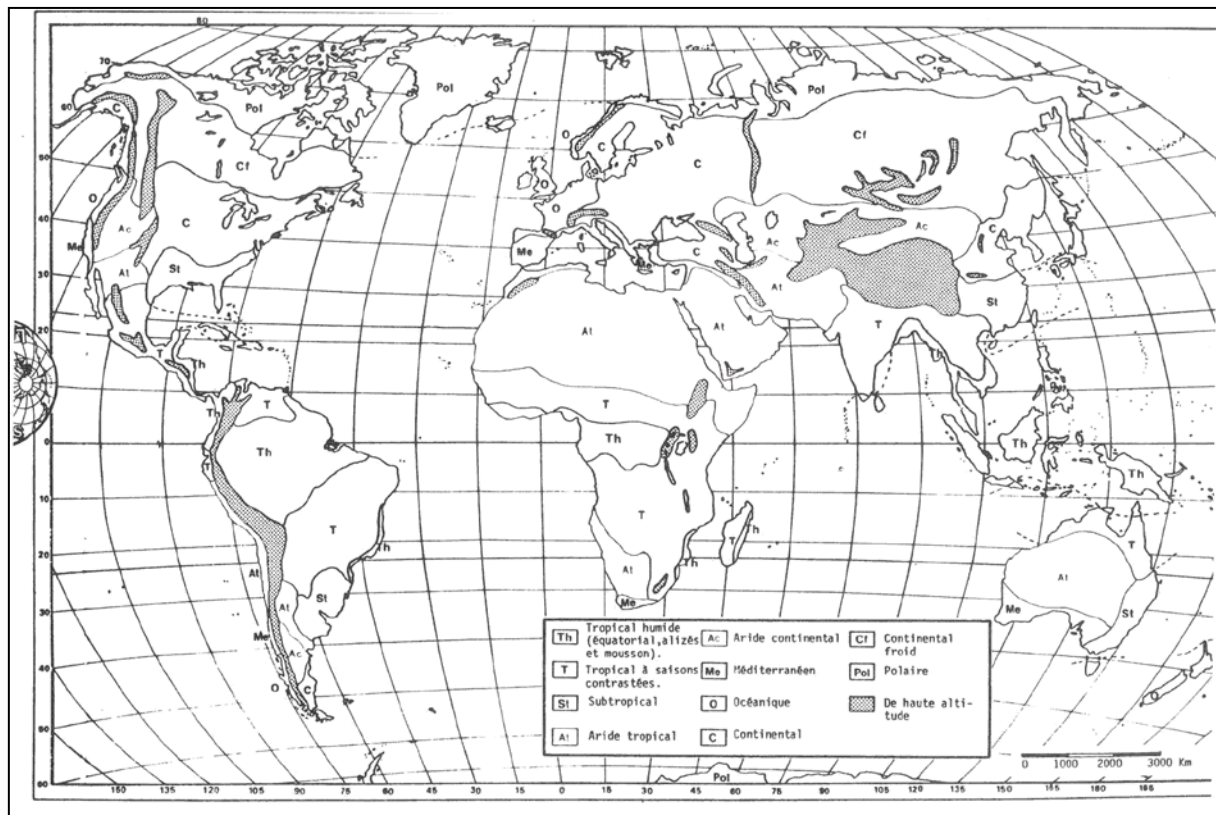


# Les grands milieux en montagnes

## 1. Localisation



## 2. Les caractéristiques climatiques

### Les climats de montagne

Même si elles n'en modifient pas les grands traits qui la caractérisent, les montagnes font subir à chaque zone climatique des modifications liées à l'altitude et à l'exposition.

#### L'altitude et l'exposition

La première modification apportée par la montagne est liée à l'altitude: au fur et à mesure que celle-ci croît, la densité de l'air et la pression atmosphérique diminuent. L'absorption atmosphérique se réduit et le rayonnement solaire s'intensifie: vers 3 000 m, aux moyennes latitudes, le rayonnement est équivalent à celui qui arrive sur une plaine à l'équateur.

La deuxième modification est liée à l'exposition au soleil: aux moyennes latitudes, les oppositions de versants sont fondamentales, déterminant des versants exposés et des versants ombragés (c'est moins vrai aux basses latitudes du fait de l'angle d'incidence quasi vertical du rayonnement solaire). Cela induit une palette de petites variations concernant la température, l'hygrométrie et les précipitations.

#### Des îlots de froid

L'augmentation du rayonnement n'entraîne pas d'élévation de la température. C'est la baisse de la pression et la raréfaction de l'air qui deviennent ici déterminantes, car la transformation du rayonnement en chaleur par absorption de l'air est réduite. Le gradient moyen de température – environ 0,6 °C par 100 m – connaît des nuances en fonction de l'hygrométrie: il oscille de 1 °C/100 m (air sec) à 0,5 °C/100 m (air saturé). Les montagnes constituent donc des îlots de froid au sein de

## Les grands milieux en montagnes

la zone climatique dont elles relèvent. Localement, du fait des reliefs, de l'exposition, des effets de masque, les situations sont très diversifiées.

### Des châteaux d'eau au désert

Les reliefs facilitent les ascendances nécessaires à la formation des précipitations: celles-ci augmentent en quantité et en intensité avec l'altitude jusqu'à un optimum pluviométrique (altitude où la pluviométrie est la plus élevée). L'altitude de cet optimum dépend de l'hygrométrie et de la température; il est facilement repérable par la végétation qui se transforme en forêt ombrophile.

Au-delà de cet optimum, l'hygrométrie baisse rapidement en valeur absolue, mais l'humidité relative connaît des écarts importants du fait des amplitudes thermiques.

L'exposition aux vents dominants, particulièrement lorsqu'ils sont humides, modifie ce principe: les versants au vent, très arrosés, s'opposent aux versants sous le vent, quasi désertiques. Enfin, les précipitations neigeuses augmentent avec l'altitude. La forte capacité de réflexion du manteau neigeux a une influence sur les phénomènes radiatifs: les températures s'affaiblissent et des hautes pressions relatives se mettent en place sur les massifs les plus importants.

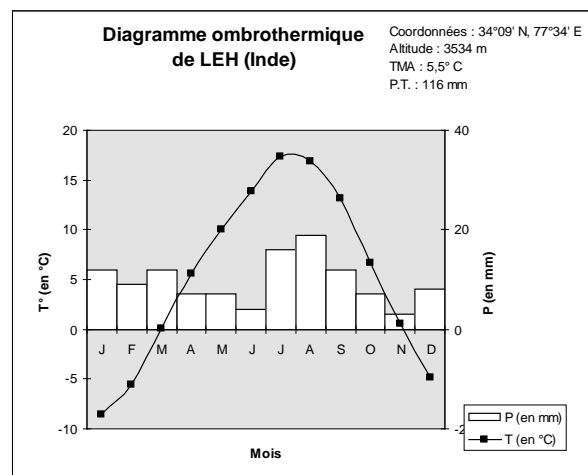
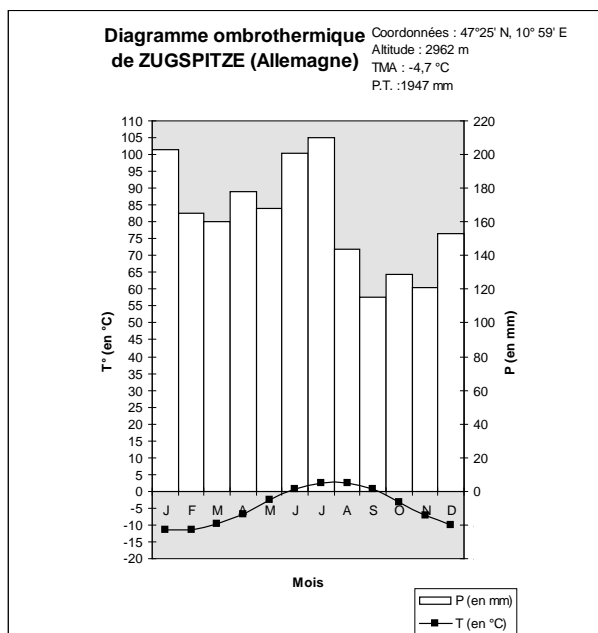
D'après CHEMERY Laure, *Petit atlas des climats*,  
Petite encyclopédie Larousse, 2003, pages 110 et 111.

## Deux diagrammes ombrothermiques

ZUGSPITZE (Allemagne)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(47° 25' N - 10° 59' E)	T (en °C)	-12	-12	-9,5	-6,9	-2,5	0,5	2,5	2,4	0,6	-3,2	-7	-10	-4,7
Altitude : 2962 m	P (en mm)	203	165	160	178	168	201	210	144	115	129	121	153	1947

LEH (Inde, Cachemire)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(34° 09' - 77° 34' E)	T (en °C)	-8,5	-5,5	0,1	5,6	10	13,9	17,4	16,9	13,1	6,7	0,6	-4,8	5,5
Altitude : 3514 m	P (en mm)	12	9	12	7	7	4	16	19	12	7	3	8	116



### 3. Quelques données climatiques

#### Amérique du sud

LA QUIACA (Argentine)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(22°06'S - 65°36'W)	T (en °C)	12,4	12,4	12,2	10,3	6,6	3,9	4	6,4	9,2	11,1	12,3	12,6	9,4
Altitude : 3459 m	P (en mm)	89	77	43	5	1	2	1	0	2	9	31	63	323

BOGOTA (Colombie)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(4°36' N - 74°05' W)	T (en °C)	17	17,2	17,3	17,2	17,2	17,1	17,3	17,7	17,7	16,9	16,7	16,9	17,2
Altitude : 1789 m	P (en mm)	161	149	199	174	161	92	40	31	94	296	306	312	2015

QUITO (Equateur)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(0°13' S - 78°30' W) a	T (en °C)	13	13	12,9	13	13,1	13	12,9	13,1	13,2	12,9	12,8	13	13
Altitude : 2818 m	P (en mm)	119	154	154	185	130	54	20	25	81	134	96	104	1233

#### Amérique du nord

MEXICO (Tacubaya)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Mexique														
(19°26' N - 99°12' W)	T (en °C)	12,1	13,8	16,1	17,1	17,4	17	15,9	15,9	15,6	14,7	13,3	12,2	15,1
Altitude : 2306 m	P (en mm)	8	5	10	23	55	118	160	145	129	49	17	6	725

ALBUQUERQUE (USA)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(35°03' N - 106°37' W)	T (en °C)	1,7	4,4	7,9	13,2	18,4	23,8	25,8	24,8	21,4	14,7	6,7	2,8	13,8
Altitude : 1620 m	P (en mm)	10	10	12	12	19	14	30	34	24	19	10	12	207

#### Afrique

LUBANGO (Angola)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(14°56' S - 13°34' E)	T (en °C)	18,6	18,5	18,7	18,6	17	14,9	15,5	18	20,3	20,3	19,5	19,2	18,3
Altitude : 1758 m	P (en mm)	130	164	182	83	6	0	0	0	6	70	117	126	884

ADDIS ABABA (Ethiopie)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(9°00' N - 38°44' E) a	T (en °C)	16,1	18,2	19	19,2	19,8	18,1	15,1	15	15,4	15,3	14,9	15	16,8
Altitude : 1758 m	P (en mm)	24	25	68	93	50	105	228	263	174	41	3	15	1089

ANTANANARIVO (Madagascar)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(18°54' S - 47°32' E)	T (en °C)	19,3	19,2	18,9	17,8	15,6	13,9	13	13,5	15,1	17,2	18,6	19,1	16,8
Altitude : 1310 m	P (en mm)	286	218	231	36	13	9	10	10	15	43	143	257	1270

OUARZAZATE (Maroc)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(30°57' N - 6°50' W) a	T (en °C)	9,2	11,4	14,8	18,3	22	26,7	29,8	29,2	25	19,5	14	9,4	19,1
Altitude : 1136 m	P (en mm)	6	5	12	8	5	4	2	9	19	18	18	15	121

## Les grands milieux en montagnes

NAIROBI (Ouganda)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(1° 18' S - 36° 46' E)	T (en °C)	17,8	18,1	18,8	18,8	17,8	16,2	14,9	15,6	16,8	18,6	18,3	17,8	17,5
Altitude : 1788 m	P (en mm)	45	51	101	206	160	46	19	26	26	54	109	82	926

BUTEMBO (Congo)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(0° 08' N - 29° 16' E)	T (en °C)	17	17,2	17,6	17,8	17,8	16,8	16,6	17	17,1	17,2	16,8	16,5	17,2
Altitude : 1700 m	P (en mm)	48	132	138	110	84	71	96	138	178	154	147	95	1391

HARARE (Zimbabwe)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(17° 50' S - 31° 03' E)	T (en °C)	20	19,8	19,4	18,7	15,9	13,6	13,6	15,6	19	21,3	20,8	20,4	18,2
Altitude : 1479 m	P (en mm)	216	172	99	36	11	4	1	3	5	30	100	186	863

### Asie

KABUL (Afghanistan)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(34° 33' N - 69° 12' E)	T (en °C)	-2,3	0,2	6,5	11,7	16,5	22,4	24,8	23,9	19,8	13,1	5,2	-0,3	11,8
Altitude : 1803 m	P (en mm)	28	61	72	117	33	1	7	1	0	1	37	14	372

DARJEELING (Inde)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(27° 03' N - 88° 16' E)	T (en °C)	6,4	7,7	11,2	14,3	15,7	17	17,5	17,5	17,2	15,1	11,3	8,1	13,3
Altitude : 2127 m	P (en mm)	22	27	53	109	187	522	713	573	419	116	14	5	2760

LEH (Inde, Cachemire)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(34° 09' N - 77° 34' E)	T (en °C)	-8,5	-5,5	0,1	5,6	10	13,9	17,4	16,9	13,1	6,7	0,6	-4,8	5,5
Altitude : 3514 m	P (en mm)	12	9	12	7	7	4	16	19	12	7	3	8	116

TEHERAN (Iran)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(32° 37' N - 51° 40' E)	T (en °C)	3,5	5,2	10,2	15,4	21,2	26,1	29,5	28,4	24,6	18,3	10,6	4,9	16,5
Altitude : 1590 m	P (en mm)	37	23	36	31	14	2	1	1	1	5	29	27	208

ERZURUN (Turquie)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(39° 55' N - 41° 16' E)	T (en °C)	-8,6	-7	-3,1	5	10,9	15	19,1	19,6	15,1	8,7	1,7	-5,5	5,1
Altitude : 1893 m	P (en mm)	40	23	36	40	34	44	42	45	39	46	34	35	458

### Europe

ZUGSPITZE (Allemagne)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(47° 25' N - 10° 59' E)	T (en °C)	-12	-12	-9,5	-6,9	-2,5	0,5	2,5	2,4	0,6	-3,2	-7	-10	-4,7
Altitude : 2962 m	P (en mm)	203	165	160	178	168	201	210	144	115	129	121	153	1947

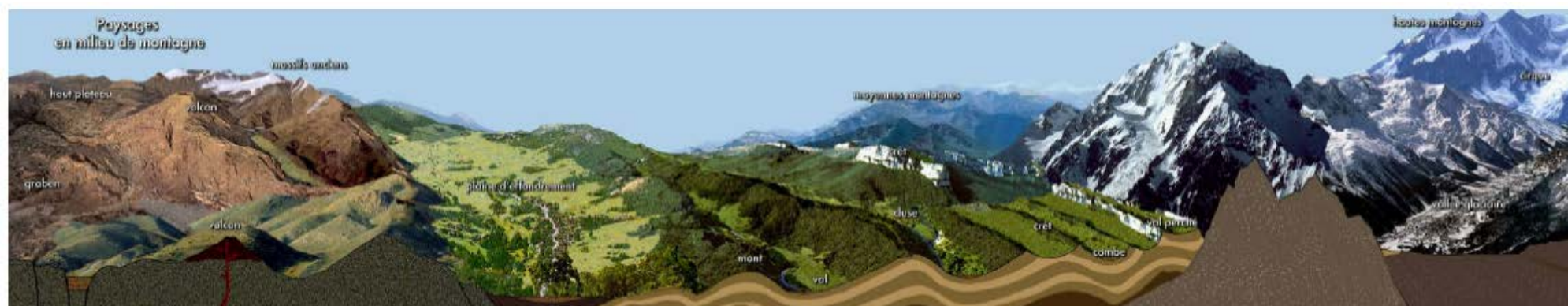
SONNBLICK (Autriche)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(47° 03' N - 12° 57' E)	T (en °C)	-13	-13	-11	-8,2	-3,8	-0,6	1,6	1,4	-0,5	-4,3	-8,3	-11	-6
Altitude : 3107 m	P (en mm)	115	108	112	153	136	142	154	134	104	118	108	111	1495

PENHAS DOURADAS (Portugal)		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
(40° 25' N - 7° 33' W)	T (en °C)	2,4	3	4,7	6,7	9,2	13,9	17,2	17	14,3	9,6	5,6	3,2	8,9
Altitude : 1388 m	P (en mm)	276	190	238	143	147	67	25	27	82	154	262	305	1916

## 4. Sélection de documents pour aborder les grands milieux en montagnes en classe

### Thème : une coupe-synthèse

#### Paysages en milieu de montagne



Hachette Multimédia / Pierre Delavie

À gauche, des massifs anciens, portions de vieux socles cristallins dont le soulèvement se traduit par de grandes failles, avec des portions soulevées (horsts), d'autres effondrées (grabens). Dans les failles, de grandes quantités de laves se sont épanchées, les plus visqueuses formant des cônes volcaniques. Au contact de ces grands massifs anciens, dans les fossés d'effondrement, s'étalent de larges couloirs de plaines où les rivières, alimentées par les torrents des montagnes, ont le plus souvent un cours puissant. Dans les terrains sédimentaires, relativement plastiques, le soulèvement des massifs montagneux tend à faire glisser les couches vers les régions les plus basses, provoquant des plissements : l'anticlinal correspondant à un mont, le synclinal à une vallée. Les bombements anticlinaux éventrés par l'érosion créent des reliefs de combes, avec des reliefs d'inversion (crêts entourant un val perché), le réseau hydrographique se frayant parfois un passage (cluse) à travers les lignes de crêtes. Les hautes montagnes des massifs cristallins, à droite, résultent d'un soulèvement tectonique plus récent. Les glaciers y ont sculpté des vallées à fond plat et aux versants abrupts. Les crêtes sont bien marquées, avec des versants souvent dissymétriques, des éperons rocheux, des pics et des aiguilles.

D'après Hachette Multimédia (2006)

## Thème : Les grandes montagnes dans le monde

### Doc 1

### Les Alpes, épine dorsale de l'Europe

Les Alpes forment un large croissant, de plus de 800 km, qui traverse la Suisse, l'Italie du Nord, l'Autriche et le sud de l'Allemagne et s'étend jusqu'au nord de la Yougoslavie. La chaîne s'est formée il y a de 35 à 25 millions d'années, lorsque la plaque africaine s'est lentement enfoncée dans le continent européen. Ses paysages sont spectaculaires, avec des sommets recouverts de neige, des vallées profondes et des lacs encaissés. Le Cervin (Matterhorn, 4 477 m) et l'Eiger (3970 m) constituent deux des défis les plus redoutables à relever par les alpinistes.

Les Alpes occupent les trois cinquièmes de la Suisse. Elles constituent le caractère dominant de ce pays et présentent une géologie complexe. Les roches vont des calcaires sédimentaires des Alpes bernoises aux schistes de la chaîne centrale qui ont été profondément métamorphosés par la chaleur et la pression. Les mouvements de la Terre ont également donné naissance à des plissements et des imbrications complexes de roches.

Le paysage résultant de cette activité tectonique peut présenter de grandes variations d'altitude sur de toutes petites distances. Situé à 372 m d'altitude, le lac Léman est à moins de 100 km du mont Rose qui culmine à 4 643 m. L'éventail des climats est également très varié. Il est presque subtropical sur les bords des lacs de la frontière italienne et glacial sur les sommets. Les vallées peuvent être le théâtre d'inondations, de glissements de terrain ou d'avalanches, du fait que les matériaux de surface se détachent facilement des pentes abruptes et que les précipitations de pluie ou de neige peuvent être très importantes.

Le cinquième des Alpes suisses est recouvert par des glaces et des neiges éternelles. Les plus grandes zones de glace se trouvent dans les Alpes pennines (au sud) et dans les Alpes bernoises. C'est dans ces dernières que l'on trouve le plus long glacier des Alpes, l'Aletsch, qui s'étend sur 24 km. En termes de temps géologiques, le recul des glaciers est si récent que les traces de leur présence sont encore très marquées. Les vallées des cours supérieurs du Rhône et du Rhin sont d'impressionnantes saignées orientées d'est en ouest qui séparent les Alpes du Nord de celles du Sud.

En Autriche, les Alpes sont formées par les chaînes accidentées du nord, les chaînes calcaires du Tauern, au sud, et le Grossglockner (3 798 m), au centre. Ces trois zones sont séparées par des vallées comme celles dans lesquelles coulent l'Inn et la Salzach, comparables aux vallées suisses du Rhin et du Rhône.

Les Alpes autrichiennes sont très semblables aux Alpes suisses, bien qu'elles ne soient pas aussi hautes et que leur géo-logie soit moins complexe. Près de la frontière nord de l'Autriche, on trouve dans les Alpes bavaroises le Zugspitze qui, avec ses 2 963 m d'altitude, est le point culminant de l'Allemagne.

#### Les montagnes du Jura

Le long de la frontière nord-ouest de la Suisse se trouve une autre chaîne : le Jura. Il est formé de calcaires d'origine marine datant du Jurassique (c'est-à-dire entre 213 et 144 millions d'années), période géologique qui doit son nom à cette région. Plus tard, lors de la formation des Alpes, celle-ci a été soulevée et plissée en une série très régulière de monts et de dépressions parallèles. Les sommets reçoivent de la pluie et de la neige en abondance. L'eau s'infiltré dans le sous-sol poreux et reste peu en surface. Les quelques rivières existantes ont taillé de profondes gorges dans les reliefs. Le Jura descend du sud-ouest au nord-est, où les plateaux et les vallées profondes constituent le Jura tabulaire.

### Le Mittelland

Au centre de la Suisse, le Mittelland se situe entre les Alpes et le Jura. Les roches de surface proviennent des rivières qui descendent des Alpes, au sud et au nord. Elles sont de deux types : les plus grosses, que l'on trouve dans les régions voisines des Alpes, forment des conglomérats; les matériaux plus fins ont été entraînés plus loin avant de se déposer sous la forme de sable et de marnes.

Au cours de la période récente du Quaternaire, l'action des rivières et des glaciers a accentué la diversité du relief. Les rivières ont creusé des vallées profondes et formé des terrasses; les glaciers ont dégagé de larges bassins, occupés plus tard par des lacs. Le paysage est varié, bien que l'altitude moyenne reste relativement faible, entre 400 m, près du Jura, et 800 m, au pied des Alpes. Cette région est parfois appelée Plateau suisse ou Foreland. En Allemagne, la région correspondante est le Foreland bavarois, qui va des Alpes bavaroises au Danube. Là, les débris provenant des Alpes forment une couche de plusieurs centaines de mètres, recouverte au sud par des débris d'origine glaciaire.

En Autriche, la région correspondante est située immédiatement au nord de la partie est des Alpes. Son altitude est également assez basse (de 250 à 800 m) et elle est, elle aussi, formée de roches tertiaires, principalement des grès, sculptées par les rivières et les glaciers.

### Avancée et retrait des glaciers

Au cours des époques glaciaires de ces deux derniers millions d'années, les glaciers du monde entier ont subi d'importantes variations. On connaît beaucoup moins les petites variations qui les ont affectés au cours des époques historiques. Pourtant ces dernières ont eu une influence considérable sur l'environnement et les populations. De la fin du Moyen Âge jusqu'en 1860, les glaciers alpins étaient relativement grands, entre 1 et 3 km de plus qu'aujourd'hui. Cette époque de refroidissement est connue sous le nom de Petit Âge glaciaire. Les preuves de l'importance plus grande des glaciers et de la dureté des hivers se trouvent dans les cartes et les vieux documents, les peintures d'époque, mais également dans les études de terrain sur les végétaux et les sédiments glaciaires.

Aujourd'hui, pratiquement tous les glaciers alpins reculent. Pourtant, dans le passé, il est arrivé que des glaciers, en grandissant, détruisent des cultures, des routes ou des constructions. En Suisse, ils ont modifié les systèmes d'irrigation, alors qu'en Autriche leur avancée est l'une des raisons de l'abandon des exploitations minières en haute montagne. Quand un glacier se terminait sur un terrain fortement en pente, des blocs de glace pouvaient éventuellement se détacher et provoquer des avalanches aux conséquences imprévisibles. Plusieurs villages ont été dévastés, en Suisse, alors que des lacs formés rapidement par la fonte de glaciers se vidaient brusquement, causant des inondations.

Aujourd'hui, les glaciers ont un rôle plus bénéfique. L'eau de fonte des glaciers est domestiquée pour faire tourner des turbines qui produisent les deux tiers de l'électricité nécessaire à la Suisse et à l'Autriche. De grands barrages permettent de récupérer l'eau en été, lors de la fonte des glaces, et de l'utiliser en hiver, quand la demande est la plus forte.

D'après sous la direction de K.J. GREGORY, *Le Globe terrestre*, éd. Time-Life, Amsterdam, 1991, pages 148 et 149.



### L'Himalaya : la muraille géante de l'Asie

En népalais, Himalaya signifie « maison des neiges ». Cette « maison » est de loin le système de montagnes le plus important du monde. Son altitude moyenne est de 6 000 m et il s'étend sur plus de 2 500 km, traversant le Pakistan, l'Inde, la Chine, le Népal, le Sikkim et le Bhoutan. C'est dans cette chaîne que se trouve la montagne la plus élevée du monde : l'Everest (8 848 m), qui est encore connu sous le nom de l'explorateur anglais de ce nom, et que les Tibétains nomment Chomolungma. Le troisième sommet le plus élevé, le Kanchenjunga (8 598 m), se trouve également dans l'Himalaya. Le deuxième, le K2, est situé à proximité, dans la chaîne des monts du Karakorum. Quelque 30 sommets dépassent 7 600 m et 90 des 100 sommets les plus élevés du monde se trouvent dans l'Himalaya. Ils dépassent tous 7 300 m.

L'Himalaya est constitué de trois chaînons parallèles. Au nord, le Grand Himalaya est recouvert de neiges éternelles. C'est là que l'on trouve les sommets les plus élevés. Sur le flanc méridional du Grand Himalaya se déploie le Petit Himalaya, dont les sommets les plus élevés se situent à l'extrémité occidentale de la chaîne. Encore plus au sud se trouve la chaîne des monts Siwalik, dont l'altitude est inférieure, avec des sommets n'atteignant pas 1 000 m. Elle est formée de grès grossiers résultant de l'érosion de l'Himalaya et a été redécoupée par des vallées fluviales. Bien que beaucoup moins élevée, elle présente cependant un relief très tourmenté.

Entre les monts Siwalik et le Petit Himalaya, on rencontre quelques bassins fluviaux comme celui de la vallée de Katmandou, au Népal.

Une large vallée, où deux des grands fleuves du subcontinent indien prennent leur source, court le long de la bordure nord du Grand Himalaya. L'Indus coule vers l'ouest, dans un sillon creusé d'est en ouest, tandis que le Brahmapoutre, pour sa part, se dirige vers l'est.

#### Toujours plus haut

La colossale structure de l'Himalaya résulte d'un événement majeur de l'histoire de la Terre : la collision de deux continents. La partie de la croûte terrestre qui forme la péninsule indienne s'est détachée du continent de Gondwana au Crétacé (de -144 à -65 millions d'années). Elle a dérivé lentement vers le nord-est en s'écartant de l'Afrique, parcourant environ 1 km tous les 10 000 ans. Il y a environ 40 millions d'années, la plaque indienne a rencontré la plaque eurasiennne. La dérive se ralentit de moitié et les anciennes roches sédimentaires marines qui se trouvaient entre les deux continents furent soulevées pour former l'Himalaya. Des dislocations massives accompagnèrent ce soulèvement, en particulier des failles inverses dont l'angle de rejet par rapport à l'horizontale était inférieur à 45° et qui virent d'énormes blocs montagneux se chevaucher sur 50 km ou plus.

La croûte océanique portant le continent indien continuait sa progression, emmenant la plaque indienne encore plus vers le nord. Cette dernière passa sous la plaque eurasiennne, épaississant la croûte terrestre de 70 à 90 km sous l'Himalaya et le Tibet, faisant ainsi de cette zone la croûte la plus épaisse du globe. Au cours des derniers millions d'années, toute la région de l'Himalaya s'est soulevée de plus de 3 000 m, d'une part à cause du relèvement isostatique qui accompagne l'épaississement de la croûte flottant sur le manteau sous-jacent, d'autre part parce que l'Inde continue de s'enfoncer dans l'Asie au rythme, certes plus lent, de 1 km tous les 100 000 ans. Des tremblements de terre se produisent régulièrement, indiquant que les montagnes sont encore en formation.

En moyenne, cette région se soulève de près de 2 m tous les 1 000 ans et perd environ 1 m en raison de l'érosion. Ces matériaux érodés sont transportés par les grands fleuves et déposés dans les terres plus basses pour former les plaines alluviales et les deltas du nord de l'Inde, du Bangladesh et du Pakistan.

Ces grandes montagnes constituent une barrière climatique très efficace qui empêche les vents de mousson et l'air humide de se déplacer vers le nord. C'est pourquoi le plateau du Tibet est l'un des endroits les plus froids et les plus secs de la Terre. En raison des faibles précipitations de pluie et de neige, il y a relativement peu de glaciers sur les pentes nord de l'Himalaya. Sur les versants méridionaux enneigés, le travail des glaciers, la surrection constante des couches géologiques et les

précipitations élevées donnent naissance à des régions très instables qui connaissent souvent des avalanches et des glissements de terrain.

D'après sous la direction de K.J. GREGORY, *Le Globe terrestre*, éd. Time-Life, Amsterdam, 1991, pages 208 et 209.

### Doc 3

## Les Andes : la chaîne de montagnes la plus longue

Des rivages ensoleillés des Caraïbes jusqu'au cap Horn, la cordillère des Andes couvre presque 70° de latitude et une distance de plus de 7 250 km. C'est la plus longue chaîne montagneuse, d'un seul tenant, qui existe au monde.

Les couches rocheuses des Andes ont été soulevées et plissées par suite du mouvement vers l'est de la plaque de Nazca. Ce mécanisme est toujours actif et les montagnes sont donc toujours en cours de surrection. La chaîne n'occupe qu'une zone étroite, et on enregistre des variations importantes d'altitude sur de courtes distances. De la fosse Pérou-Chili, au large des côtes, au sommet du point culminant des Andes, l'Aconcagua, la dénivellation est de 14 000 m pour une distance de 150 km.

#### LES PLUS GRANDES CHAÎNES DE MONTAGNES

C'est en Asie que se trouvent la plupart des chaînes de montagnes qui dépassent 1 000 km de long. De nombreuses chaînes font partie d'un système majeur de formation des montagnes : ainsi les Andes et les montagnes Rocheuses qui appartiennent à la ceinture de feu du Pacifique, ou encore l'ensemble qui s'étend de l'Atlas et des Alpes jusqu'à l'Himalaya.

Longueur approximative	km
Andes, Amérique du Sud	7 250
Montagnes Rocheuses, Amérique du	4 800
Cordillère australienne, Australie	3 700
Monts transantarctiques	3 200
Himalaya, Chine/Inde	2 500
Oural, Russie	2 000
Atlas, Afrique du Nord	2 000
Altaï, Chine/Russie	1 600
Kouen Louen Shan, Chine	1 600
Carpates, Europe	1 500
Tien shan, Chine/Russie	1 300
Caucase, Russie	1 200

Les Andes font partie de la « ceinture de feu », cette gigantesque écharpe de volcans qui entoure le Pacifique. On trouve des volcans actifs sur presque toute la longueur de la chaîne sud-américaine, notamment dans sa portion septentrionale, au Pérou et en Équateur.

#### La traversée des Andes

Les variations altitudinales peuvent avoir les mêmes effets sur la végétation que les changements de latitude si la longueur de la période végétative se trouve affectée. Les variations en latitude sont progressives, mais dans les Andes les formations végétales peuvent se modifier très brusquement: sur une distance de 20 km, on peut passer de la forêt tropicale humide du bassin de l'Amazone à une forêt plus sèche de chênes vers 1 000 m, puis à la forêt naine, à la brousse et aux tourbières de type alpin du « paramo », et finalement au désert glacé, au-dessus de 4 500 m.

Les pentes orientales, face au bassin amazonien, peuvent recevoir jusqu'à 5 000 mm de précipitations annuelles. Les bassins et les vallées intérieurs ne reçoivent qu'entre 500 et 1 000 mm par an, tandis que les côtes occidentales du Pérou et du Chili septentrional, quoique souvent recouvertes de nuages bas, ne voient presque jamais la pluie. Plus au sud, les versants occidentaux connaissent un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Encore plus au sud, les vents d'ouest amènent la pluie,

qui tombe durant toute l'année.

Avec la diminution des précipitations aux altitudes basses, les températures augmentent. Dans les Andes péruviennes, la température moyenne annuelle à Vincocaya (4 300 m) est de 1,9 °C; à Cuzco (3 500 m), elle est de 10,7 °C, et à Arequipa (2 700 m), de 13,8 °C.

À l'extrême nord, la Cordillère orientale se subdivise en deux branches entre lesquelles pénètre un bras de mer, le lac Maracaibo. Plus au sud, tout en s'élargissant jusqu'à 600 km, la structure de la chaîne se simplifie. Les Cordillères orientale et occidentale sont séparées par un haut plateau, l'« altiplano », à proximité du lac Titicaca et la « puna », plus au sud. En continuant vers le sud, les

chaînes n'en forment plus qu'une, séparée de la mer par des chaînes côtières beaucoup plus basses et la vallée centrale du Chili.

### Neige, glaciers et air raréfié

Dans l'extrême sud, à la latitude de la Terre de Feu, les Andes, encore plus étroites, sont échanquées par des fjords très profonds. Ici la limite des neiges permanentes se trouve presque au niveau de la mer en raison du froid extrême et des précipitations importantes occasionnés par les quarantièmes rugissants, c'est-à-dire les vents dominants de secteur ouest. Dans la zone plus aride avoisinant 15-30° S., où dominent les hautes pressions de l'anticyclone du Pacifique, la limite des neiges permanentes s'élève à 6 700 m sur les pentes du Llullaillaco. Au nord, la limite s'abaisse jusqu'à environ 4 500 m. À l'exception de l'extrême sud, les glaciers sont petits et dispersés. Durant la dernière glaciation, qui prit fin il y a environ 10 000 ans, les glaciers andins étaient beaucoup plus importants; ils sont maintenant encore plus petits qu'ils ne l'étaient il y a 400 ans.

La pression atmosphérique basse des hautes Andes rend la respiration difficile; ceux qui y vivent, hommes et animaux, se sont adaptés à la raréfaction de l'oxygène.

D'après sous la direction de K.J. GREGORY, *Le Globe terrestre*, éd. Time-Life, Amsterdam, 1991, pages 88 et 89.

---

## Thème : Végétation

### Doc 1

### La flore de montagne

Des luxuriantes forêts tropicales à celles, rabougries et naines, des zones tempérées, la diversité de la flore de montagne est grande

La flore de montagne se répartit en 3 catégories, selon l'altitude : la zone montagnarde en bas puis, en montant les zones subalpine et alpine. La végétation d'une catégorie varie d'une région du monde à l'autre mais, en règle générale, dans la zone montagnarde, elle ressemble beaucoup à celle des forêts boréales car elle doit supporter les mêmes hivers froids et neigeux qui voient prospérer les essences conifères. La limite supérieure de cette zone coïncide avec celle des arbres (au-delà les forêts cessent de s'y développer et sont remplacées par des arbres clairsemés, rabougris, assimilables à des broussailles). Au-dessus, la zone subalpine est une surface de transition relativement restreinte où les arbres disparaissent totalement. Enfin, plus haut, la zone alpine s'étend jusqu'à une altitude où le sol est enneigé en permanence et où seules des plantes alpines spécifiques subsistent.

#### Zones montagnarde et subalpine

Sous hautes latitudes, le climat des zones montagnardes inférieures, avec ses hivers longs, froids, et ses étés chauds, est assimilable à celui de la toundra. Dans l'ensemble, la végétation n'y est donc pas très différente : forêts de conifères clairsemés à feuillage persistant. Cependant les forêts des zones montagnardes des régions tempérées sont plus denses et plus résistantes car elles bénéficient d'un été plus intense.

Au-delà de sa limite supérieure, la forêt classique est remplacée par une forêt naine constituée d'arbres et d'arbustes à port étalé, formant un fourré dense et bas, ou par une zone d'arbres à port érigé, petits et très clairsemés. Ce type de flore conifère est particulièrement répandu dans les montagnes du nord, tempérées, ainsi qu'au Colorado et dans le Wyoming. Les arbres de la zone subalpine, fortement influencée par les vents violents, s'assimilent plus à des broussailles. Les vents et la dessiccation les déforment, et leur confèrent des modes de croissance particuliers, caractérisés par une ramure se développant surtout du côté du tronc abrité.

Sous les tropiques, les forêts d'arbres à feuillage persistant poussent à l'altitude où les nuages se forment d'ordinaire et tapissent les pentes montagneuses d'Afrique, d'Amérique du Sud, d'Indonésie

et de Nouvelle-Guinée. L'humidité suinte en permanence des arbres qui, couverts de mousse, hébergent des orchidées et autres épiphytes. Plus haut, le climat est plus froid ; les forêts sont constituées d'un mélange d'espèces tempérées et tropicales, si bien que chênes, fougères arborescentes, palmiers et bambous s'entremêlent souvent. Dans les Andes, haute altitude rime souvent avec aridité, mais différentes espèces de puyas (plante de la famille de l'ananas, connue pour ses grands troncs épineux et fleuris, ainsi que pour ses fleurs cireuses bleu-vert portées par des tiges brillantes) poussent jusqu'à 4 000 m. En Afrique orientale, au-dessus de la forêt fluviale montagnarde, des zones entières sont peuplées de bambous et d'éricacées.

### La zone alpine

Dans les régions alpines, le climat est rigoureux : les températures restent basses et l'ensoleillement augmente brutalement, avec d'énormes variations entre températures diurnes et nocturnes. Il est aussi très inégal, car les pentes exposées au vent reçoivent beaucoup plus de pluie et de neige que celles abritées, et des écarts thermiques spectaculaires séparent adrets et ubacs.

L'étage alpin commence à l'endroit où l'isotherme 10° C coïncide avec le mois le plus chaud de l'année (un isotherme est une ligne qui, sur une carte, relie tous les points de température identique). L'altitude correspondante augmente à mesure que décroît la latitude : elle est de 2 000 m dans les Alpes et les montagnes Rocheuses canadiennes, situées à 49-54 ° N, d'environ 3 900 m au Sikkim, dans l'Himalaya, à 20-30 °N, et de 4 500 m dans les Andes et à l'équateur.

### Survivre en zone alpine

Différentes espèces utilisent les niches offertes par la montagne : colonies de petits arbustes poussant d'ordinaire au-dessus des forêts d'altitude, graminées et bruyères de montagne, populations végétales poussant sur roches, falaises, éboulis, moraines et cimes ensoleillées, ainsi que les espèces prospérant dans les marais, sur les bords de rivière et aux endroits où la neige fond. Au sommet de cet étage alpin, mousses et lichens supportant le froid se développent dans les lieux ensoleillés et abrités, où les températures diurnes sont les plus élevées. Ces stations, les plus recherchées, se situent là où la neige fond suffisamment vite pour permettre la croissance, mais assez lentement pour que les plantes ne soient pas noyées. Capables de supporter la sécheresse hivernale ou estivale, certains lichens, qui comptent parmi les quelques espèces survivantes, vivent plus de 1 000 ans.

Dans le monde, nombre de massifs montagneux sont isolés. Les plantes ont donc évolué en dehors de toute hybridation entre espèces ou formes apparentées, et présentent des caractéristiques qui leur sont propres. Ces espèces endémiques occupent souvent des niches précises où elles ne rencontrent aucune concurrence. En Europe, des massifs montagneux sont devenus les refuges de certaines espèces durant les périodes glaciaires. Ainsi, en Grèce, le mont Olympe n'abrite pas moins de 20 espèces endémiques.

Malgré l'isolement de certaines zones alpines, des liens génétiques étroits peuvent exister entre les différentes espèces vivant dans ces diverses stations ; ce qui incite à penser que les plantes alpines actuelles, qui poussent dans des climats tempérés, sont les rescapées d'espèces circumpolaires supportant le froid, beaucoup plus répandues pendant les périodes glaciaires de l'histoire climatique terrestre.

D'après BURROUGHS W.-J., L'encyclopédie du climat, éditions Delachaut et Niestlé, Lausanne, 2000, page 86.

Doc 2

## L'étagement de la végétation dans les Alpes

L'étagement de la végétation dans les vallées de montagne est essentiellement marqué par une dissymétrie des versants en fonction de leur exposition au soleil : l'ubac, versant sombre et froid, s'opposant à l'adret, exposé au rayonnement solaire. L'agriculture s'était traditionnellement développée sur les adrets, les ubacs restant occupés par les forêts. Avec le développement des activités touristiques liées aux sports d'hiver, ce sont aujourd'hui les ubacs, mieux enneigés, qui profitent du développement économique lié à ces nouvelles activités, tandis que l'agriculture est en voie de disparition. L'élevage laitier est également en recul, au profit des zones de plaines, plus rentables. Le transport du courant électrique sur de longues distances ne posant plus de difficultés, les activités industrielles (métallurgie, aluminium), naguère liées à la disponibilité de l'énergie créée localement par les barrages, tendent également à migrer aujourd'hui vers les plaines, mieux reliées aux grandes voies de communication. L'activité économique principale devient donc le tourisme : aménagement de centres de loisirs nautiques sur les lacs de retenue, terrains de golf et stations de sports d'hiver.



Doc 3

## L'étagement des milieux de vie dans les Andes tropicales



Hachette Multimédia / Pierre Delavie

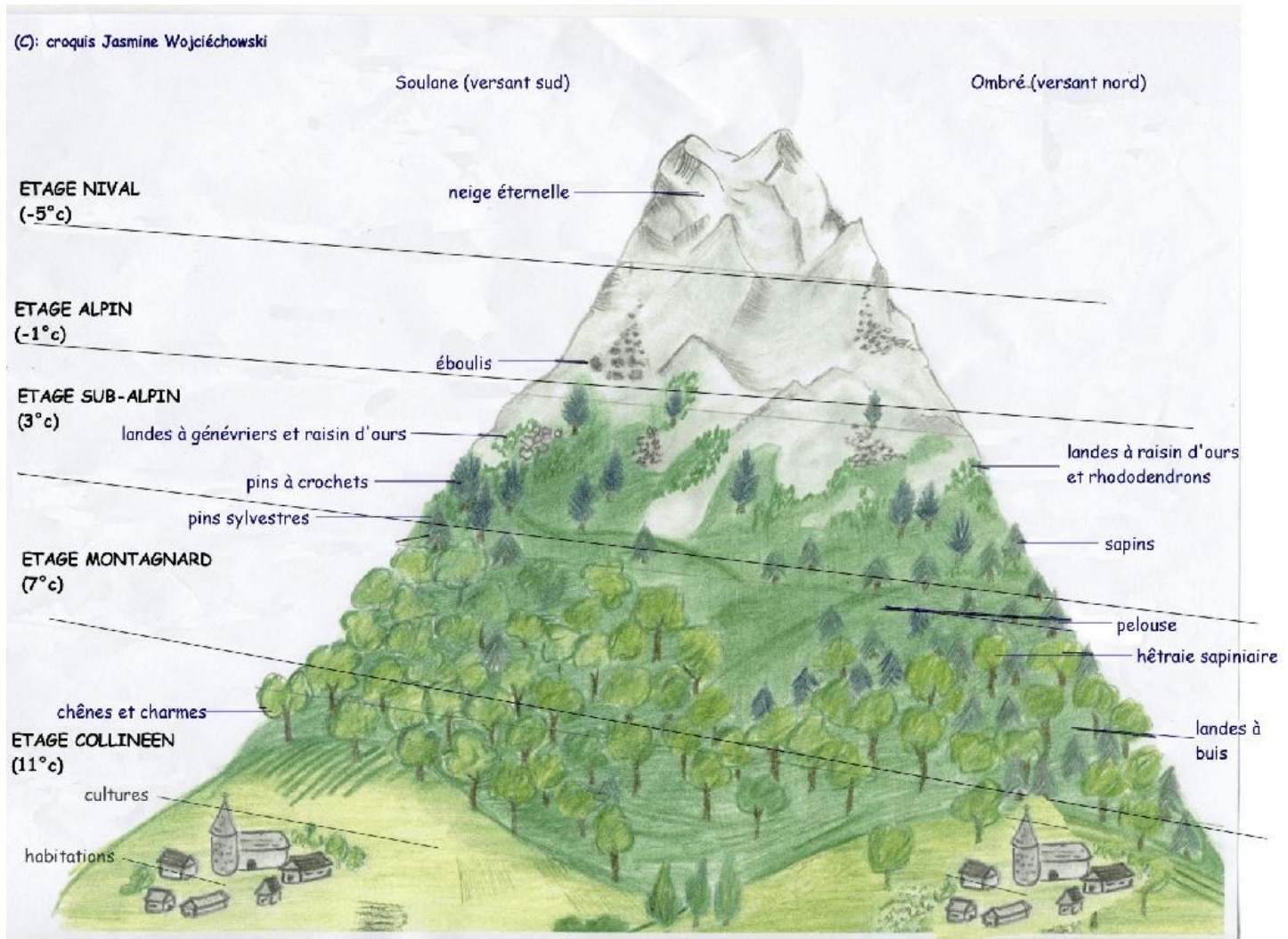
Large de 100 à 500 kilomètres, la cordillère des Andes constitue un obstacle continu et presque infranchissable entre le Pacifique et le versant atlantique. Au-delà d'une étroite bande côtière soumise aux influences adoucissantes de l'océan, son climat est surtout marqué par l'altitude. On a figuré ici un paysage typique des Andes du Nord, humides, situées dans la zone tropicale. On distingue plusieurs étages :

- le domaine glaciaire, au-dessus 4 500 - 5 000 mètres, avec quelques glaciers courts (près de l'équateur la limite des neiges éternelles est très élevée) ;
- le domaine périglaciaire et les hautes terres (tierras frias) au-delà de 3 000 - 3 500 mètres : le gel fréquent n'y empêche pas la culture de la pomme de terre et des céréales locales, mais les rendements sont faibles en raison du froid, d'une relative sécheresse et de la pauvreté des sols. La végétation naturelle est adaptée à l'altitude : forêt de conifères, puis, au-delà de 4 000 mètres, arbustes et graminées (paramo et puna), terres de pâture pour les moutons et les lamas ;
- les terres moyennes (tierras templadas), de 1 500 à 3 000 mètres, étage tropical tempéré. À partir de 1 500 mètres, la forêt sempervirente laisse la place à la forêt mixte (bambous, lauriers...). C'est l'étage des grandes plantations (café, maïs). Les aires de savane sont utilisées pour l'élevage des bovins dans le cadre de grandes haciendas ;
- les basses terres (tierras calientes), chaudes et humides, jusqu'à 1 500 mètres. L'occupation de ces terres y est plus récente que celle des étages supérieurs, moins malsains. De grandes plantations y sont installées dans des trouées faites par le feu dans la forêt tropicale : fruits tropicaux, canne à sucre, bananes...

Doc 4

## Les étages de végétation dans le monde. Ici dans les Pyrénées

Un classement bien défini permet de mieux comprendre la répartition de la végétation en montagne. Ce classement s'appelle des "étages" qui dépendent de l'altitude, de l'orientation des versants, et de la nature du sol. A chacun de ses étages correspond un type de plante et de vie végétale. Pour mieux comprendre ce classement il faut savoir qu'il a été établi en fonction des températures moyennes annuelles.



### 1 - L'étage collinéen: (+11°C).

D'une façon générale, pour mieux situer l'emplacement de cet étage, il lui correspond les villages implantés dans les fonds de vallées, avec les champs de cultures environnants, des forêts de chênes, de châtaigniers et de charmes. Dans les Pyrénées, il est possible de rapprocher cette température moyenne annuelle à une altitude allant jusqu'à environ, 1000 mètres en versant sud (soulane) et 800 mètres en versant nord (ombré).

### 2 - L'étage montagnard: (+7°C)

C'est ici que les bergers avaient implantés les granges foraines, défrichés des forêts pour pouvoir créer des zones de pâturage. Les forêts de hêtres et de sapins (hêtraies-spinaires) sont présentes, agrémentées de landes à buis. Il correspond à une altitude approximative allant jusqu'à 1900 mètres en soulane et 1700 mètres à l'ombré.

### 3 - L'étage sub-alpin: (+3° c)

A cet étage la végétation commence à se faire plus rare. Elle est composée de forêts de résineux, tel le sapin, le pin sylvestre, le pin à crochets, mais ces bois sont clairs. Les landes sont composées d'arbustes, de sous-arbrisseaux bas comme le rhododendron, le genévrier, le raisin d'ours. Les estives y sont bien, plus présentes, composées de grandes surface de pelouses. Selon les endroits des rochers et éboulis commencent à faire leur apparition. La limite de cet étage se situe vers les 2500 mètres en versant sud et 2300 mètres en versant nord.

### 4 - L'étage alpin: (-1° c)

Ici, les arbres ne peuvent plus vivre et se développer. C'est en général la limite supérieure des forêts. Pourtant, il est souvent question de ce qu'il est appelé "la zone de combat". Ce terme signifie que c'est à cette altitude que certains arbres tentent quand même de s'implanter et de vivre encore un peu plus haut. La limite d'une forêt lorsqu'elle atteint cet étage, n'est pas nette et brutale. Il persiste encore quelques "individus" ça et là, mais de plus en plus isolés. Les grandes surfaces de pelouse diminuent, l'herbe est bien plus rase, la végétation particulièrement clairsemée, les rochers et éboulis prédominent. L'altitude concernée atteint les 2900 mètres en soulane, et 2700 mètre en ombré.

### 5 - L'étage nival: (-5° c)

C'est le pays des neiges permanentes. La végétation y est présente uniquement le biais de lichens encrés sur des rochers. La roche nue constitue l'environnement de cet étage qui débute à 3000 mètres, sans limite supérieure.

D'après Philippe Passemard, in [http://www.pyreneespireneus.com/ENVIR\\_etages%20\\_vegetation.htm](http://www.pyreneespireneus.com/ENVIR_etages%20_vegetation.htm)  
(novembre 2008)

---

<b>Doc 5</b>
--------------

## Et comment ils peuvent être découverts dans la littérature

La température changea brusquement à l'instant où le petit train à crémaillère, franchissant le pont métallique du couloir de la Filiaz, s'engageait sur les longues arches de pierre du viaduc. Jusque-là, l'air chaud des vallées stagnait, sous les épaisses frondaisons des forêts de sapins. Puis, tandis que les Aiguilles apparaissaient au tournant de la montagne, un vent froid soufflant des cimes enveloppa traîtreusement les voyageurs. Ceux-ci, penchés aux portières, laissaient éclater à haute voix leur étonnement admiratif devant l'élan gigantesque de l'Aiguille du Dru, prodigieux obélisque de dix-huit cents mètres de hauteur, épaulant la coupole de glace de l'Aiguille Verte.

Le paysage devint nu, minéral; la forêt cessa d'un seul coup, cédant la place aux essences naines — aulnes verts, rhododendrons, genévriers — qui calfataient les pierriers et les vieilles moraines. Seuls, quelques mélèzes décharnés, quelques arolles millénaires aux troncs de bronze éclatants, postés en sentinelles sur de gros blocs erratiques qu'ils étreignaient de leurs racines, ressemblaient à d'étranges rapaces montant la garde à l'entrée d'un monde interdit.

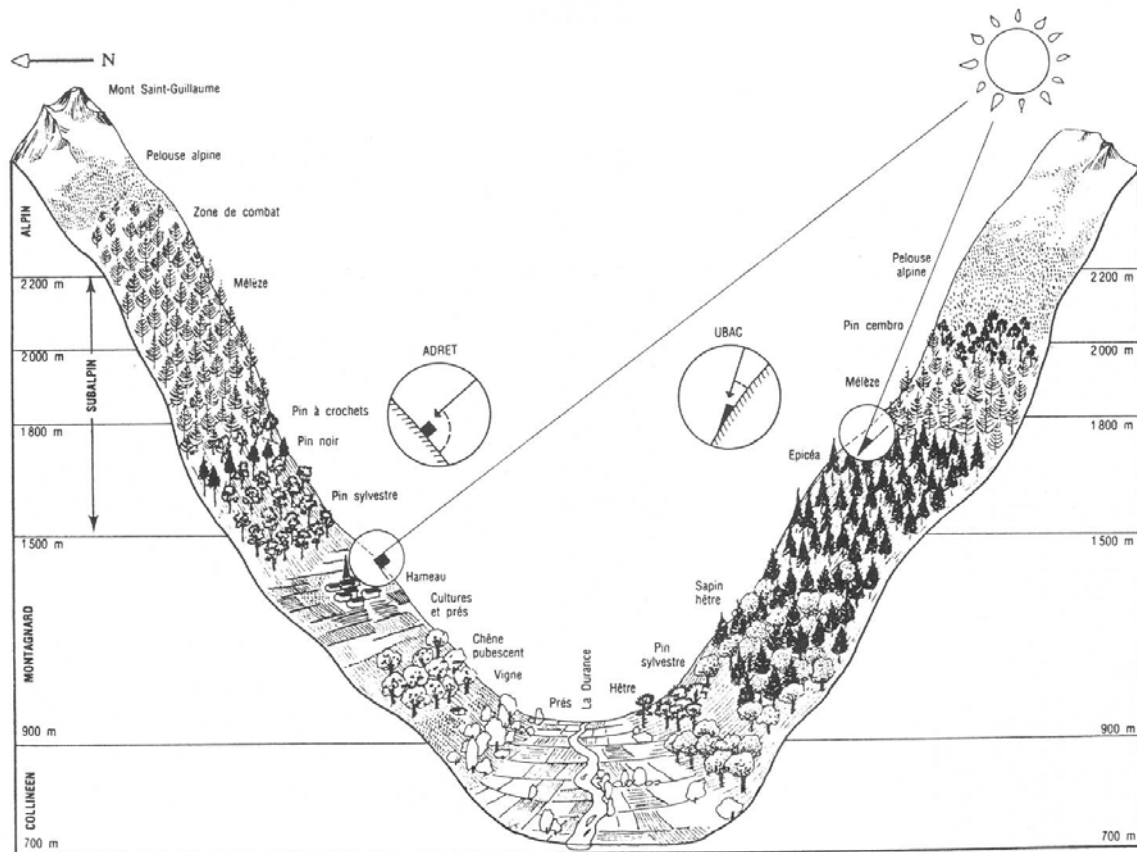
Frison Roche, R., *La grande crevasse*, Vromont, 1957, page 19.



## Thème : Particularités climatiques

### Doc 1

### L'opposition entre l'adret et l'ubac



**Opposition entre adret et ubac**  
(vallée de la Durance, Hautes-Alpes)

Conséquence directe de l'ensoleillement privilégié des versants exposés au sud et à l'est : une occupation préférentielle par l'homme qui en a profondément troublé l'ordonnance par ses défrichements, ses cultures et ses habitats, alors que les versants exposés au nord restent dévolus à la forêt. Les essences forestières se répartissent sur ces versants selon leur préférence écologique. Ainsi dans la vallée de la Durance aux environs d'Embrun, l'étage montagnard se caractérise sur l'ubac par une profonde forêt de hêtres et de sapins, alors qu'à même altitude l'adret porte une forêt claire de pins sylvestres facilement reconnaissables à leurs troncs orangés. On pourrait retrouver le pin sylvestre sur un versant exposé au nord mais à plus basse altitude et à plus basse latitude car, frileux, il ne supporte pas l'air humide et recherche la sécheresse.

D'après B. Fischesser, *La vie de la montagne*, éd; Chêne/Hachette, Milan, 1989, page 43.

### Doc 2

### Le Föhn

On donne le nom de Föhn, dans les vallées de la Suisse et du Tyrol, à un vent de direction constante, qui souffle en descendant de la montagne pendant plusieurs jours avec une violence croissante. Son influence sur la vie physique et organique a depuis longtemps attiré l'attention, non seulement des savants, mais même, du paysan, qui connaît ses effets puissants et sait prévoir son arrivée.

Un ciel d'un bleu éclatant., d'une transparence idéale, où les crêtes les plus éloignées offrent un profil violacé d'une netteté surprenante, un léger voile de nuages sur les cimes, qui se colore au soleil couchant de teintes fantastiques, une nuit chaude et lourde traversée par de brusques coups

## Les grands milieux en montagnes

de vent froid et troublée par les détonations des avalanches, tels sont les symptômes avant-coureurs du föehn.

Le lendemain le vent se lève en tempête. Les torrents gonflés par la fonte des neiges se précipitent, roulant des blocs énormes, des arbres entiers ; les avalanches tonnent de tous les côtés. A l'approche du föehn, le hameau alpestre se replie sur lui-même ; on se hâte de rentrer les troupeaux ; on éteint les feux, car une étincelle suffirait pour amener un incendie, tant la sécheresse est grande.

Si le föehn est un hôte redoutable, capable d'amener des désastres, ses effets sont parfois bienfaisants. Au printemps, il hâte la fonte des neiges et permet de bonne heure aux troupeaux l'accès des pâturages. Le paysan dit qu'un jour de föehn vaut quinze jours de soleil. Dans les vallées étroites, qui ne bénéficient guère de l'insolation, le föehn permet les cultures ; lorsqu'il tarde à apparaître, les récoltes sont compromises. A la fin de l'automne, c'est encore le föehn qui mûrit les raisins du canton des Grisons et les épis de maïs du Vorarlberg. Les îlots de végétation à caractère méridional, observés en Suisse et dans le Tyrol (environs d'Innsbruck), sont dus à l'influence du föehn.

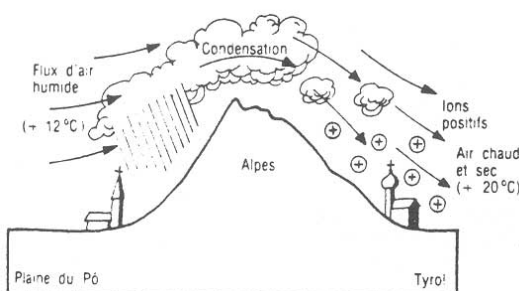
Quelques chiffres donneront une idée précise des modifications brusques apportées par le föehn dans l'état de l'atmosphère.

A Bludenz, le 16 février 1867, on notait les températures suivantes six heures du matin, 12,5°C ; — deux heures après midi, 17° C ; — 10 heures, 14° C.

L'humidité relative tombait à 26%(6 h.) et 21%(2 h.).

Le 1<sup>er</sup> février 1869 le thermomètre monta jusqu'à 19,3°C, l'humidité relative s'abaissa à 14% ; la température était supérieure de 15,7° C, l'humidité était inférieure de 58% à la normale.

D'après E. De Martonne, *Traité de Géographie physique*, tome 1, éd. Amand Colin, Paris, 1948, pages 325 et 326.



### L'effet föehn au niveau du Tyrol

L'air ascendant du côté italien subit une véritable métamorphose en franchissant les Alpes. En provenance de la plaine du Pô, il est tiède et humide à l'origine, puis en s'élevant se refroidit et devient frais et humide, les nuages s'accumulent sur les crêtes italiennes et provoquent des précipitations. Ces pluies échauffent et assèchent l'air qui, canalisé par les vallées, redescend de l'autre côté de la frontière en se réchauffant encore plus par compression pour, finalement, donner naissance à un vent violent, chaud et sec.

Entre Piémont et France les échanges de föehn sont fréquents, mais sans comparaison avec ce qui se passe entre Italie, Suisse et Autriche. En France, sont semblables au föehn la lombarde, qui se fait sentir jusqu'à Grenoble, et l'autan des Pyrénées. Et l'effet föehn également celui dû à la barrière des Vosges sur les vents d'ouest et qui oppose le versant lorrain pluvieux au versant alsacien beaucoup plus sec.

D'après B. Fischesser, *La vie de la montagne*, éd. Chêne/Hachette, Milan, 1989, page 42.

### Doc 3

## La ronde des saisons dans les Alpes

Pour la plupart de ses visiteurs, la Savoie est figée dans le spectacle immuable des cartes postales, dans la fraîcheur de l'été avivant les couleurs pour les uns, dans la blanche livrée hivernale pour les autres. Or, la succession des saisons est un renouvellement et un enchantement permanents.

L'hiver savoyard est long. Non qu'il débute très tôt, malgré des bourrasques de froid et une fine grisaille de neige sur les sommets dès octobre, parfois septembre ; les premières alertes sérieuses, avec grosse pluie et neige, surviennent, en général, à la mi-novembre. Mais l'hiver risque de s'attarder jusqu'en avril et il peut escamoter le printemps. Presque toute la Savoie compte au moins 100 jours de gel et dans les plus hautes vallées, à 1 600-1 800 m, en Tarentaise et en Maurienne, aucun mois de l'année n'en est exempt.

L'hiver est marqué par le défilé des dépressions océaniques. Débouchant du golfe de Gascogne, revigorées à proximité de la Méditerranée, elles déversent d'abondantes pluies jusque haut sur les pentes ; plus septentrionales, sur une trajectoire passant par la mer du Nord, elles apportent la neige jusqu'en plaine ; à leur arrière, déboulent des coulées d'air continental glacé, gage du beau temps et du froid qui stabilise le manteau neigeux. L'hiver est ainsi une longue succession de jours gris, entrecoupée de lumineuses périodes ensoleillées ; alors la montagne resplendit dans sa livrée blanche, il y fait très doux au soleil au-dessus des mers de brume des grandes vallées et février offre ainsi souvent un répit apprécié dans la mauvaise saison.

Le **printemps** est tardif, court, capricieux, le plus souvent frileux, traversé de bouffées de chaleur comme de brusques retours du gel. La neige recule par saccades, surtout lorsque se déclenche localement le foehn, ce vent du sud qui injecte violemment un air chaud et desséchant. Un soleil plus chaud et surtout des averses tièdes activent la fonte des neiges, gonflent les torrents, préparent le réveil de la végétation : le vert nouveau se glisse d'abord au fond des vallées, puis remonte peu à peu les pentes, submergeant les prairies aux vieilles herbes roussies par la neige, éclatant dans les bourgeons des taillis. Les névés se rétractent au fond des combes et des cirques, libérant un à un les alpages.

L'été ne s'installe vraiment que dans le courant de juin et il faut bien compter quinze jours à trois semaines de retard par rapport à son arrivée dans la majeure partie de la France. Il s'ouvre par l'extraordinaire festival du fleurissement des alpages, jaillissement de la vie nouvelle s'exprimant dans l'or des trolles, le bleu des gentianes, la blancheur des narcisses, le rose vif des rhododendrons... Dans une atmosphère vite mouillée et fraîche, les Alpes de Savoie déploient sur leurs pentes toutes les nuances du vert : vert émeraude des forêts d'épicéas accentuant l'ombre des ubacs ou la rudesse des pentes escarpées, vert vif des feuillus au bas des versants, vert doux et damassé des prairies et des champs, vert pâle des alpages dont le mince feutrage est vite griffé par les ravines ou percé de rocs épais.

L'**automne**, enfin, est la saison somptueuse dont jouissent les montagnards après la ruée des touristes, celle vers qui va en secret leur préférence parce qu'elle semble réglée pour eux seuls après les travaux forcenés de l'été et avant les rigueurs hivernales. Des pluies d'origine méditerranéennes peuvent bien déborder jusqu'en Savoie, mais une dorsale de hautes pressions continentales s'établit souvent, prolongeant la belle saison jusqu'à la Toussaint, voire la mi-novembre : ciel pur n'excluant pas une douce brume estompant la découpe des crêtes sur l'horizon, températures clémentes, flamboiement de la végétation alliant l'or des mélèzes, le roux des hêtres, le vert profond des sapins et épicéas, les touches sanguines des merisiers... La Savoie connaît son « été » indien.

D'après J. Lovie, P. Dufournet, A. Boucharlat, V. Ratel, L. Terreaux et P. Preau, *Savoie, Encyclopédies régionales*, ed. Bonneton, Le Puy, 1992, pages 290 et 291.

### Doc 4

## Avalanche !

Les avalanches de neige sont terrifiantes à voir, et l'on ne doit jamais oublier qu'elles sont dévastatrices et font souvent de nombreuses victimes. La neige ne représente pas le seul danger : une avalanche peut engendrer de forts vents, allant jusqu'à 300 km/h, capables de balayer les gens et les constructions se trouvant sur leur passage. Un forestier suisse fut ainsi emporté et se retrouva 1 km plus loin, à 700 m en contrebas, miraculeusement indemne, sa chute ayant été amortie par la neige.

### Une cascade de neige

Chaque année, il se produit plusieurs dizaines de milliers d'avalanches dans les Alpes, la plupart ignorées de tous car elles ont lieu en haute montagne. Les rares avalanches qui atteignent les régions habitées posent de graves problèmes et des recherches intensives portent sur la manière de les prévoir et de les contrôler.

En Suisse, de nombreuses avalanches démarrent à haute altitude (entre 2 000 et 2 500 m). Là, la neige est généralement épaisse et la déclivité forte. La neige s'accumule facilement sur les versants à l'abri du soleil, les dépressions du sol et les ravins. Toute pente peut recevoir une certaine quantité de neige sans que celle-ci se mette à glisser. Cette quantité dépend des conditions de surface. Les plus fortes avalanches se forment sur des pentes comprises entre 30 et 40°. Sur les pentes plus raides, la neige ne s'accumule pas en assez grande quantité, et sur les pentes plus faibles, elle ne se met pas en mouvement avec autant de force. Les pentes recouvertes de longues herbes sont très glissantes et la neige peut dévaler facilement, alors que des buissons ou des arbres la retiendraient.

Plusieurs facteurs peuvent déclencher l'avalanche. L'épaisseur de la neige peut augmenter lors d'une nouvelle chute ou d'une tempête qui déplace la neige déjà en place, jusqu'à ce que son accumulation dépasse ce que la pente est capable de retenir. L'eau de fonte ou de pluie peut agir comme lubrifiant entre la couche de neige et le sol. Le foehn, vent chaud qui souffle parfois sur les pentes nord des Alpes, peut réchauffer très brusquement l'atmosphère et faire fondre la neige, mettant en danger, de façon difficilement prévisible, de vastes zones habitées. Quand les conditions sont réunies, le simple passage d'un skieur ou le bruit d'une branche qui casse sous le poids de la neige peuvent suffire à tout déclencher.

Les autorités utilisent souvent des explosifs pour provoquer les avalanches de manière contrôlée et ainsi parer au danger d'une avalanche imprévue.

Une avalanche importante peut avoir un front d'un kilomètre de large dévalant à très grande vitesse sur plusieurs kilomètres. Les avalanches de neige lourde et humide se déplacent moins vite que les avalanches de neige poudreuse, mais elles sont généralement plus dangereuses, couchant des arbres ou même taillant des saignées au travers des forêts. Les avalanches font souvent des victimes et des dégâts importants. Rien que pour les Alpes, plusieurs catastrophes ont fait de 50 à 100 morts. La plus terrible d'entre elles eut lieu durant la Première Guerre mondiale, sur le front italo-autrichien : en une seule journée, près de 10 000 soldats furent tués par une série d'avalanches.

### Parer le souffle

Des obstacles matériels peuvent être utilisés, tant pour éviter le déclenchement des avalanches que pour contrôler leur progression. Des forêts denses, judicieusement plantées, font preuve d'une réelle efficacité. Cependant les forêts ont été fortement éclaircies par l'exploitation du bois et l'aménagement de domaines skiables. Des moyens artificiels comme des barrières doivent aujourd'hui être utilisés dans les zones à risque. Les pylônes électriques et les bâtiments peuvent également être protégés par des structures triangulaires qui dévient le cours de l'avalanche de part et d'autre. Certaines portions de routes ou de voies ferrées peuvent également être recouvertes.

En Suisse, les différentes régions sont répertoriées en fonction des risques qu'elles présentent. Ces informations sont prises en compte dès lors que l'on construit de nouveaux bâtiments. Les bulletins météorologiques de la radio préviennent des risques d'avalanche. Les employés des chemins de fer suisses inspectent quotidiennement les zones à risque afin que le trafic ne soit pas interrompu.

D'après sous la direction de K.J. GREGORY, *Le Globe terrestre*, éd. Time-Life, Amsterdam, 1991, pages 150 et 151.

## Thème : l'hydrologie

### Doc 1

### Les lacs

*Les lacs de Savoie sont un ornement de prix ; aucune autre province n'en est aussi richement dotée en France.*

Le *Léman* baigne le Chablais et ses dimensions en font un très vaste plan d'eau, long de 72 km, large de 14, couvrant 582 km<sup>2</sup> : en longueur, à vol d'oiseau, sa dimension est comparable à la Gironde ou bien aux distances de Nantes à La Baïlle ou de Rouen au Havre ! Sa cuvette est composite. Tout à l'amont, il s'engonce entre montagnes du Chablais et Alpes vaudoises, et le Rhône a colmaté toute sa terminaison sur 20 km de Saint-Maurice au delta actuel. Au centre, c'est un énorme bassin surcreusé dans les collines du plateau suisse, sans doute déblayé par le glacier quaternaire du Rhône, mais non sans de probables réajustements de détail par mouvements du sol. A l'aval, le Léman devient lac de Genève, collé au bord interne du Jura et contenu par le chaînon du Salève, intermédiaire entre Jura et Préalpes.

La masse d'eau du Léman — on mesure plus de 300 m de profondeur au large d'Evian — influe sur le climat de toute la région. Elle la rafraîchit l'été, lorsque les eaux du Rhône, issues des glaciers, tardent à se mélanger et restent en surface. En hiver, l'inertie thermique en fait une réserve de tiédeur qui adoucit les températures et tempère l'atmosphère des rivages : le lac ne gèle jamais. C'est aussi une réserve colossale : les hautes eaux du Rhône élèvent le niveau de lac en été d'environ un mètre... Ce qui représente la rétention de près de 600 millions de mètres cubes d'eau, autant qu'en contient le lac d'Annecy !

Les lacs purement savoyards n'ont pas cette taille.

*Le lac du Bourget* s'allonge sur 18 km, large au plus de 3, entre deux voûtes jurassiennes qui lui dessinent un horizon rigoureux et sévère : la montagne du Chat est nappée de forêts, la Cham-botte est plus claire avec son bandeau de falaises. Le val qu'occupe le lac est fortement surcreusé et l'on atteint ainsi 145 m de profondeur. Sur 44 km<sup>2</sup> de superficie, le plan d'eau joue un rôle de régulateur naturel de crues pour le Rhône qui y déverse ses hautes eaux, alors que le lac soutient les maigres eaux du fleuve : le canal de Savière qui lie le Rhône au lac est un curieux exutoire naturel fonctionnant alternativement dans les deux sens au travers des marais de Chautagne.

Le lac du Bourget a été immortalisé par le poème de Lamartine. *Le lac d'Annecy* n'a besoin d'aucun chantre pour reconnaître sa grâce souriante et son somptueux écrin de montagnes. Plus petit (28 km<sup>2</sup>), plus court (14 km), moins profond (65 m), il est formé de la réunion de deux plans d'eau de part et d'autre du détroit — ou de la cluse — entre Duingt et le Roc de Chère : le grand lac au nord, qui masque le raccord entre les Bauges et le massif des Bornes, le petit lac au sud, qui envoie une vallée préalpine. Le lac est retenu par un arc morainique que contourne le Fier.

Plus jurassien qu'alpin, ne négligeons pas le petit mais charmant *lac d'Aiguebelette* : discret miroir en triangle, de 2 km sur 3, niché dans une anse de la chaîne de l'Épine, tout verdoyant des forêts denses qui l'encadrent.

Ces quatre lacs ne sont que les vedettes. La montagne en recèle des dizaines d'autres, et même les grandes vallées (lac Saint-André, près de Chambéry). Les uns sont minuscules, d'autres déjà appréciables (de Montriond, de Vallon, de Tignes, petits lacs des Aiguilles-Rouges) ; les uns parent un agreste décor de plaine, les autres baignent dans une atmosphère quasi arctique à plus de 2 000 m. Et les hommes en ont rajouté. La construction des grands barrages-réservoirs a constitué de vastes plans d'eau et, pour les alimenter, les ingénieurs ont foré la montagne par des kilomètres de tunnels pour capter les eaux d'autres bassins-versants. La Bissorte, en Maurienne, a été un coup d'essai en 1936 avec ses 40 millions de mètres cubes de retenue. Sont venus ensuite : la retenue du Chevril — 235 millions de mètres cubes derrière le barrage de Tignes haut de 180 m —, celle de Roselend —

190 millions de mètres cubes derrière un barrage haut de 150 m —, celle du Mont-Cenis — 330 millions de mètres cubes que contient une digue haut de 95 m. Ces trois grands lacs artificiels font entre 2 et 4 km<sup>2</sup> et ont métamorphosé le paysage des hautes vallées.

D'après Lovie J., Dufournet P., Boucharlat A., Ratel V., Terreaux L. et Preau P., *Savoie, Encyclopédies Régionales*, Editions Bonneton, Le Puy, 1992, pages 299 et 300.

---

### Doc 2

## Les régimes hydrologiques originels

Tous les régimes alpins sont engendrés par la neige, par la pluie, parfois par la glace et ils subissent les effets de l'évaporation et des aménagements. Il n'y a donc pas lieu de retenir la distinction entre régimes simples et régimes complexes originels, puisque tous entrent dans la seconde catégorie. Les adjectifs nival et glaciaire qui qualifient traditionnellement certains régimes dits « purs » insistent seulement sur le mode d'alimentation supposé dominant car il paraît imprimer sa marque aux variations saisonnières du débit. Cette terminologie a certes l'avantage de la simplicité, mais elle prête à confusion. Le régime glaciaire pur par exemple est en fait glacio-nivo-pluvial, l'ordre des adjectifs correspondant à l'influence décroissante présumée de ces trois facteurs dans son allure. Le type nivo-glacio-pluvial est le type « nival pur » et la nuance nivo-pluvio-glaciaire la catégorie « nivale de transition » du schéma classique. Dans l'état actuel des recherches, il est difficile de préciser les groupes car on ignore en général le rôle respectif et exact de chacun des facteurs dans l'alimentation des rivières. Dans la catégorie glacio-nivo-pluviale, la fonte de la glace participe peut-être proportionnellement moins que celle de la neige à l'alimentation des torrents; certaines années, marquées par un été pluvieux, la pluviométrie l'emporte probablement sur les facteurs nival et glaciaire, même dans les bassins où les glaciers couvrent plus de 20 % de l'aire réceptrice. Enfin et surtout dans les Alpes, une classification complète devrait faire apparaître l'intensité des perturbations produites par les aménagements en tenant compte par exemple du volume des retenues artificielles par rapport au volume annuel total de l'écoulement.

*Les types glacio-nivo-pluviaux* caractérisent les bassins ayant au moins 15 à 20 % de glaciers et dépassant 3 500 ou 4 000 m suivant la situation des massifs. L'Arve à Chamonix, la Haute-Doire, les Visp, le Haut-Rhône, la Massa. etc. sont les représentants les plus connus de ces types où les variations saisonnières reflètent assez bien l'écoulement réel quotidien : montée brusque de l'écoulement en juin; hautes eaux et crues en juillet et août; écoulement soutenu de septembre, seul mois où domine vraiment, dans l'alimentation, la fusion de la glace et des névés, celle de la neige se produisant en juin, juillet et août. Mais la pluie intervient aussi dans ces maximums car c'est seulement en été qu'une partie des précipitations tombe sous la forme liquide.

Étiages et basses eaux se produisent régulièrement à la fin de l'hiver (février ou mars) avant le début de la fonte qui recharge les nappes arrivées à épuisement.

*Le type nivo-glacio-pluvial* est celui de toutes les grandes rivières alpestres : Romanche, Arc, Isère, Arve inférieure, Aar, Inn. etc. Les bassins étant moins hauts en moyenne. Fonte de fusion est plus précoce et les rivières culminent en juin. L'écoulement de l'été reste abondant, même en septembre.

Les basses eaux et les étiages se placent en février, la fusion commençant à soutenir les débits en mars. Maximums et minimums sont moins prononcés que dans le type précédent

Les rivières nivo-glacio-pluviales ont des glaciers dans leur bassin mais le taux d'englacement tombe au-dessous de 15 % de sorte que la fusion de la glace n'intervient que pour une part minime dans leur alimentation. sauf en années sèches. C'est la fusion nivale qui a le rôle prépondérant.

La catégorie plurio-nivale présente deux maximums et deux minimums très nets dans les moyennes. La poussée principale est liée à la fusion printanière de la neige fortement grossie par les pluies du printemps. Elle culmine en mai. Un second maximum se dessine à l'automne, correspondant aux pluies de cette saison. avant qu'intervienne la rétention nivale.

Cette dernière est moins efficace car les bassins comportent de grandes portions en zone basse où la neige peut ne pas tomber ou fondre à tout moment dans l'hiver. La saison froide n'est donc plus une période de pénurie et ses débits sont souvent supérieurs à ceux de l'été. Les crues peuvent se produire en toutes saisons. Les rivières pluvio-nivales viennent des moyennes montagnes alpestres, c'est-à-dire des massifs préalpins les plus extérieurs. Dans tous ces types principaux, il est possible de distinguer quantités de sous-types et les tentatives de micro-classifications sont utiles pour les études détaillées dans lesquelles on s'efforce de rechercher les parts respectives de la glace, de la neige, de la pluie, etc. dans l'écoulement, avec d'ailleurs plus ou moins de succès.

D'après Loup J, *Les eaux terrestres*, Masson, Initiation aux études de Géographie, Paris, 1974, pages 127 et 128.

### Doc 3

## Quelques types de régimes hydrologiques dans les Alpes et le Jura

Rivières	Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Régime
		Débit en m <sup>3</sup> /sec.												
MASSA	Blatten	0,31	0,25	0,34	1,24	7,1	27	45	44	26	6,94	1,36	0,55	glacio-nivo-pluvial
ISERE	Grenoble	120	126	141	190	267	301	241	177	144	136	127	128	nivo-pluvial
ROMANCHE	Champeau	10,1	9,3	14,4	31,6	63	85	70,5	52	35,4	19,4	19	14,2	nivo-glacio-pluvial
DRAC	Sautet	16,9	18,4	35	43,8	61,4	59,5	30,9	19,5	26,1	26,1	33,5	19,9	pluvio-nival
AIN	Pont-de Châtillon	38,5	37,9	44,5	35,3	25,5	19,2	13,2	20,1	22,3	18,7	30,5	43,6	pluvio-nivo-évaporal

Source : D'après LOUP J, *Les eaux terrestres*, éd. Masson, Initiation aux études de Géographie, Paris, 1974, page 137.

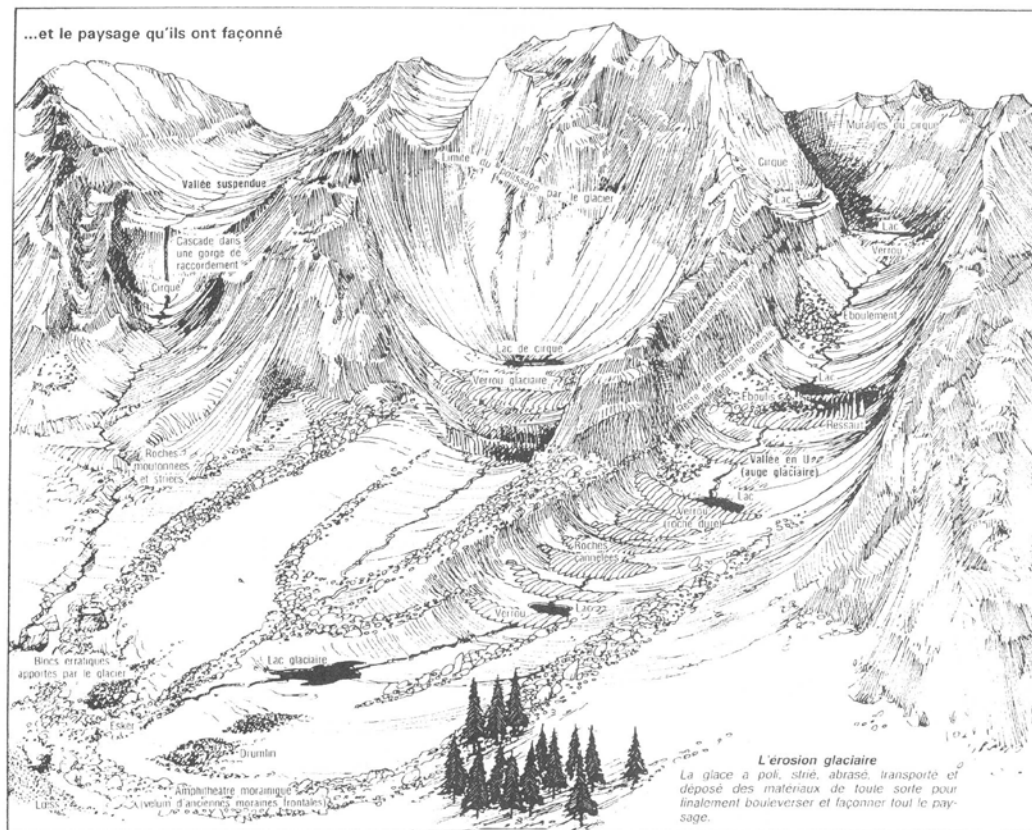
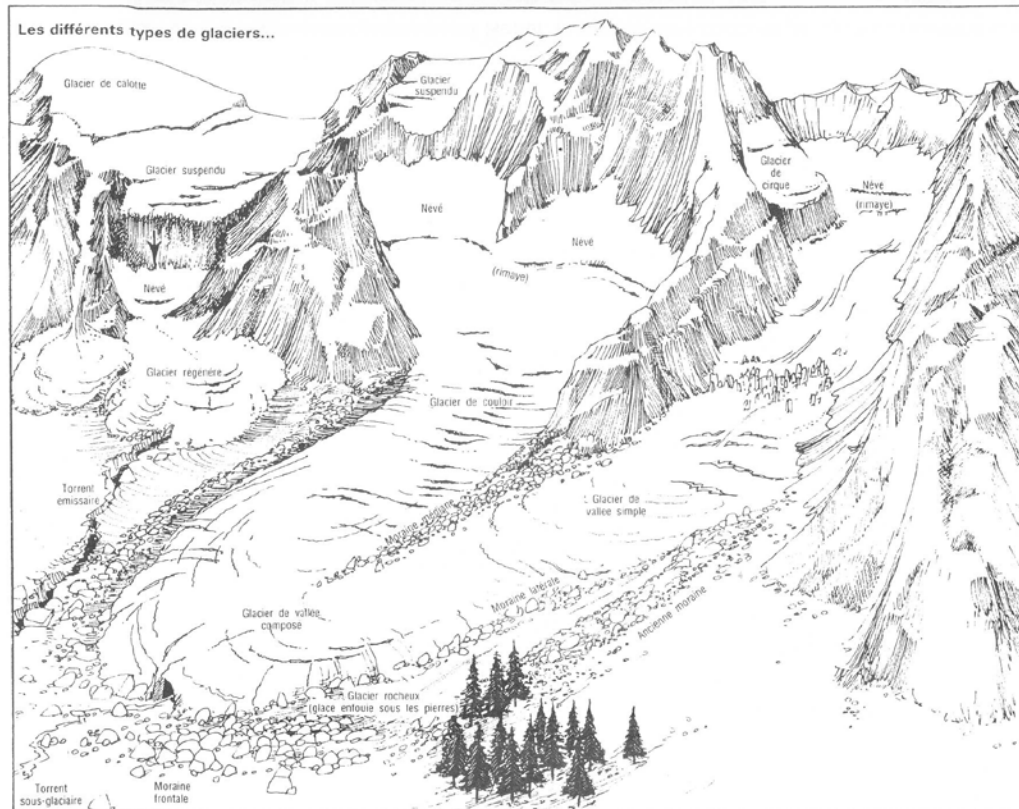
*Par comparaison : la Meuse à Amay (moyenne établie entre 1996 à 2007) en m<sup>3</sup>/sec.*

Rivière	Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MEUSE	Amay	394,9	398,2	356	226,6	157,3	98,4	90,6	82	73,6	98,5	213,9	328

D'après <http://voies-hydrauliques.wallonie.be/> (site de la Direction générale des Voies hydrauliques), novembre 2008

Doc 4

# Les différents types de glaciers et le paysage qu'ils ont façonné



D'après B. Fischesser, *La vie de la montagne*, éd. Chêne/Hachette, Milan, 1989, pages 56 et 57.



## Thème : l'homme et la nature

### Doc 1

### Vivre en montagne

*Le climat contrasté, la raréfaction de l'oxygène et le danger des ultraviolets créent des conditions de vie difficiles*

Les montagnards de naissance s'accommodent très bien de conditions climatiques rigoureuses. En revanche, les habitants des plaines, lorsqu'ils s'aventurent sur les pentes, souffrent parfois du mal des hauteurs et, même s'ils s'habituent à ce milieu, n'acquièrent jamais les facultés d'adaptation des autochtones.

#### *Les peuples montagnards*

Chacun réagit d'une manière différente aux effets de la grande altitude. Ainsi, les sujets habitués, depuis leur naissance, aux altitudes élevées ont une capacité d'absorption de l'oxygène bien supérieure à celle des habitants des plaines. Toutefois, ils ne la conservent pas lorsqu'ils descendent à basse altitude. Les montagnards d'autre part sont souvent décrits comme brévilignes, avec un thorax en tonneau. De fait, certaines populations des Andes présentent un volume thoracique et pulmonaire inhabituel qui leur permet d'extraire davantage d'oxygène de l'air. Cette caractéristique ne s'étend pourtant pas à la totalité de ce type de populations puisque les sherpas népalais, par exemple, en sont dénués (ce qui ne les empêche pas de parvenir à puiser beaucoup d'oxygène).

#### *Le mal des hauteurs*

Quiconque monte rapidement à 3 000 m ou plus, que ce soit pour skier dans les Rocheuses, randonner dans les montagnes népalaises, ou pour un voyage d'affaires.

*La Paz, en Bolivie, doit être très prudent à l'arrivée. Et en particulier s'il a fourni un effort physique intense et excessif car il risque de ressentir les effets de la baisse du taux d'oxygène sanguin – appelé hypoxie – ainsi que des symptômes tels que l'augmentation de la fréquence cardiaque, le souffle court, les maux de tête, voire même, l'évanouissement.*

Le mal d'altitude aigu (MAA), plus grave encore, peut se développer en quelques jours seulement. Il est caractérisé par les symptômes suivants : perte d'appétit, maux de tête, fatigue, nausées, vomissements, vertiges et troubles du sommeil. Sans traitement, le MAA peut mettre la vie d'un sujet en danger, par accumulation liquidienne excessive, soit dans les poumons (oedème pulmonaire), entraînant un essoufflement, soit dans le cerveau (oedème cérébral), d'où la confusion mentale, la somnolence et, dans le pire des cas, le coma. La prévalence du MAA passe d'environ 10 % à 3 000 m à plus de 50 % à 4 000 m. À cette altitude, 1 à 2 % des sujets peuvent présenter des complications plus graves.

À 5 000 m, la pression de l'air est 2 fois moindre qu'au niveau de la mer, aussi la quantité d'oxygène disponible diminue-t-elle dans la même proportion. En outre, à cette altitude le sang transporte l'oxygène avec moins d'efficacité. La combinaison de ces phénomènes fait qu'on respire plus vite, ce qui augmente la quantité d'oxygène sanguin, mais réduit le taux de gaz carbonique, le tout pouvant engendrer un MAA. Il vaut donc mieux se ménager lorsqu'on séjourne pour la première fois en altitude, afin de s'acclimater. Il est également nécessaire de boire beaucoup d'eau et d'éviter la prise d'alcool, la déshydratation qu'implique la sécheresse de l'air risquant d'aggraver les symptômes de l'hypoxie. Si ces derniers persistent, il faut descendre à plus basse altitude et, si possible, dormir à moins de 2 500 m, d'où le dicton des alpinistes : « grimper haut et dormir bas ».

#### *Peut-on s'acclimater ?*

Un adulte qui monte à grande altitude et y vit longtemps n'acquiert jamais l'aptitude à puiser dans l'air de grandes quantités d'oxygène, contrairement aux enfants qui y vivent dès leur plus jeune âge.

Quant à la présomption selon laquelle on s'acclimate totalement à l'altitude au bout de quelques jours, elle est sans fondement, La réaction en effet, peut être bonne au début mais ensuite, on

entre dans une phase d'adaptation car on règle plus efficacement sa respiration. Puis, on note une légère amélioration mais les tests montrent que la capacité des sujets à travailler reste bien inférieure ; elle ne s'améliore d'ailleurs pas avec le temps. Toutefois, elle retourne immédiatement à la normale dès qu'on redescend à basse altitude.

### **Nocivité des rayons ultraviolets**

La montagne bénéficie souvent d'un ensoleillement très supérieur à celui des plaines alentour, ce qui a de sérieuses implications sur les personnes s'adonnant à des activités telles que le ski.

La lumière solaire comporte deux types de rayons ultraviolets, les UVA et les UVB. Les premiers, constituant 98 % du rayonnement, sont assez peu nocifs pour la peau (même si de nombreuses crèmes solaires existent pour s'en protéger). Par contre, les seconds, représentant les 2 % restants, sont très dangereux : la peau est de 100 à 1000 fois plus sensible aux UVB qu'aux UVA. Ils peuvent provoquer des inflammations et affecter le matériau génétique (ADN). Par ailleurs, ils ne sont que partiellement absorbés par l'ozone stratosphérique, raison pour laquelle il importe de s'en protéger avec une crème solaire spécifique chaque fois que l'on s'expose au soleil. Cette nécessité est moindre à basse altitude, car les infimes quantités d'ozone présentes dans la basse atmosphère, ainsi que la poussière et les aérosols, parviennent encore à absorber les UVB nocifs qui traversent la couche d'ozone.

### **Se protéger du soleil**

En règle générale, la «dose» d'UVB reçue en gravissant une montagne augmente d'environ 4 % - en termes de brûlures potentielles - tous les 300 m. À 3 000 m, elle est de 50 % supérieure à celle reçue au niveau de la mer. De plus, la haute réflectivité de la neige fait que, à cette altitude, on reçoit 2 à 3 fois la dose à laquelle on s'expose en s'asseyant sur une plage.

Les familles qui, depuis très longtemps, vivent à haute altitude, tendent à présenter des types de peau qui bronzent facilement et leur ménagent une certaine protection contre les effets nocifs des rayons ultraviolets. Toutefois, si on passe des vacances en montagne, mieux vaut utiliser la crème solaire, porter un chapeau et des vêtements protecteurs, notamment si on a la peau claire, celle-ci étant plus sensible aux coups de soleil. Enfin, la sécheresse de l'air et les vents forts font de la protection cutanée une priorité.

D'après BURROUGHS W.-J., *L'encyclopédie du climat*, éditions Delachaut et Niestlé, Lausanne, 2000, pages 88 et 89.

---

## Doc 2

## Les effets de l'altitude sur l'homme

Le père Acosta, prêtre jésuite qui voyagea dans les Andes péruviennes à la suite des conquistadores, au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, décrit ce qu'il ressentit lors de sa traversée du col de Pariacaca, à 4 550 m d'altitude. Il attribuait ses maux de tête à « l'air ténu » qui est « délicat et qui ne pourvoit pas à la respiration de l'homme ».

Le père Acosta était très en avance sur son temps, car il fallut attendre encore 350 ans pour identifier la cause de son malaise. La première étape scientifique fut franchie en 1640, lorsque Torricelli, l'inventeur du baromètre, démontra que la pression barométrique décroissait avec l'altitude. Un siècle plus tard, plusieurs savants découvrirent — séparément — que l'oxygène était l'élément qui, dans l'air, autorisait la vie. Et vers 1870 Paul Bert, qui fit plusieurs découvertes relatives à la physiologie en haute altitude, se servit d'une chambre de décompression pour établir que le manque d'oxygène, ou hypoxie, était à l'origine du mal des montagnes.

Ces travaux permettaient d'expliquer le « mal de mer » du père Acosta et les malaises de nombreux touristes et athlètes modernes voyageant en altitude, mais n'apportaient pas de réponse à une observation paradoxale: l'absence de ces symptômes chez les populations vivant en haute altitude (Andes centrales, Himalaya et plateau du Tibet, hauts plateaux d'Éthiopie, Rocheuses). Cette absence chez les populations indigènes était d'autant plus frappante que l'hypoxie d'altitude diffère

des autres contraintes, liées au milieu, comme le froid et la chaleur, en ce que l'homme ne lui a trouvé aucune parade.

Les recherches menées sur l'hypoxie de haute altitude ont fait apparaître que les populations indigènes vivant en altitude n'étaient pas à l'abri du stress hypoxique. Par exemple, la saturation de leur sang en oxygène est bien inférieure à celle des populations vivant au niveau de la mer. L'oxygène représente environ 21 % du mélange gazeux composant l'atmosphère, quelle que soit l'altitude. Mais, en haute altitude, la pression partielle de l'oxygène – c'est-à-dire la pression exercée par l'oxygène seul dans le mélange gazeux – dans l'air inhalé décroît proportionnellement avec la pression barométrique. Il en résulte que chaque inspiration apporte une quantité moindre de molécules d'oxygène dans les poumons. L'oxygénation de l'hémoglobine, la molécule sanguine qui assure le transport de l'oxygène dans le corps, permet d'en mesurer l'une des conséquences biologiques. Au niveau de la mer, 96 à 98 % de l'hémoglobine artérielle est saturée en oxygène, mais cette valeur diminue en haute altitude. Par exemple, à 3 600 m, où la pression barométrique et la pression partielle de l'oxygène inhalé sont inférieures de 35 % à leurs valeurs du niveau de la mer, la saturation en oxygène chute à 92 % chez les Aymara de Bolivie. Et elle chute encore plus à 5 000 m, altitude à laquelle les deux pressions sont inférieures de 45 %, pour atteindre à peine 84 % chez les Tibétains.

En dépit de ce stress hypoxique permanent, les populations d'altitude vivent sans éprouver de symptômes désagréables ou débilissants et sont même réputées pour leur aptitude à l'effort physique en altitude. C'est donc que, chez elles, le transport de l'oxygène de l'air ambiant jusqu'aux structures tissulaires s'effectue dans de meilleures conditions qu'au niveau de la mer. Deux facteurs intervenant dans le transport de l'oxygène – les poumons et le sang – ont fait l'objet d'études poussées.

En ce qui concerne la fonction pulmonaire, la recherche a montré que les populations d'altitude compensaient en partie grâce à leur capacité pulmonaire accrue et à une plus grande efficacité dans le transport de l'oxygène des poumons jusqu'au sang. Ces deux adaptations se combinent pour corriger la pression partielle basse de l'oxygène inhalé en altitude et aident à comprendre pourquoi les natifs des hautes terres s'accommodent mieux des efforts physiques en altitude que les habitants des basses terres, même si ceux-ci ont vécu plusieurs années en haute altitude.

Les études ont également mis en évidence une forme d'adaptation du sang. La concentration moyenne en hémoglobine croît proportionnellement avec l'altitude ; ce qui renforce la capacité du sang à transporter l'oxygène. La forte concentration en hémoglobine compense alors la saturation moindre en oxygène et ramène l'oxygène contenu dans le sang artériel à la même valeur qu'au niveau de la mer.

Pendant des décennies, les chercheurs ont cru que l'arsenal d'adaptations biologiques développées par l'homme pour répondre à l'hypoxie d'altitude était le même partout. Des études récentes menées au Tibet et dans l'Himalaya infirment cette thèse. À même altitude, les concentrations en hémoglobine sont généralement plus basses chez les populations himalayennes que chez leurs homologues andines, même si un accroissement de la concentration en hémoglobine est enregistré dans les deux cas.

L'accumulation des données comparatives sur cet aspect du transport de l'oxygène et de la distribution du flux sanguin rendra bientôt possible d'envisager sérieusement l'hypothèse de deux modes distincts d'adaptation à l'hypoxie en haute altitude.

## LES SYMPTÔMES DE L'HYPOXIE

La prédisposition au mal des montagnes est variable chez l'homme, de même que son aptitude à s'adapter à l'altitude. Les premiers symptômes se font sentir habituellement vers 3 000 m, et la limite supérieure de l'adaptabilité à long terme se situe à 5 500 m. Le remède le plus simple et le plus efficace au mal des montagnes consiste à redescendre au plus vite.

NIVEAU DE LA MER

ALTITUDE



En altitude, le niveau d'oxygène du sang est réduit et le flux sanguin vers le cerveau intensifié; d'où un accroissement de la pression artérielle qui peut causer des maux de tête et des troubles du comportement.

NIVEAU DE LA MER

4 600-5 200 m



Il peut y avoir de petites hémorragies, surtout dans la rétine, la taille des capillaires augmentant avec l'altitude.



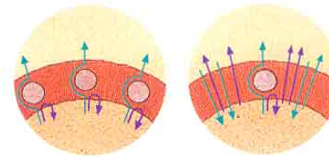
Du liquide s'accumule dans les membranes des alvéoles pulmonaires, puis envahit les alvéoles, bloquant le transfert de l'oxygène et causant, à terme, un engorgement.

NIVEAU DE LA MER

ALTITUDE

sodium

potassium



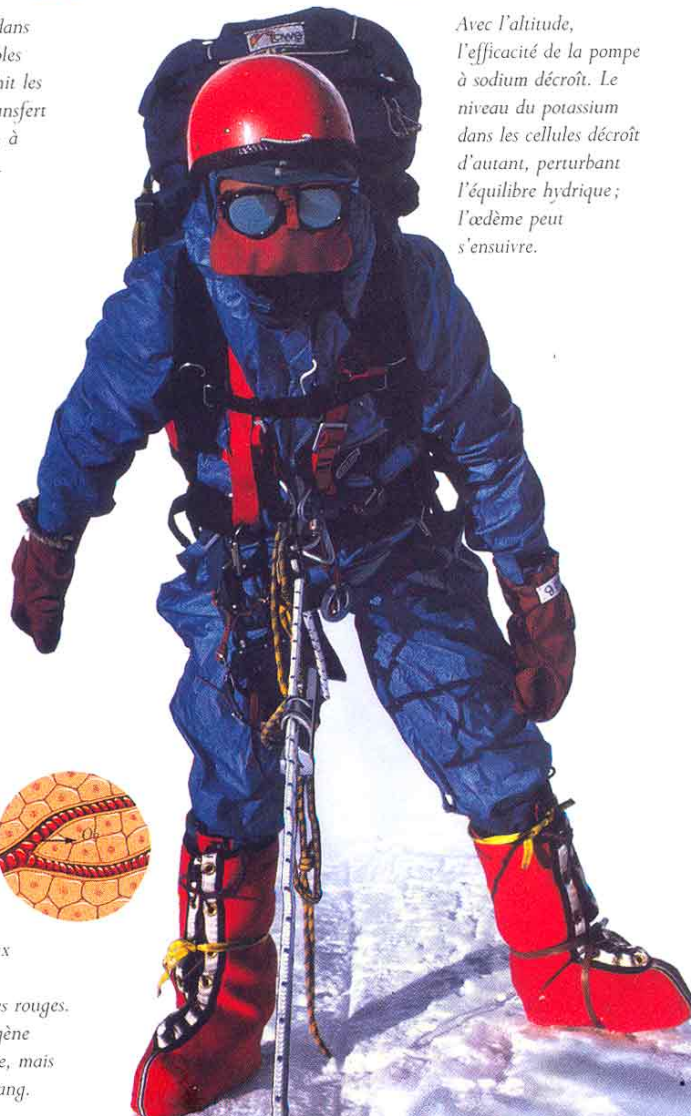
Avec l'altitude, l'efficacité de la pompe à sodium décroît. Le niveau de potassium dans les cellules décroît d'autant, perturbant l'équilibre hydrique; l'œdème peut s'ensuivre.



Les reins subissent un stress car l'abaissement du taux de gaz carbonique dans le sang en réduit l'acidité et contraint les reins à accroître leur activité pour éliminer les bicarbonates.



La diminution du taux d'oxygène stimule la production de globules rouges. La saturation en oxygène s'élève en conséquence, mais aussi la viscosité du sang.



Jonathan Chester/Extreme Images

D'après Sous la direction de Jack D. IVES, *Les montagnes*, encyclopédie de la Terre, éditions Time-Life, USA, 1994, pages 62 et 63.

Doc 3

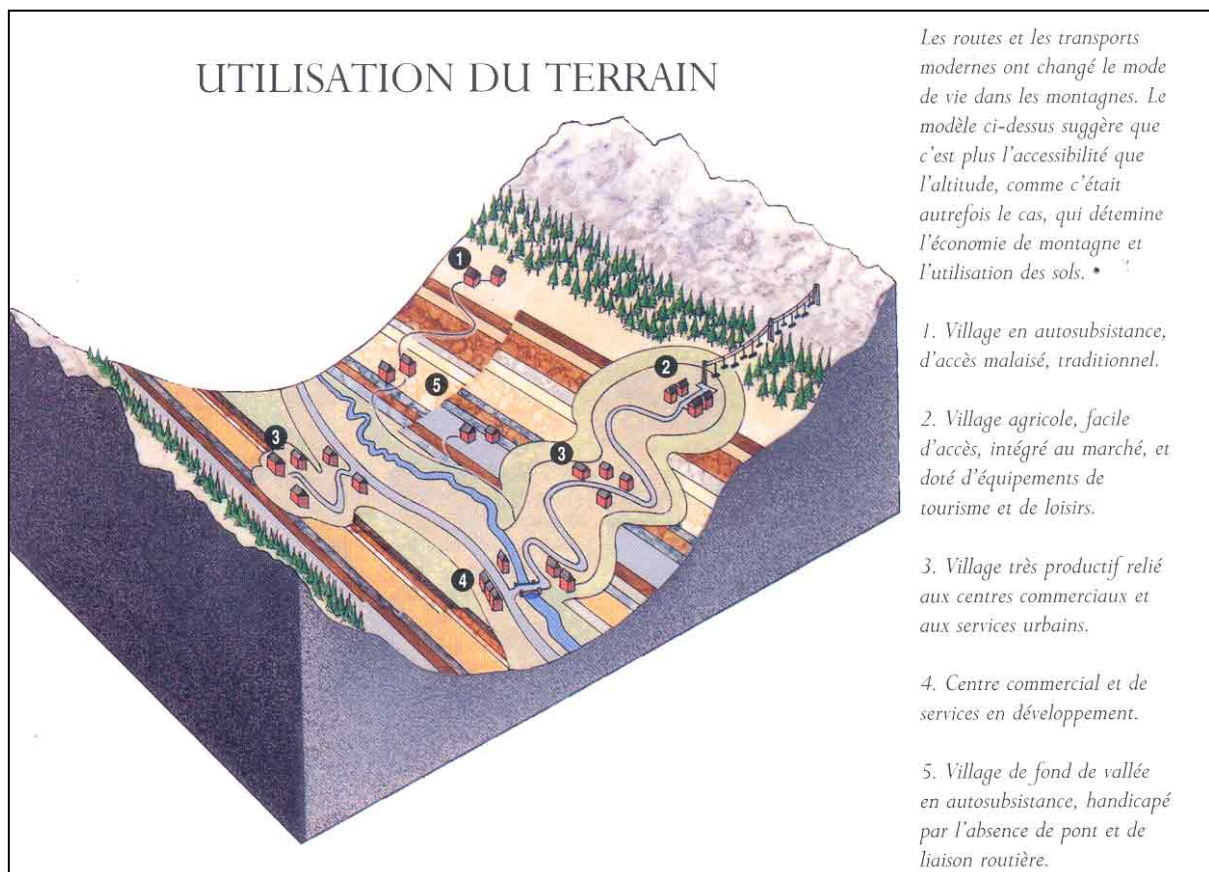
## Ski Alpin : les risques du suréquipement

Pendant longtemps, le tourisme de montagne — sous diverses formes — a été perçu comme la réponse aux problèmes de développement de ces régions. Parce qu'il attirait des foules de citadins dans les montagnes, le tourisme était considéré comme une source de richesse locale. En outre, les pouvoirs publics espéraient qu'il inciterait les populations locales à rester sur place plutôt que de venir grossir les villes. En Europe, c'est dans les années 1950-1960 que cette vue des choses a dominé.

En un sens, ce concept était correct. Les petits-enfants des fermiers tyroliens qui arrivaient à peine à se nourrir sont aujourd'hui propriétaires d'hôtels et roulent en voiture de sport. Pourtant de sérieux problèmes ont accompagné ce développement.

Sur le plan matériel, l'infrastructure — des routes aux hôtels en passant par les pare-avalanches, les pistes de ski et les remontes-pentes — s'est imposée visuellement à un point quasi oppressant dans ces vallées alpines qui étaient, voici 50 ans, des merveilles de la nature et de la vie rurale.

L'augmentation spectaculaire du nombre de visiteurs a jeté des millions de voitures sur les routes, provoquant de graves problèmes de pollution dans les vallées soumises à de fréquentes inversions de température. Et, comme les gens ont besoin d'eau et qu'ils produisent des déchets, les systèmes de traitement des eaux ont été surchargés et les eaux polluées en aval. Le coût humain n'est pas, non plus, négligeable.



Les sociétés locales sont déséquilibrées du fait que certains se sont enrichis alors que d'autres fournissent la main-d'œuvre pavée à l'heure. Dans les Alpes, la valeur de l'immobilier a tellement augmenté que les employés saisonniers n'ont plus les moyens de vivre à proximité de leur lieu de travail.

Bien que le tourisme représente encore un énorme potentiel pour le développement des montagnes, son exploitation demeure très imparfaite. On s'en est d'abord aperçu au niveau strictement scientifique au début des années 1970, au moment du lancement du MAB (« Man and the Biosphere »), programme du bureau autrichien de l'Unesco, dans le cadre duquel Obergurgl, à l'origine un petit village tyrolien perché sur les hauteurs de l'Oetzthal, fut choisi comme point

d'application d'une étude approfondie assistée par ordinateur. La population locale, hôteliers et cultivateurs, participa à des simulations visant à évaluer les effets à long terme de la dynamique de croissance et les moyens de la contrôler. Ce programme enregistra quelques succès : délimitation de différentes zones, sauvegarde de ce qui restait de l'activité agricole, et par conséquent de la beauté du site, et contrôle du taux de construction des hôtels.

Le chercheur responsable du MAB, Walter Moser, posa aussi un certain nombre de questions concernant les relations entre l'équipe de chercheurs et la communauté locale : Est-il moralement justifiable de forcer les gens à fonctionner selon une autre mentalité que la leur? Est-il moralement justifiable de ne pas le faire quand l'imminence du désastre crève les yeux?

L'étude menée à Obergurgl déboucha sur un programme MAB suisse, beaucoup plus complexe, couvrant quatre zones test des Alpes suisses (Davos, Grindelwald, Aletsch et le canton du Pays-d'En-haut), et de nouvelles activités à mesure qu'apparaissaient les problèmes de suréquipement et les incertitudes relatives au « développement durable ». L'une de ses conséquences fut la décision du prince Sadruddin Aga Khan de renoncer à toute implication dans l'industrie du ski. Le mouvement qu'il a aidé à mettre sur pied, AlpAction, s'est donné pour but d'informer et de protéger la montagne de tout suréquipement.

D'après Sous la direction de Jack D. IVES, *Les montagnes, encyclopédie de la Terre*, éditions Time-Life, USA, 1994, pages 154 et 155.

---

### Doc 4

## Le tourisme, une menace

Des millions d'entre nous vont skier, escalader et randonner chaque année en montagne. Pour combien de temps encore ?

Dans les régions montagneuses, les activités de loisirs sont en plein essor, mais la fragilité des écosystèmes alpins et la lenteur de leur régénération sont telles que le rapide développement du tourisme risque d'entraîner des dégâts irrémediables.

### Nature de la menace

Partout dans le monde, se développe un tourisme de montagne qui soumet l'environnement local à d'importantes pressions. Les problèmes sont divers, depuis les bouteilles d'oxygène et les débris laissés par les alpinistes sur l'Everest, à l'essartage excessif, au Népal, destiné, à fournir aux randonneurs le bois nécessaire à leur cuisine, en passant par la prolifération des stations de skis dans les Rocheuses et surtout les Alpes (dont le taux de fréquentation touristique, exemplaire, a quintuplé en 20 ans).

La pratique du ski grandissante met l'accent sur une volonté d'exploiter une activité populaire sans épuiser les ressources naturelles. La création de nouvelles stations, ou l'extension de celles qui existent, contraignent souvent à redessiner les pistes en empiétant sur la zone alpine où prospère une flore spécifique, à abattre des arbres pour doter de pistes les stations situées à basse altitude, à construire des routes pour répondre au trafic croissant, ainsi qu'à équiper les versants d'un réseau de remontée-pentes (40 000, aujourd'hui, dans les Alpes, transportent 1,5 millions de personnes par heure ; et leur nombre continue d'augmenter). À cela, il faut ajouter 5 000 canons à neige, dont le nombre ne fera que s'élever pour pallier les effets du réchauffement général rendant l'enneigement plus incertain (voir encadré, à droite). Ce type d'équipement étouffe les prairies situées en contrebas sous un manteau de neige durable qui retarde la croissance de l'herbe et empêche la floraison printanière.

Ces pressions hivernales sont aggravées par le désir d'optimiser le rendement des biens immobiliers en développant également les activités estivales, telles que randonnées et escalade, vélo tout terrain, parapente et courses de 4x4 « hors piste » qui agissent fortement sur le milieu.

La menace qui pèse sur les Alpes est d'autant plus grande que ce massif montagneux est la plaque tournante de l'Europe. La pollution atmosphérique, due à l'industrialisation des plaines proches et à

l'importance du trafic automobile sur les 400 000 km de routes qui le desservent, nuit aux forêts. À long terme, le réchauffement global est une menace supplémentaire pour la flore déjà sensibilisée, qui risque de migrer en altitude à mesure que la température s'élèvera. Cette diversité des espèces à haute altitude sera le résultat d'une migration et non d'une régénération.

### **Inondations plus fréquentes**

Les dommages causés aux forêts et hautes terres alpines n'affectent pas seulement l'environnement local, mais mettent en danger les populations habitant les plaines. La probabilité d'inondations subites et destructrices augmente en raison de l'accélération du ruissellement de l'eau de pluie descendant des pentes débarrassées de leur végétation. Toute absorption par les forêts est également devenue impossible, ce qui rend risqué le camping estival en montagne : des terrains de camping situés en bordure de rivière, et pourtant fort éloignés les uns des autres, ont été, ces dernières années, le théâtre de catastrophes, dans les Alpes françaises, les Pyrénées, en Corée et dans les montagnes Rocheuses.

### **Réparer les dommages**

Arrêter ce processus de dégradation ne s'annonce pas une tâche aisée car la lenteur de la croissance de la flore montagnarde en zone alpine et les exigences du tourisme sont contradictoires. Tout projet visant à restaurer la couverture végétale nécessite non seulement un investissement financier mais aussi une meilleure connaissance des différentes plantes réclamant un climat rigoureux. Les études portant sur la sylviculture alpine montre que, même à basse altitude, différentes essences ligneuses préfèrent des habitats très divers. Ce problème sera encore plus difficile à résoudre si l'attrait des sports d'hiver diminue et si l'apport financier nécessaire à ces réparations fait défaut.

D'après BURROUGHS W.-J., *L'encyclopédie du climat*,  
éditions Delachaut et Niestlé, Lausanne, 2000, pages 90 et 91.

---