèmes morphogéniques sous climat tropical. Actuellement, les Hauts de Chartreuse sont soumis à un système morphogénique de type périglaciaire. [\(retour système morphogénique\)](#)

### Table de lapiaz



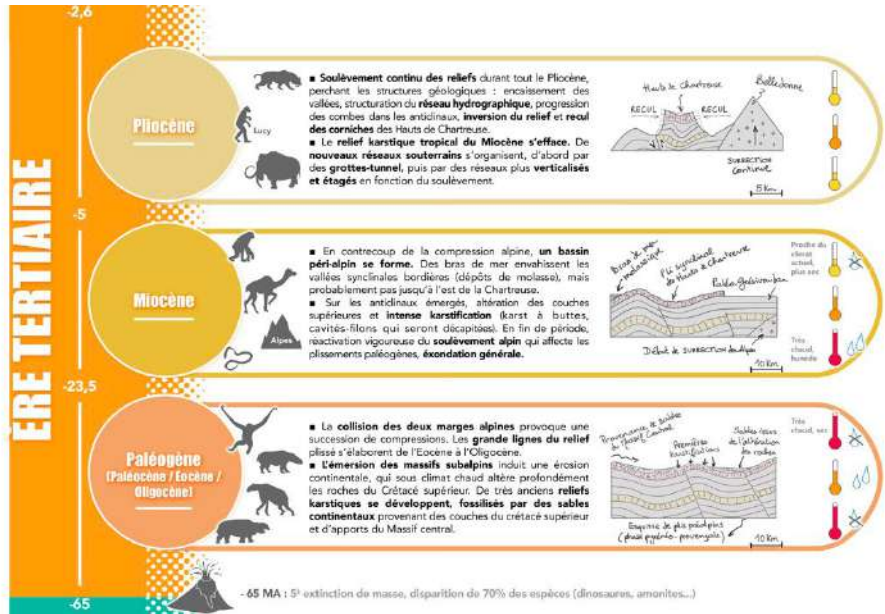
Expression parfois utilisée pour désigner, dans les reliefs **calcaires**, des strates dégagées par l'action **karstique** présentant des formes plus ou moins tabulaires et taradées en surface par des lapiaz. Le dégagement de ces tables est favorisé dans des calcaires très compacts, dont les bancs sont bien délimités par des joints interstrates et des cassures tectoniques qui se recoupent, favorisant et orientant le travail de la karstification et de la gélifraction.

### Tardiglaciaire (période)

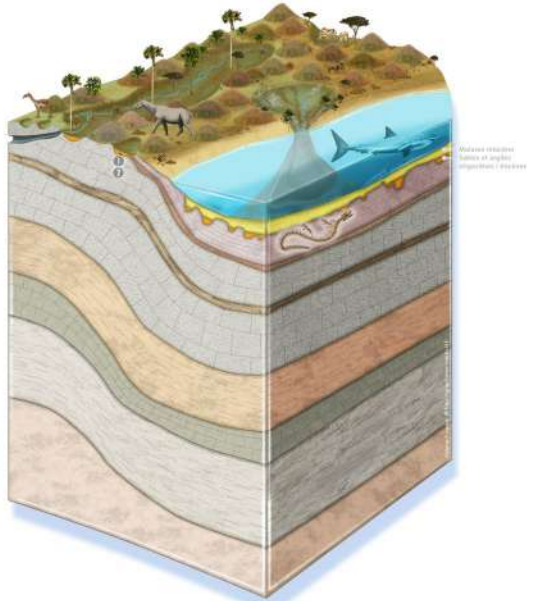
Le Tardiglaciaire désigne une période de transition entre la dernière glaciation du **Würm** et la période interglaciaire actuelle, l'**Holocène**. Cette période est datée d'environ -18 000 à -11 000 ans et a connu d'importantes oscillations climatiques mais va vers un changement climatique relatif. Dans les plaines, des groupements boisés pionniers (bouleaux, genévriers, etc.) commencent à faire leur apparition dans des paysages dénudés par l'action récente du froid et des glaciers. [\(retour Tardiglaciaire\)](#)



## Tertiaire (ère)



-10 MA - Ère tertiaire - Miocène



Troisième partie des temps géologiques, d'une durée de **64 millions d'années**, qui débute avec la disparition des grands reptiles (dinosaures notamment) et des **ammonites**. La fin de l'ère tertiaire a fait l'objet de très nombreuses discussions parmi les scientifiques et de modifications. Aujourd'hui, le terme « **Cénozoïque** » est à privilégier et il regroupe le Tertiaire et le **Quaternaire**. L'ère tertiaire est caractérisée dans nos régions par de grandes évolutions

tectoniques et climatiques, des phases de **transgressions** et régressions marines irrégulières dans l'espace. L'absence ou la rareté de **fossiles** rend complexe le calage chronologique de certains évènements. L'orogénèse alpine a également détruit beaucoup d'indices. [\(retour tertiaire\)](#)

### Thermophile

*L'orpin blanc est une espèce thermophile typique, que l'on observe souvent dans les pentes rocheuses sèches et ensoleillées des Hauts de Chartreuse. Ses feuilles succulentes en forme de grain de riz lui permettent de stocker de l'eau.*



Se dit d'un organisme vivant qui préfère, recherche ou supporte un environnement chaud pour un développement optimal. [\(retour thermophiles\)](#)

### Toundra

Type de formation végétale des zones climatiques polaires, constituée d'une végétation basse uniquement composée de graminées (Poacées), carex, lichens, mousses, d'où peuvent émerger exceptionnellement quelques arbres nains. En montagne, la pelouse de l'**étage alpin** s'apparente beaucoup à la toundra, mais sans en être toutefois équivalente. Des facteurs propres à l'altitude et au rythme d'ensoleillement saisonnier distinguent les deux familles d'habitats même si des espèces communes s'y rencontrent. Lors des périodes glaciaires, de vastes toundras s'étendaient dans les espaces non englacés.



*Paysage de toundra en Islande.* [\(retour toundra\)](#)

### Tourbière

Site présentant une accumulation de matière organique d'origine végétale mal ou non décomposée dans des zones humides permanentes. La tourbe peut être considérée à mi-chemin entre une **roche sédimentaire** d'origine organique et un sol végétal. L'omniprésence de l'eau a pour effet d'asphyxier les organismes décomposeurs de la matière organique. Les tourbières sont des milieux extrêmement sélectifs pour les plantes et souvent très riches en espèces rares et patrimoniales. De nombreuses tourbières ont été en capacité de piéger et conserver des pollens émis au cours du temps par les plantes des régions environnantes. À ce titre, l'étude et la datation des accumulations tourbeuses sont parmi les meilleurs moyens de retracer l'évolution climatique et de la végétation depuis la dernière glaciation dans nos régions. En Chartreuse, les tourbières sont très rares : le climat humide est très favorable à leur développement mais la **karstification** de nombreux secteurs empêche la stagnation de zones humides. Une des belles exceptions est la tourbière des Aures, nichée dans un ancien cirque glaciaire sur le versant occidental du massif du Grand Som. Au sein de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, au pied du **Granier**, des bas-marais alcalins de pente constituent un type de tourbière particulier, dominée par des laïches, et présentant également une très grande valeur écologique.



(Haut à gauche) : la camarine noire et les sphaignes sont des végétaux souvent associés aux tourbières acides. Ils ne sont observables en Chartreuse que dans des conditions exceptionnelles / (2 clichés bas) : Différents aspects paysagers d'un type de tourbière particulier : les bas-marais alcalins, que l'on peut observer à l'extrémité basse de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

(retour tourbières)

Transgression miocène

La transgression miocène correspond, dans nos régions, au retour de la mer dans certaines zones préalablement émergées, il y a environ 23 MA. Ce retour de la mer se fait dans le vaste **bassin molassique** qui se forme au pied occidental des Alpes. Il s'étend depuis la basse vallée du Rhône jusqu'à Genève, puis Vienne en Autriche. La chaîne, alors en cours de soulèvement crée une gigantesque flexion de la croûte terrestre qui se manifeste par une dépression périphérique permettant l'envahissement par la mer. Celle-ci, peu profonde, sera comblée par les dépôts « molassiques » issus de l'érosion des reliefs alpins en pleine surrection. Le piémont de Chartreuse, dont le bassin de Saint-Laurent-du-Pont, faisait partie de cette dépression envahie par la mer. [\(retour transgression miocène\)](#)

Transgression pliocène

Connue aussi sous le nom de « transgression zancléenne », elle correspond au retour massif et rapide de la mer dans le bassin méditerranéen, il y a environ 5,33 MA, après la **crise messinienne**. Cela correspond à l'ouverture du détroit de Gibraltar, permettant à l'océan Atlantique d'alimenter à nouveau la mer Méditerranée. Dans tous les bassins-versants orientés vers la Méditerranée, le niveau de base de creusement des vallées remonte alors considérablement et, en conséquence, la force d'écoulement gravitaire s'en trouve fortement amenuisée, le surcreusement des vallées par l'érosion fluviale s'arrête ou ralentit, ou encore certaines cavités **karstiques** se comblent. [\(retour transgression pliocène\)](#)

Tsingy (micro-)

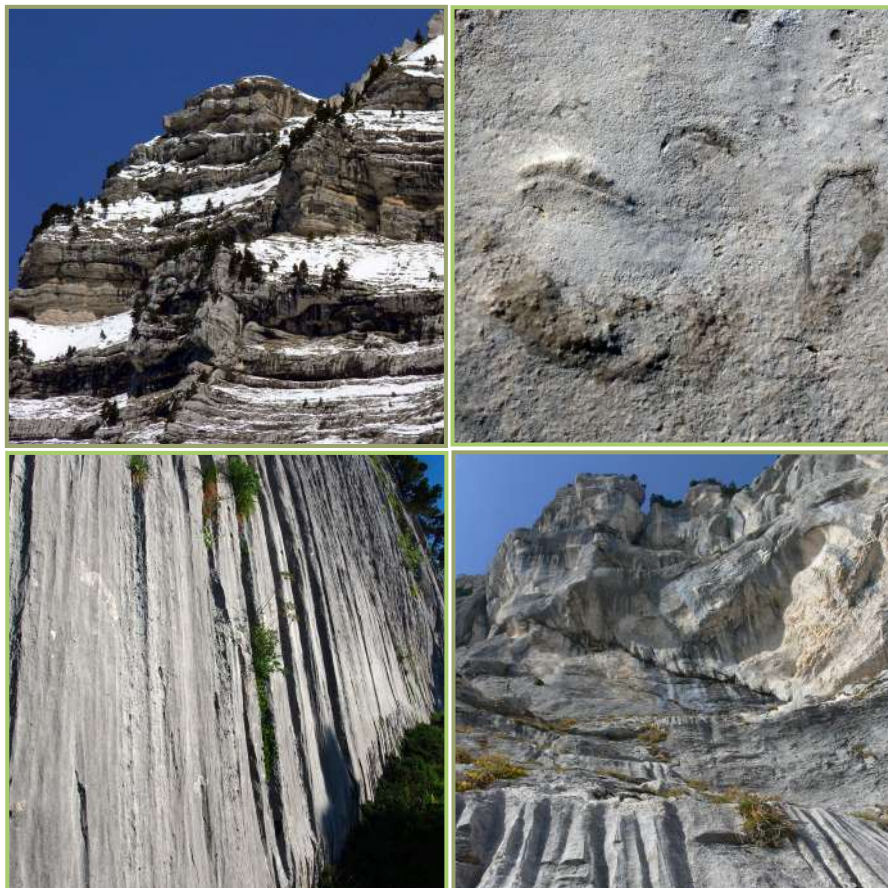
À Madagascar, des reliefs karstiques typiques nommés « tsingys » présentent des pics et des arêtes **calcaires** extrêmement acérés et profonds (plusieurs mètres à dizaines de mètres), tels des **lapiaz** géants. Par analogie, des champs de lapiaz présentant des cloisons fines et aiguës, mais sans commune mesure dans les dimensions, sont parfois qualifiés dans nos régions de « micro-tsingys ».

Urgonien (calcaire)

Les **calcaires** urgoniens représentent un repère majeur dans tous les **massifs subalpins** (du Haut Giffre au Vercors), car ils arment la quasi-totalité des sommets de ces massifs de hautes parois rocheuses gris clair et contribuent à une identité paysagère importante. Le qualificatif « urgonien » désigne, au sens le plus strict, le **faciès** de certains calcaires récifaux très purs déposés sur une plate-forme carbonatée entre l'**Hauterivien** supérieur et l'**Aptien**, dans le sud-est de la France et la Suisse. Mais l'utilisation du terme, très discutée parmi les géologues, peut-être aussi admise pour des calcaires très apparentés du Crétacé inférieur dans différentes régions du sud de l'Europe.

À la cassure, leur pâte apparaît parfaitement cimentée par des cristallisations de **calcite** pure et leur partie terrigène est extrêmement faible. Les fossiles les plus représentatifs de ce faciès sont des rudistes du genre *Toucasia*, et ce niveau ne contient normalement pas

**d'ammonites.** Sur les Hauts de Chartreuse, l'urgonien peut représenter une puissance de plus de 300 mètres de haut. La haute paroi est interrompue aux trois quarts supérieurs par un niveau marneux: la **vire à orbitolines**. Elle marque un talus permettant l'installation d'un sol et de la végétation. Dans certains secteurs, d'autres niveaux **marneux** interrompent ainsi la haute paroi de calcaires urgoniens et multiplient les vires, notamment sur le versant occidental du Pinet.



(Cliché en haut à droite) : parties fossilisées de rudistes.

Mais l'ensemble des calcaires urgoniens présente un niveau particulièrement épais et imposant, constitué de roches massives et karstifiables, c'est dans leur masse que les plus grands réseaux **karstiques** se développent. [\(retour urgonien\)](#)

Val perché

En géomorphologie, dépression topographique ou vallée correspondant à l'emplacement d'un plissement **synclinal** et se trouvant en situation sommitale dans le relief. Ceci implique que les plis bordiers (**anticlinaux**) ont été dégagés par l'érosion. Il s'agit d'un cas d'inversion du relief par rapport à la structure géologique initiale. Les Hauts de Chartreuse présentent un grandiose val perché, découpé en plusieurs sections par de gigantesques **failles** décrochantes. Dans l'est de la Chartreuse, l'expression « par monts et par vaux » pourrait être remplacée ainsi par « par combes et par vaux », car les monts n'existent plus ! Voir aussi : **synclinal perché**. [\(retour val perché\)](#)

Valanginien

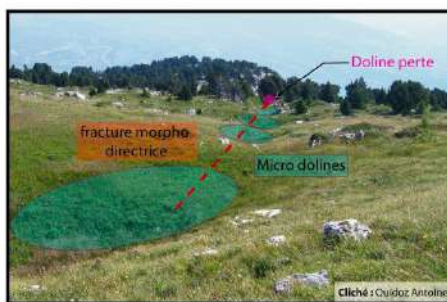
(Cliché en haut à droite & en bas à gauche) : calcaires du Fontanil /  
(en bas à droite) : marnes de Narbonne

Étage géologique du Crétacé inférieur qui s'étend de -140 MA à -133 MA environ. Au sein de la réserve naturelle, deux **faciès** de roches différents se sont successivement déposés durant le Valanginien : les **marnes** de Narbonne, puis les **calcaires** du Fontanil. L'épaisseur des marnes de Narbonne (nom d'un vallon proche de Grenoble) diminue progressivement vers l'ouest de la Chartreuse au profit des calcaires du Fontanil. Ces derniers n'excèdent jamais, dans la réserve naturelle, 200 mètres d'épaisseur. Ils sont parfois recouverts par des **éboulis** ou de la végétation, ou forment des corniches rocheuses à mi-pente des versants forestiers, ce qui peut compliquer les itinéraires hors sentiers dans ces secteurs.

### Vallon sec



Un exemple de vallon sec développé sur fractures morphe directrices



Un exemple de vallon sec aveugle développé sur fracture morphe directrice défoncée de micro dolines



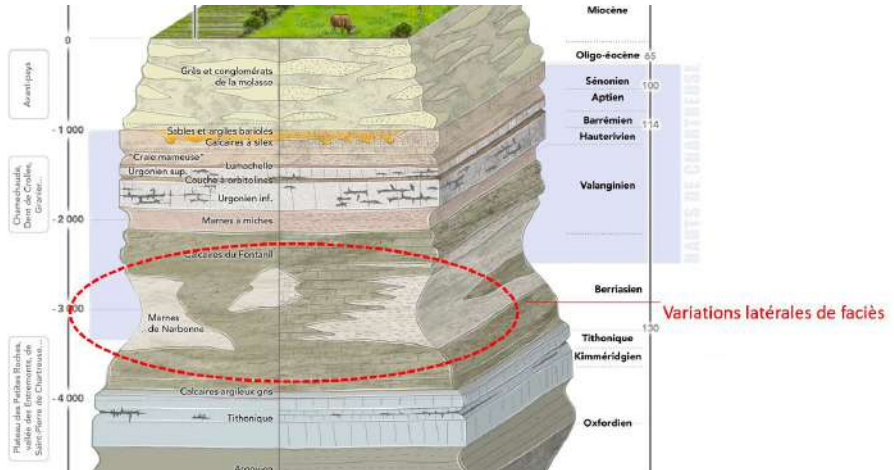
Sur les Hauts de Chartreuse, nombre de «vallons» ne présentent aucune trace d'écoulement de l'eau, comme ici, en aval du Vallon de Pratcel. Cette caractéristique n'est pas à relier à une hydrologie insuffisante mais au caractère karstique des lieux.

En domaine **karstique**, talweg sans cours d'eau, soit parce que le talweg n'est pas lié au creusement par un ancien cours d'eau (ex : effondrement d'une galerie souterraine, coalescence de **dolines** alignées sur une **faille**), soit parce qu'un cours d'eau établi



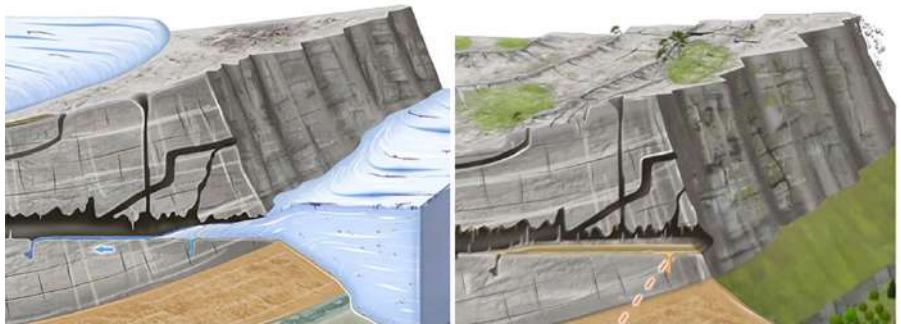
anciennement ne s'est pas maintenu en surface (pertes développées dans son cours avec l'évolution de la karstification).

### Variation latérale de faciès



En **stratigraphie**, changement de nature d'une roche sédimentaire de même âge dans un espace donné, ce qui suppose des différences de conditions au moment des dépôts (mer plus ou moins profonde, présence d'un delta...).

### Varves carbonatées (karst)



1

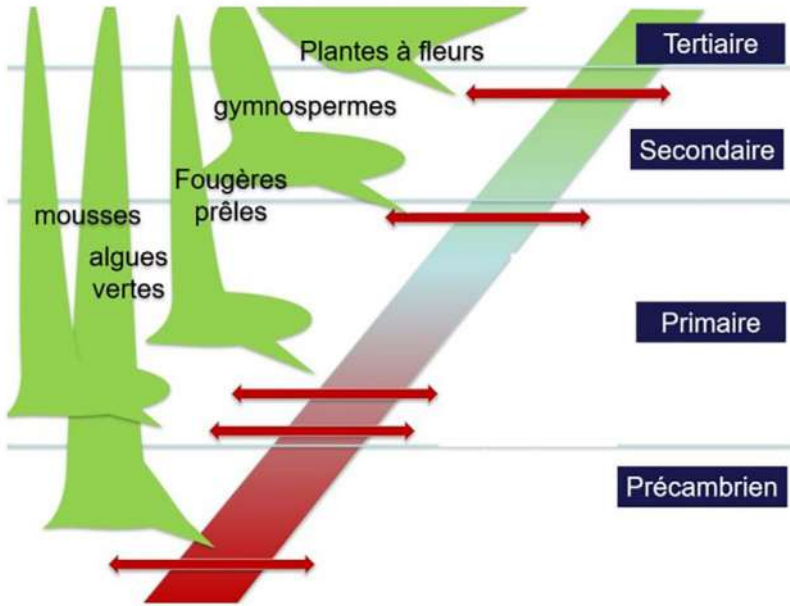
Varves carbonatées

2

Dépôts sédimentaires rythmés saisonnièrement et issus de la décantation de particules **calcaires** fines dans un contexte d'eaux de fusion **glaciaires** s'engorgeant dans des réseaux **karstiques**. Durant les périodes glaciaires, ces eaux, très chargées de « farine de roche », ennoyaient la base des réseaux souterrains car les exutoires ne parvenaient pas à évacuer tout le débit au fur et à mesure. Les particules se déposaient alors dans un contexte d'eaux calmes, marquant des séquences de décantation annuelles : les parties claires correspondent

aux fusions glaciaires estivales, et les parties sombres aux fusions de fin d'été. Aujourd'hui, certains réseaux souterrains des massifs alpins témoignent de ces ennoissements saisonniers anciens par des niveaux de varves carbonatées ayant plus ou moins colmaté certaines parties de cavités. [\(retour varves carbonatées\)](#)

Végétaux supérieurs (ou « plantes supérieures »)



(Cliché de gauche) Aster des Alpes / (droite) trois exemples d'espèces de plantes supérieures : la dryade des Alpes, le rhododendron ferrugineux, le pin à crochets.

Expression commune désignant les Trachéophytes, c'est à dire les plantes à tiges, à racines, à feuilles et à fleurs. Cette expression s'oppose à celle de « végétaux inférieurs », expression

qui désigne les Thallophytes et les Bryophytes (lichens et mousses) ainsi que les Ptéridophytes (fougères). Les plantes supérieures incluent les végétaux ligneux (arbres, arbustes, buissons...) et de nombreuses herbacées érigées avec une tige, souvent des plantes à fleurs. Leur multiplication est généralement réalisée par des graines issues des fleurs, et non par des spores. Ils exploitent au mieux la terre végétale comme substrat, surtout l'humus de la couche pédologique supérieure.

### Würm, würmien



*Mer de nuage automnale évoquant l'étendue de la glaciation du Würm dans le sillon alpin, en bordure orientale de la Chartreuse.*

*Au fond, les Bauges, le Mont-Blanc, le Beaufortain et la Lauzière.*

Nom donné à la dernière grande période glaciaire, d'environ -100 000 ans à -15 000 ans. Elle a succédé au Riss et à d'autres glaciations antérieures dont les traces ont eu tendance à être gommées par le Würm, bien que cette dernière ne fût pas la plus ample par l'étendue couverte par les glaces. [\(retour Würm\)](#)

### Zone de faiblesse (de la roche)



Notion essentielle en **géomorphologie** désignant toutes les discontinuités affectant les roches, à grande ou petite échelle. Elles ont pour effet d'orienter, amorcer et faciliter le travail des différents processus d'érosion. Les microfissures, **diaclasses**, **failles**, litages et **joints de strates** sont les principales zones de faiblesse des roches, à partir desquelles les agents d'érosion ont tendance à progresser plus vite (concentration mécanique et chimique des eaux, déflation éolienne, racines des plantes...). Ce paramètre est trop souvent sous-estimé pour comprendre différentes formes de reliefs notamment, ou encore l'organisation des réseaux **karstiques**. La disposition strictement parallèle de nombreux **lapiaz** des Hauts de Chartreuse calqués sur les fractures tectoniques de la roche en est une bonne illustration (lapiaz de fracture). À une autre échelle, l'emplacement de certaines vallées est également souvent lié à des zones de faiblesses majeures. [\(retour zone de faiblesse\)](#)





# Bibliographie

## Bibliographie sélective\*

\*Certaines de ces références peuvent être transmises par la Réserve naturelle sous format PDF lorsqu'elles sont libres de droit. N'hésitez pas à les demander!

Ajas A. (2020) : « Évolution altitudinale de la végétation sur le massif du Vercors du Tardiglaciaire à aujourd'hui. Le cas particulier de la Combe Chevalière (1 653 m) », Diplôme EPHE SVT.

Argant J., Bintz P., Deng-Amiot Y, Menard G., Picavet R., Rue M. (À paraître) : « Paléoenvironnements du nord Vercors du Tardiglaciaire à l'Holocène : palynologie de la tourbière du Peuil (Claix, Isère) et du lac du Lauzet (Villard de Lans, Isère) ».

Argant A., Argant J. (2004) : « Datations et environnement des ours de la Balme à Collomb (Entremont-le-Vieux, Savoie, France) ».

Argant J., Bégeot C. et Marrocchi Y. (2008) : « L'environnement végétal au Tardiglaciaire à partir de l'étude pollinique de trois lacs : La Thuile, Saint-Jean-de-Chevelu et Moras ».

Arques S., Vaanpeene Bruhier S., Rovera G., Brun J. J. (2001) « Évaluation de la biodiversité et fonctionnement des écosystèmes et écotones sur éboulis calcaires », IRSTEA – UR EPGR – Écosystèmes et paysages montagnards.

Audra P. (1994) : « Karst alpins, genèse de grands réseaux souterrains ; exemples le Tennengebirge (Autriche), l'Île Crémieu, la Chartreuse, le Vercors », *Karstologia mémoires n° 5*.

Audra P. et collectif (2010) : « Grottes et karst de France », *Karstologia mémoires n° 19*.

Bajard M. (2017), « Trajectoires d'évolution des sols et des agroécosystèmes de montagne de l'Holocène à l'Anthropocène », Thèse, Université Grenoble-Alpes.

Bakalowicz M. (2019), « Géochimie des eaux et flux de matières dissoutes, l'approche objective du rôle du climat dans la karstogenèse », *Karsts et évolutions climatiques, hommage à Jean Nicod*.

Bardet N. et al. (2017), « First mosasauridae (reptilia, squamata) in the late campanian (latest cretaceous) of Savoie (Chartreuse massifs, French Alps) », *Présentation CR2P – UMR 7207 CNRS-MNHN-UMPC, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, France*.

Beaulieu J.-L. de, Kostenzer J., Reich K. (1993), « Dynamique forestière holocène dans la haute vallée de l'Arve (Haute-Savoie) et migrations de *Abies* et *Picea* dans les Alpes occidentales ».

Bintz P. (2015) : « Archéologie et paléoenvironnement dans la Réserve des Hauts de Chartreuse : le site de l'Aulp du Seuil à Saint-Bernard-du-Touvet (Isère) ».

Bintz P., Bocquet A., Borel J. L., Olive P. (1989) : « Tableau diachronique de l'Holocène et du Tardiglaciaire dans les Alpes du Nord et leur piémont. Préhistoire et Paléoenvironnement », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 86/2.

Bintz P., Millet J. J. (2015) : « Vercors, terre de préhistoire », *Bulletin de la Société préhistorique française*, p. 799-801.

Bintz P. et Griggo C. (2011) « Climats et premiers peuplements des Alpes du Nord françaises : des derniers chasseurs aux premiers paysans (15 000 à 5 000 ans av. J.-C..) », *Revue de primatologie*, n° 3.

Borel J. L., Jorda M., Monjuvent G. : « Variations climatiques, morphogenèse et évolution de la végétation post-wurmiennes dans les Alpes françaises ».

Bourget H. (2020) : « Préparation de restes de vertèbres (mosasaure) et d'invertébrés fossiles provenant du Campanien du Parc Naturel Régional de Chartreuse », *Rapport PNR Chartreuse, Réserve naturelle Hauts de Chartreuse, CR2P, CNRS*.

Bourdin C. (2012) : « Enregistrement des variations climatiques par les éléments traces dans les spéléothèmes », *Thèse de doctorat, Paris XI*.

Bravard Y. (1958) : « Quelques remarques sur l'action des glaciers quaternaires dans le massif de la Grande Chartreuse », dans *Revue de géographie alpine*, 1958.

Brugiapaglia E. et Barbero M. (1994) : « Variation de la limite subalpin/alpin depuis la période atlantique sur le plateau du Taillefer (Isère, France) ».

Chardon M. (1982) : « Les glaciations quaternaires et leur influence sur le relief karstique des Préalpes : Vercors et Chartreuse », dans *Revue de géographie alpine*.

Clavel B. et al. (2014) : « La plate-forme carbonatée urgonienne (Hauterivien supérieur – Aptien inférieur) – dans le Sud-Est de la France et la Suisse : synthèse ». *Archives des sciences* 2014.

Constantin A. et Désormaux J. (1902) : « Dictionnaire savoyard ». Publié sous les auspices de la société florimontane. Réimpression de l'édition d'Annecy par Laffite Reprints, Marseille, 1977.

Coutterand S. (2010) : « Etude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent : du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation ». *Thèse de doctorat en géographie, Université de Chambéry*

David F. et al. (2006) : « Variabilité des enregistrements polliniques en montagne et reconstitutions paléoécologiques », *Analyse pollinique du site des Glières, dans Revue belge de géographie*.

Debay P. (2015) : « Étude phytoécologique des écosystèmes forestiers abyssaux (éboulis froids) ». *Mémoire de dominante d'approfondissement « Gestion des milieux naturels », CBNA-ENGREF AgroParistech*.

Delannoy J. J. et Lismonde B. (1985) : « Le massif de la Chartreuse, Alpes françaises du Nord : Contribution à l'étude des paysages karstiques et organisation des réseaux souterrains », *Karstologia* n° 15, 1990.



Doin G. (2008) : « Conception d'un outil de collecte des connaissances, de gestion et d'aide à la valorisation des patrimoines géomorphologique, géologique et préhistorique, à l'usage des gestionnaires des espaces protégés de montagne », Rapport de stage, Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Durand R., Nant J. et collectif (1998) : « Atlas des Grottes de Savoie », Base de données Prospect-98. CDS 73.

Durand R. et collectif (2014) : « Atlas du Granier souterrain », Grottes de Savoie n° 17, Spéléo Club de Savoie et CDS 73.

Gidon M. (1994) : « Quelques aspects des rapports entre l'histoire tectonique et la morphogenèse dans le massif de la Chartreuse », Géologie Alpine, t. 70, p. 13-27.

Girard M. (1994) : « Les grottes Jean-Pierre 1 et 2 à Saint-Thibaud-de-Couz (Savoie). Première partie : Paléoenvironnement et cultures du Tardiglaciaire à l'holocène dans les Alpes du nord. V. Le milieu végétal ».

Guendon J. L. (1984) : « Les paléokarsts des Alpes Occidentales du Trias à l'Éocène », Karstologia n° 4.

Guillomin A. (1937) : « Les Abîmes de Myans (Savoie) » Revue de Géographie Alpine, t. XXV, p. 582-617.

Guiot et al. (2006) : « Variations depuis 10.000 ans de la répartition et de la productivité des forêts d'altitude dans les Alpes et le Jura et simulation des changements futurs ».

Hallier C. et Quidoz A. (2007) : « Inventaire et cartographie du patrimoine géomorphologique des Hauts de Chartreuse », Rapport de stage, Réserve Naturelle des Hauts de Chartreuse.

Hobléa F. (2022) : « Les karsts savoyards, de précieux témoins de l'histoire géologique et climatique alpine ». Dans : topoguide spéléologique en Savoie, Comité Départemental Spéléologique en Savoie.

Hoblea F. et Häuselmann P. (2005) : « Datation du réseau souterrain du Granier (Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse) », Rapport final Université de Savoie/Edytem/Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Hoblea F., Nant J., Durand R., Sibert E., Bourgeois D. (2010) : « Le karst du Granier, Chartreuse, et son méga-réseau souterrain », dans Audra P., « Grottes et karsts de France », Karstologia mémoires n° 19.

Hoblea F., Häuselmann P., Kubik P. (2011) : « Datation par la méthode des isotopes cosmogéniques de sédiments endokarstiques du mont Granier (Réserve Naturelle des Hauts de Chartreuse, France) : implications morphogéniques et paléogéographiques ».

Kilian W. (1898) : « Sur la découverte de restes de lophiodon dans les sables siliceux des Échelles (Savoie) », Faculté des sciences de Grenoble.

Lismonde B. et collectif (1997) : « La Dent de Crolles et son réseau souterrain », Publication du CDS Isère.

- Maire R. (1990) : « La haute montagne calcaire », *Karstologia mémoires n° 3*.
- Marnezy A. (1980) : « Le Vercors méridional : étude de géomorphologie karstique et glaciaire », *Thèse de géographie*.
- Monjuvent G. et Nicoud G. (1987) : « Les paléolacs des vallées alpines du Grésivaudan, du Bourget et d'Annecy ».
- Morard S. (2011) : « Effets de la circulation d'air par effet de cheminée dans l'évolution du régime thermique des éboulis froids de basse et moyenne altitude », *Thèse, Université de Fribourg (Suisse)*.
- Moutard R. (2014) : « Les paysages des Bornes-Aravis (Haute-Savoie) : évolution des dynamiques territoriales, enjeux par le tourisme », *Thèse de géographie, Université Lyon-Jean-Moulin*.
- Mugnier C. (1963) : « Les karstifications éocène et plioquaternaire dans les Bauges, la Chartreuse septentrionale et les chaînons jurassiens voisins (Savoie, Haute-Savoie, Isère) », *Mémoire de DESS, Université de Grenoble*.
- Nicod J. (1970) : « Sur la vitesse d'évolution au cours du Quaternaire de quelques formes karstiques superficielles ».
- Nicod J. (1972) : « Pays et paysages du calcaire », *Collection SUP. PUF ?*
- Nicod J. (1984) : « Les massifs karstiques des Alpes occidentales : trame structurale et bioclimatique », *Présentation de la carte d'ensemble au 1/750 000, Karstologia n° 3, pp 3-11*.
- Nicod J. (2002) : « Karsts, paléogéomorphologies, paléo-environnements. Panorama des recherches récentes en France (1992-2001) ».
- Rap W., Giguet-Covex C., Bouchez J., Sabatier P., Gaillardet J., Jacq K., Genuite K., Poulénard J., Messager E. et Arnaud F. (2024) : « Human-triggered magnification of erosion rates in European Alps since the Bronze Age ».
- Rat P. (1983) : « L'urgonien, évolution des idées et des usages ». *Travaux du Comité français de l'histoire de la géologie – deuxième série. Tome 1*.
- Sesiano J. (2014) : « Les glacières face au changement climatique », *Nature et Patrimoine en Pays de Savoie, n° 44, p. 15-22*
- Schlüchter C., Jorin U. (2004) : « Les Alpes sans glaciers ? Le bois et la tourbe, des indicateurs de climat », *Institut de Géologie de l'université de Berne*.



# « Percevoir les choses comme étranges, c'est transformer son regard de telle manière que l'on a l'impression de les voir pour la première fois, en se libérant de l'habitude et de la banalité »

P. Hadot

Trop souvent négligés,  
**la géomorphologie et les géopatrimoines**  
sont l'essence même de notre géographie  
et de nos paysages.

Ils témoignent des évolutions  
environnementales au cours des temps  
et constituent la base de toutes les formes  
du vivant.

Vingt trois illustrations et des centaines de  
photos originales accompagnées de textes  
et un abécédaire, nous permettant de mieux  
saisir l'héritage et la signification des formes  
de reliefs qui participent au caractère et à  
l'esprit des lieux d'un site d'exception : **la  
Réserve Naturelle des Hauts de Chartreuse.**

