

100% RÉUSSITE

CAPES

LICENCE

**Géographie
de
l'environnement**

Milieux, ressources, risques

Géopolitique

Frontières, conflits

**Cours
Fiches
Méthodes
Sujets corrigés**

Édouard de Bélizal
Simon Roche



Avant-propos

Une collection inédite pour un nouveau CAPES d'histoire et de géographie

Le CAPES (enseignement public)-CAFEP (enseignement privé sous contrat) est désormais placé en fin de licence, au niveau du bac +3. C'est un changement de taille, certes, mais ce n'est pas une nouveauté car, depuis sa création en 1950, le concours a été placé plus fréquemment à ce niveau-là qu'à celui du bac +4 ou du bac +5. Le changement concerne aussi les CAPLP, notamment de lettres-histoire.

Mais un autre bouleversement concerne plus spécifiquement nos disciplines. Le CAPES (et le CAPLP) repose désormais sur un programme fixe, donc identique d'une année sur l'autre, constitué de questions larges adossées directement aux programmes scolaires du collège et du lycée. C'est un véritable changement de paradigme. Certes, la plupart des autres disciplines étaient déjà alignées sur ce système, mais l'histoire et la géographie avaient l'habitude de fonctionner avec des programmes spécialisés qui changeaient tous les deux ans en moyenne (comme pour les agrégations externes). Mais ces programmes étaient devenus obsolètes, trop spécialisés, trop liés à des querelles universitaires d'un autre âge et bien trop éloignés des réalités de l'enseignement scolaire. Le CAPES repose ainsi désormais sur seize questions, qui concernent les grands fondamentaux enseignés dans le premier cycle universitaire (licence, CPGE) et présents dans l'ensemble des programmes du collège et du lycée : huit en histoire (à raison de deux par période) et huit en géographie. Le CAPLP, quant à lui, repose sur huit questions (quatre en histoire et quatre en géographie), communes avec celles du CAPES : cela facilitera incontestablement la tâche aux candidats qui souhaitent présenter les deux concours.

Fidèle à sa tradition d'accompagnement des candidats dans leur préparation aux concours, la maison d'édition Ellipses propose cette collection totalement inédite. Celle-ci est la seule qui, non seulement, couvre l'ensemble des seize questions du programme, mais présente aussi une méthodologie complète des

épreuves écrites et orales avec de nombreux sujets et corrigés. Grâce à l'expérience et à l'expertise des auteurs, que je tiens ici à chaleureusement remercier, les candidats disposent d'ouvrages de référence qui leur apporteront une aide décisive dans la réussite au concours. Dix ouvrages portant sur les seize thèmes sont d'ores et déjà publiés, auxquels s'ajoute un ouvrage pour préparer l'épreuve orale de l'entretien professionnel avec le jury. D'autres titres viendront très prochainement compléter la collection.

Cette collection prend également en compte la spécificité du CAPLP lettres-histoire, pour accompagner aussi les candidats qui se destinent à l'enseignement en lycée professionnel. Ils trouveront ainsi des sujets spécifiques aux épreuves de leur concours.

Je tiens à remercier les éditions Ellipses pour leur confiance sans cesse renouvelée, en particulier leur directeur général Briec Bénézet et la directrice éditoriale en charge de l'histoire-géographie Manon Savoye.

Au nom de tous les auteurs de la collection, j'adresse mes vœux de pleine réussite à l'ensemble des candidates et des candidats au CAPES-CAFEP d'histoire et de géographie et au CAPLP de lettres-histoire.

Yannick Clavé
Directeur de la collection

Le point sur les programmes officiels

Le programme officiel du CAPES-CAFEP d'histoire-géographie

(publié le 7 mai 2025)

Le programme a été établi en fonction des principaux enseignements dispensés en licence et des principaux enseignements présents dans tous les programmes d'histoire et de géographie du secondaire. Il reste identique d'une année sur l'autre.

▪ Histoire : huit questions

- ▶ Histoire ancienne
 - ✦ 1. La Grèce classique
 - ✦ 2. Rome : République et Empire
- ▶ Histoire médiévale
 - ✦ 3. Contacts et conflits en Méditerranée, VI^e-XIII^e siècles
 - ✦ 4. Société, Église et pouvoir politique dans l'Occident médiéval, XI^e-XV^e siècles
- ▶ Histoire moderne
 - ✦ 5. Première mondialisation, Renaissance, humanisme et réformes, XV^e-XVII^e siècles
 - ✦ 6. L'Europe du XVIII^e siècle, Révolution française et Empire
- ▶ Histoire contemporaine
 - ✦ 7. Le XIX^e siècle français : économie, société et politique, métropole et colonies (1815-1914)
 - ✦ 8. Le XX^e siècle : guerres mondiales, totalitarismes, génocides, guerre froide, décolonisation

- **Géographie : huit questions**

- ✦ 1. Géographie de la population : démographie, distribution spatiale
- ✦ 2. Géographie de la mondialisation : acteurs, territoires, maritimisation, flux
- ✦ 3. Géographie de l'environnement : milieux, ressources, risques
- ✦ 4. Géographie de la France
- ✦ 5. Géographie de l'Union européenne
- ✦ 6. Géopolitique : frontières, conflits
- ✦ 7. Géographie urbaine : populations, dynamiques, activités
- ✦ 8. Géographie rurale : populations, dynamiques, activités

Le programme officiel d'histoire-géographie du CAPLP de lettres-histoire

(publié le 18 juillet 2025)

Le programme d'histoire et de géographie du concours fait l'objet d'une publication sur le site internet du ministère chargé de l'Éducation nationale.

Les questions sont communes avec celles du CAPES.

- **Histoire : quatre questions**

- ▶ Temps modernes

- ✦ 1. Première mondialisation, Renaissance, humanisme et réformes, XV^e-XVIII^e siècles
- ✦ 2. L'Europe du XVIII^e siècle, Révolution française et Empire

- ▶ Temps contemporains

- ✦ 3. Le XIX^e siècle français (économie, société et politique, métropole et colonies) et l'entrée progressive en démocratie, 1815-1914
- ✦ 4. Le XX^e siècle : guerres mondiales, totalitarismes, génocides, guerre froide, décolonisation

- **Géographie : quatre questions**

- ✦ 1. Géographie de la mondialisation : acteurs, territoires, maritimisation, flux
- ✦ 2. Géographie de l'environnement : milieux, ressources, risques
- ✦ 3. Géographie de la France
- ✦ 4. Géographie de l'Union européenne

La structure du CAPES-CAFEP d'histoire-géographie

Référence réglementaire : arrêté du 17 avril 2025 (JORF n° 0094 du 19 avril 2025).

Les deux épreuves écrites : l'admissibilité			
1. Composition		2. Analyse de documents	
<i>Lorsque la première épreuve d'admissibilité porte sur l'histoire, la seconde porte sur la géographie, et inversement. Ce choix du jury est connu lors de la première épreuve.</i>			
Durée : 5 heures	Coefficient 2,5	Durée : 5 heures	Coefficient 2,5
Épreuve notée sur 20	Note égale ou inférieure à 05 éliminatoire	Épreuve notée sur 20	Note égale ou inférieure à 05 éliminatoire
Choix entre deux sujets.		Un sujet unique (trois à cinq documents).	
Une production graphique, croquis ou schéma, est obligatoire en géographie. Elle est attendue à partir d'un fond de carte fourni en annexe ou au choix du candidat.			
Il est attendu une composition (ou dissertation) selon les règles académiques habituelles.		Il est attendu un commentaire des documents selon les règles académiques habituelles.	
<i>Total des coefficients de l'admissibilité : 5</i>			
Les deux épreuves orales : l'admission			
1. Exposé disciplinaire		2. Entretien professionnel avec le jury	
En histoire ou en géographie par tirage au sort effectué par le candidat.		Épreuve commune à l'ensemble des CAPES, portant sur la motivation du candidat, son parcours et sa connaissance du système éducatif et des principes et valeurs de la République.	
Des documents sont fournis en appui du sujet pour aider la construction de la réflexion ou la présentation du propos.		Épreuve notée sur 20	Note 00 éliminatoire
		Coefficient 3	
Épreuve notée sur 20	Note 00 éliminatoire	Pas de temps de préparation	
Coefficient 5		Durée : 35 minutes	
		Le candidat se présente (5 minutes)	Entretien avec le jury (10 minutes)
		Connaissance du système éducatif et des valeurs de la République (20 minutes)	
Durée de la préparation : 4 heures			
Durée de l'épreuve : 1 heure			
Exposé : 20 minutes	Entretien avec le jury : 40 minutes (ensemble du programme)		
<i>Total des coefficients de l'admission : 8</i>			

La structure du CAPLP de lettres – histoire et géographie

Référence réglementaire : arrêté du 17 avril 2025 (JORF n° 0094 du 19 avril 2025).

Les deux épreuves écrites : l'admissibilité			
Durée : 5 heures	Coefficient 2,5	Durée : 5 heures	Coefficient 2,5
Épreuve notée sur 20	Note égale ou inférieure à 05 éliminatoire	Épreuve notée sur 20	Note égale ou inférieure à 05 éliminatoire
Travail sur un corpus composé de plusieurs textes littéraires		Dissertation. Choix entre deux sujets : l'un en histoire, l'autre en géographie	
1. Épreuve disciplinaire de lettres		2. Épreuve disciplinaire d'histoire et de géographie	
		Une production graphique, croquis ou schéma, est obligatoire en géographie. Elle est attendue à partir d'un fond de carte fourni en annexe ou au choix du candidat.	

Total des coefficients de l'admissibilité : 5

Les deux épreuves orales : l'admission				
1. Épreuve disciplinaire		2. Entretien professionnel avec le jury		
Un dossier documentaire en deux parties		Épreuve commune à l'ensemble des CAPES, portant sur la motivation du candidat, son parcours et sa connaissance du système éducatif et des principes et valeurs de la République.		
Partie majeure* : <ul style="list-style-type: none"> • En histoire-géographie : un ou deux documents avec une consigne générale. • En lettres : un texte littéraire et une image. 	Partie mineure (ou complémentaire)* : <ul style="list-style-type: none"> • En histoire-géographie : un document avec une question. • En lettres : un texte littéraire avec une question. 			
Épreuve notée sur 20		Épreuve notée sur 20	Note 00 éliminatoire	
13 points pour la discipline majeure	7 points pour la discipline mineure	Coefficient 3		
Note 00 éliminatoire	Coefficient 5	Pas de temps de préparation		
Durée de la préparation : 3 heures		Durée : 35 minutes		
Durée de l'épreuve : 1 heure				
Discipline majeure : 40 minutes <ul style="list-style-type: none"> • Exposé : 20 minutes • Entretien : 20 minutes 	Discipline mineure : 20 minutes <ul style="list-style-type: none"> • Exposé : 10 minutes • Entretien : 10 minutes 	Le candidat se présente (5 minutes)	Entretien avec le jury (10 minutes)	Connaissance du système éducatif et des valeurs de la République (20 minutes)

Total des coefficients de l'admission : 8

* Choix fait au moment de l'inscription au concours : « Le candidat choisit au moment de l'inscription la discipline (lettres ou histoire-géographie) qui fait l'objet de l'évaluation la plus approfondie. Cette discipline est qualifiée de "majeure", l'autre de "mineure" ».

Première partie

Apprendre : les chapitres de cours

Géographie de l'environnement : milieux, ressources, risques

Édouard de Bélizal

Environnement : l'Anthropocène et les équilibres fragiles de la planète anthropisée

I. Définitions

Depuis la fin du xx^e siècle, l'environnement est devenu une notion profondément ancrée dans les discours comme dans les pratiques quotidiennes des populations, des entreprises ou des acteurs publics, en particulier dans les pays occidentaux. Si le terme est un concept désormais présent dans toutes les dimensions du quotidien, il est parfois maladroitement associé aux notions voisines de « milieu » ou de « nature » dont il est proche sans en être l'exact synonyme.

Le **milieu** désigne le fonctionnement biophysique d'un espace donné, où l'on étudie les relations et rétroactions entre la partie abiotique, non vivante, appelée « biotope » (lithosphère, atmosphère, hydrosphère...) et la partie biotique, vivante, ou « biocénose » (biosphère regroupant les êtres vivants végétaux et animaux). **Biotope** et **biocénose** s'articulent entre eux : les êtres vivants s'adaptent aux conditions du biotope qu'ils peuvent également modifier en retour. Il en résulte des adaptations complexes qui forment des **systèmes** que l'on peut observer à plusieurs échelles. À l'échelle locale, on parle d'**éco-systèmes**. À une échelle plus petite, les écosystèmes peuvent être regroupés en **biomes** suivant les grandes zones froide, tempérée et chaude de la Terre. La garrigue et le maquis sont ainsi des écosystèmes appartenant au biome

méditerranéen, tandis que la savane à épineux et la savane arborée sont des écosystèmes du biome savane. Les écosystèmes sont donc les adaptations locales des caractéristiques des biomes, lorsque par exemple le substrat rocheux ou l'humidité changent.

On parle d'**environnement** lorsque l'on ajoute les sociétés au **fonctionnement des milieux**, dans la mesure où ces derniers sont habités, appropriés et transformés par les êtres humains. En d'autres termes, **il s'agit de l'ensemble des relations entre les sociétés et les milieux physiques, envisagés à différentes échelles d'espace et de temps** (De Bézal et al., 2025). Le milieu n'est plus considéré comme une donnée extérieure aux sociétés, il les enveloppe tout en étant plus ou moins modifié par ces dernières : on parle ainsi d'**anthropisation**. Dans le contexte de **mondialisation** et de **développement** qui s'accélère, la « face de la Terre » (Pinchemel et Pinchemel, 1997) a profondément changé. La population qui augmente, l'urbanisation qui s'accélère, les flux et les réseaux d'échanges croissants et alimentés par une consommation abondante d'énergies carbonées, ont contribué à produire de multiples changements globaux dont les impacts sur les milieux font l'objet des études environnementales actuelles. On parle même d'**Anthropocène** pour traduire l'idée que la Terre est entrée dans une phase de son histoire biophysique désormais entièrement marquée par l'influence des sociétés.

Face à cette **planète complètement anthropisée**, la notion de nature prend ainsi un sens très différent. Même si elle est toujours fréquemment utilisée par abus de langage pour désigner les espaces verts, y compris des surfaces agricoles profondément artificialisées, elle est en réalité plus une représentation qu'une réalité concrète. L'idée de **nature** suppose en effet l'existence d'espaces non transformés, existant depuis bien avant le développement des sociétés et qui sont potentiellement menacés par ces dernières. La métaphore virginale est du reste encore utilisée pour désigner les massifs forestiers les plus profonds souvent qualifiés de « forêt vierge », souvent au mépris des populations autochtones qui les occupent parfois depuis des millénaires. La fascination qu'exercent ces milieux peu anthropisés, jugés « naturels », renvoie à une conception dans laquelle les sociétés sont considérées comme des éléments perturbateurs. Cela s'inscrit dans la continuité de l'ancienne dialectique qui a traversé la philosophie occidentale : la nature est fondamentalement bonne et vertueuse tandis que la culture est source de maux et de dégradations. Ce goût des espaces dits naturels comme lieux privilégiés du ressourcement face au grouillement malsain et criminel des villes se manifeste d'ailleurs toujours fortement dans les pratiques nord-américaines

où la *wilderness* (« nature sauvage ») a été vantée depuis le XIX^e siècle par les récits des explorateurs Lewis et Clarke dans les Rocheuses, les pensées du philosophe Henry David Thoreau ou les romans de Jack London.

Envisager les milieux comme des espaces de nature constitue le fondement des pratiques de protection, même si leurs représentations en tant que « nature » à préserver peuvent conduire à les fixer dans une représentation qui ne tient pas compte de leurs évolutions. L'idée de nature tend à placer les milieux en dehors de l'espace des sociétés, mais aussi de leurs temporalités, comme si l'objet naturel était un donné intemporel. C'est oublier un peu vite que **les milieux terrestres n'ont rien d'immuables** et qu'ils ne sont que l'expression momentanée du système planétaire à un moment donné : ils dépendent de climats et de reliefs qui se recomposent sans cesse, selon des temporalités plus ou moins longues. Les grandes forêts d'Europe occidentale, par exemple, n'ont que quelques milliers d'années d'existence depuis la fin de la dernière glaciation ; le désert du Sahara était, quant à lui, occupé par une savane il y a environ 6 000 à 8 000 ans.

La notion d'environnement dépasse donc largement les milieux et la nature auxquels elle ne se substitue certainement pas, ce qui fait dire aux géographes Laurent Lespez et Simon Dufour que l'environnement est finalement une « **approche anthropocentrée de la nature** » (2024). Cette approche « **hybride** » selon Yvette Veyret (2007) s'est peu à peu imposée dans le champ général de la géographie française face aux transformations croissantes que la mondialisation et le développement ont produit et qu'il a fallu appréhender.

II. Les géographes français et l'environnement

La prise en compte des impacts de la croissance économique sur les milieux n'a toutefois pas attendu le XXI^e siècle et le renforcement de la mondialisation. Dès la fin des Trente Glorieuses des voix ont commencé à s'élever pour dénoncer les travers de la consommation de masse de ressources non renouvelables. En 1972, des économistes et des scientifiques réunis autour des époux Meadows dans le « **club de Rome** » ont publié un rapport intitulé *Les Limites à la croissance*, dans lequel la question de la finitude des ressources naturelles et celle de la pollution excessive étaient explicitement posées. Cette même année, l'ONU organisait le premier **Sommet de la Terre** et mettait la préoccupation environnementale à l'agenda international. La définition du **développement durable** par la Première Ministre norvégienne Brundtland en 1987 puis la mise en place des Agendas 21 après le Sommet de la Terre

de Rio en 1992 ont contribué à resserrer la trame du canevas politique des questions environnementales. Celui-ci s'appuie sur les rapports du **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)**, fondé en 1988 et dont les modélisations alarmantes insistent sur la nécessaire réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans le même temps, les dernières décennies du xx^e siècle ont été pour la géographie française une période d'intenses remises en question. Le découpage disciplinaire traditionnel opposait la géographie physique à la géographie humaine, ce qui a longtemps conduit à des travaux de recherche essentiellement monographiques faisant la part belle à la description savante plutôt qu'à l'analyse. Dans les années 1960, le renforcement des sciences de la Terre marginalise la géographie physique, tandis que l'essor de la sociologie propose des concepts et des méthodes d'explication que la géographie n'offrait pas. Une profonde restructuration de la discipline a ainsi eu lieu entre les années 1970 et 1980 : l'analyse spatiale a redonné sa légitimité académique à la géographie, tandis que la géographie physique autrefois toute puissante voit sa place dans les enseignements universitaires peu à peu diminuer. La notion d'environnement commence à apparaître dans les années 1980 autour de quelques géographes qui s'en emparent. Georges Bertrand l'associe à la notion de paysage au sein de ce qu'il appelle le géosystème. L'environnement occupe peu à peu une place renforcée dans les enseignements et les équipes de recherche. Si des géographes physiciens ont peu à peu recentré leurs recherches en articulant davantage les processus des milieux aux fonctionnements des sociétés, en particulier dans le domaine des risques par exemple, de nombreux environmentalistes ne sont pas, à l'origine, des géomorphologues ou des biogéographes. Les paysages, les environnements urbains, les énergies, les dispositifs de protection, les politiques environnementales ou encore l'injustice environnementale font partie des notions portées par les représentants de la géographie de l'environnement qui s'est peu à peu imposée par-delà l'ancien clivage français entre géographie physique et géographie humaine.

III. Une question d'actualité

L'environnement constitue ainsi une nouvelle branche de la géographie française, dont les contours académiques s'esquissent peu à peu en repoussant d'anciennes frontières disciplinaires désuètes, tout en produisant d'autres lignes de fractures. Dès le début de l'introduction de leur *Manifeste pour une*

géographie environnementale (2016), Denis Chartier et Estienne Rodary annonçaient se positionner en opposition à la vision « écolosceptique » de l'ouvrage dirigé par Sylvie Brunel et Jean-Robert Pitte (*Le ciel ne va pas nous tomber sur la tête*, 2010) qui entendait déconstruire les discours catastrophistes liés aux mutations environnementales actuelles. La géographie de l'environnement se construit ainsi en reflet des interrogations voire des tensions qui marquent le début du XXI^e siècle face aux prises de conscience des **changements globaux** qui concernent au premier chef les milieux, mais qui ne s'y réduisent pas : ces transformations en cours (développement, urbanisation ou même encore le vieillissement de certains territoires) ont amené les géographes à s'intéresser à leur dimension spatiale avec la notion de **transition**, qui a gagné en amplitude théorique depuis la fin des années 2010. La géographie de l'environnement n'est donc pas seulement une approche au carrefour des grandes tendances de la discipline, elle est aussi une **question d'actualité**, complexe car articulant de multiples savoirs, qui nécessite de rigoureux décryptages.

Les professeurs d'histoire et de géographie doivent transmettre à leurs élèves une solide compréhension de ces problématiques, pour en exposer avec clarté toutes les dimensions, des processus physiques jusqu'aux jeux d'acteurs, au-delà des déclarations politiques ou des simplifications journalistiques.

Les milieux terrestres : processus, variabilité et répartition

L'essentiel à retenir

- Les milieux terrestres se caractérisent par leur variabilité spatiale et temporelle.
- Océans et continents sont issus d'une longue histoire géologique.
- La climatologie et la météorologie sont deux disciplines distinctes.
- Le fonctionnement de l'atmosphère se caractérise par l'étude de la variabilité de ses températures ainsi que par la compréhension des mouvements qui l'animent.
- L'effet de serre est un élément essentiel du climat terrestre puisqu'il contribue à stabiliser le bilan radiatif de la planète, entre les apports énergétiques qu'elle reçoit du soleil et l'énergie qu'elle émet elle-même.
- La circulation atmosphérique et la circulation océanique sont couplées et jouent un grand rôle dans la variabilité spatiale du climat.
- La répartition des climats produit de grandes zones qui servent aussi à l'étude des grands domaines bioclimatiques (biomes et écosystèmes).
- L'étude des milieux terrestres est systémique et intègre désormais les sociétés qui ne peuvent pas être considérées comme extérieures.

Chiffres clefs

- La Terre fait environ 6 400 km de rayon. Les couches stables de l'atmosphère représentent une épaisseur d'environ 100 km.
- La Terre s'est formée il y a plus de 4,5 milliards d'années. Le Paléozoïque (ou ère primaire) qui correspond à l'apparition de la vie hors des océans a commencé il y a 540 millions d'années.
- L'énergie reçue par la Terre correspond à environ 340 W/m². La température moyenne de la planète, équilibrée par l'effet de serre, est d'une quinzaine de degrés.

Introduction

La Terre est une **planète tellurique** composée d'un noyau enrobé de plusieurs enveloppes rocheuses sur environ 6 400 km : l'**asthénosphère**, dense et ductile, animée de brassages convectifs puissants et la **lithosphère** plus froide et rigide. Elle est entourée ensuite de plusieurs couches gazeuses de densité variable que l'on appelle l'atmosphère. Cette dernière est relativement stable sur une centaine de kilomètres ; au-delà, sa composition change et sa densité diminue progressivement sur encore quelques centaines de kilomètres.

La planète Terre constitue ainsi un système associant plusieurs éléments à toutes les échelles. **À l'échelle globale**, les principales dynamiques climatiques sont liées à la mécanique de l'atmosphère ainsi qu'à ses interactions avec les continents et les océans. Ces derniers ne sont du reste pas fixes non plus et n'ont cessé de changer de formes et de dimensions depuis des centaines de millions d'années. Les mouvements de la couche superficielle (lithosphère) sont intimement liés aux brassages internes que connaît la couche sous-jacente (asthénosphère). L'ouverture et la fermeture des continents modifient les courants maritimes et opèrent des changements climatiques sur des dizaines de millions d'années, auxquels s'ajoutent d'autres variations du climat provoquées par des cycles astronomiques qui modifient non seulement la trajectoire de la Terre autour du Soleil, mais aussi son angle d'inclinaison ainsi que l'orientation de son axe de rotation. Ces dynamiques globales sont complétées par de très nombreuses interactions **à des échelles plus fines**, comme les spécificités des façades continentales exposées à des courants marins chauds ou froids, ou encore l'influence des grands massifs forestiers sur le climat régional, sans oublier les climats urbains. Le

fonctionnement des milieux est ainsi caractérisé par la prise en compte de ces **interactions climatiques, géomorphologiques et biogéographiques** qui ne cessent de se modifier selon une double logique spatiale et temporelle : on parle ainsi de **variabilité des milieux**, à la fois spatiale et temporelle. La variabilité spatiale est déterminée par les multiples formes que prennent les biotopes en fonction de deux grandes variables que sont les températures et les précipitations, produisant des milieux plus ou moins chauds ou froids, plus ou moins humides ou secs. La variabilité temporelle se comprend, quant à elle, à partir des **forçages** qui entraînent des modifications souvent globales du climat. Si un grand nombre de ces processus sont liés à des mécanismes géologiques ou astronomiques, les **forçages anthropiques** sont de plus en plus compris comme irréversibles et à l'origine des principaux changements climatiques actuels. Ces derniers ne doivent pas seulement être présentés à l'échelle de la planète; le propre du raisonnement géographique consiste justement à en étudier les phénomènes à des niveaux régionaux et locaux.

Ce chapitre propose donc d'abord une synthèse très simplifiée des grandes dynamiques biophysiques du fonctionnement de la planète Terre nécessaires pour comprendre les changements à l'œuvre, qui seront définis et spatialisés ensuite : il sert donc de première entrée en matière pour désigner l'Anthropocène en géographie. La répartition des grands volumes de reliefs, les mécanismes croisés des océans et de l'atmosphère sans oublier le fonctionnement des grandes familles écosystémiques à différentes échelles doivent être connus des futurs professeurs de géographie.

Problématique du chapitre

En quoi les milieux terrestres sont-ils caractérisés par une forte variabilité, entre processus globaux et dynamiques locales ?

I. Des macro-formes de reliefs aux modelés locaux : des processus géomorphologiques à toutes les échelles d'espace et de temps

Problématique

► Comment se forment et évoluent les reliefs terrestres? Quels sont les principales structures et modelés et quelles en sont les logiques de répartition?

La **géomorphologie** étudie l'origine et la répartition des principales formes de relief sur Terre ainsi que leurs processus d'évolution, en particulier les rythmes de l'érosion à toutes les échelles d'espace et de temps.

A. Le fonctionnement géodynamique de la planète : une surface en mouvement (lithosphère, asthénosphère et tectonique)

1) Les mécanismes de la tectonique des plaques

La planète Terre est composée de plusieurs couches sur environ 6 400 km d'épaisseur. En géomorphologie, on s'intéresse surtout à deux couches principales : la **lithosphère** (de la surface jusqu'à plus d'une centaine de kilomètres de profondeur) et l'**asthénosphère** (qui descend jusqu'à 700 km de profondeur environ); suivent ensuite le manteau inférieur et le noyau. La partie la plus superficielle de la lithosphère s'appelle la **croûte**, dont l'épaisseur et la composition varient. La **croûte océanique** est peu épaisse (moins de 10 km) et de structure très simple, essentiellement basaltique puisqu'elle s'est formée à partir des émissions de magma depuis les **dorsales médio-océaniques** (voir *infra*). En revanche, la **croûte continentale** est beaucoup plus épaisse, plus ancienne et issue de longs processus de déformation et d'accumulation qui l'ont considérablement approfondie puisqu'elle peut mesurer jusqu'à près de 80 km d'épaisseur sous les grandes chaînes de montagnes. La partie inférieure de la lithosphère est composée d'une partie du manteau supérieur, séparé de la croûte par une discontinuité que l'on appelle le « moho ».

La différence entre la lithosphère et l'asthénosphère réside dans leurs caractéristiques thermodynamiques. Pour simplifier, la lithosphère est rigide et froide tandis que l'asthénosphère est ductile et chaude, animée de **brassages**

convectifs : les flux chauds remontent tandis que les flux froids, plus denses, redescendent dans les profondeurs du manteau. Ces mouvements lents mais puissants de l'asthénosphère se communiquent à la lithosphère qui, plus rigide, ne peut pas se déformer et finit par se briser en de nombreuses plaques mobiles les unes par rapport aux autres : c'est que l'on appelle la **tectonique**, qui anime la surface terrestre de déplacements de l'ordre de quelques millimètres par an. La tectonique est dite divergente lors de l'écartement de deux plaques lithosphériques l'une par rapport à l'autre. Cela provoque alors un amincissement crustal progressif à mesure que se creuse un fossé d'effondrement ou « **rift** » qui peut ensuite être ennoyé par l'eau de mer et former un océan. La séparation entre les plaques lithosphériques finit par libérer les roches profondes de l'asthénosphère qui produisent un **volcanisme** très fluide, peu gazeux, à l'origine des dorsales médio-océaniques, comme celle traversant l'océan Atlantique du Nord au Sud et que l'on peut repérer très aisément sur un globe numérique. Le magma en sort sous forme d'émissions de lave immédiatement roulée en forme de coussin par la forte pression de l'eau océanique et qui est à l'origine de la production de croûte océanique. La tectonique divergente permet donc de créer du nouveau matériel crustal issu des matériaux profonds de l'asthénosphère, libérés par l'écartement des plaques lithosphériques. Les littoraux situés de part et d'autre d'un océan qui se forme, c'est-à-dire au niveau de deux plaques qui s'écartent sont désignés comme des **marges passives**, comme dans le cas des littoraux atlantiques.

Le mouvement de divergence des plaques amène mécaniquement, du côté opposé, leur rencontre avec les plaques voisines. La **tectonique convergente** aboutit à la disparition de la plaque la plus dense qui glisse sous la plaque la moins dense. Typiquement, c'est la croûte océanique qui passe sous la croûte continentale : on appelle ce processus la **subduction**. À mesure qu'elle plonge, elle commence à fondre sous l'effet des températures élevées et de la pression qui augmente. Cela forme des paquets de magma qui remontent vers la surface de la plaque continentale en y produisant du volcanisme généralement explosif, puisque les magmas sont enrichis en gaz, donc peu fluides et sous pression. Les zones de subduction sont ainsi caractérisées par des alignements volcaniques, comme le long de la « ceinture de feu » du Pacifique (Alaska, volcans des Rocheuses étatsuniennes, Mexique, cordillère des Andes, Antarctique, Nouvelle-Zélande, Indonésie, Philippines, Japon). La subduction demeure le processus le plus fréquent lors de la rencontre entre une croûte océanique et une croûte continentale, amenant la fermeture progressive des océans. Les littoraux situés de part et d'autre d'un océan qui se ferme, c'est-à-dire au niveau de deux plaques qui convergent l'une vers

l'autre, sont désignés comme des **marges actives**, par exemple les littoraux méditerranéens. La fermeture progressive des océans amène nécessairement le rapprochement puis la rencontre de deux lithosphères continentales. Il en résulte un processus de **collision** qui se traduit par des plissements et des chevauchements puissants amenant un fort épaissement crustal visible topographiquement par l'élévation de l'altitude sur plusieurs milliers de mètres. Il s'agit de l'**orogénèse**, c'est-à-dire de la formation des chaînes de montagnes qui correspondent à des collisions continentales généralement issues de la fermeture d'anciens océans. L'Himalaya par exemple est né de la collision entre l'Inde et l'Eurasie, qui s'est produite après la fermeture du paléo-océan Téthys qui séparait deux anciens continents, la Laurasie et le Gondwana.

2) Des océans et des continents qui s'agglomèrent puis se disloquent au cours des époques géologiques

La surface de la Terre est ainsi remodelée en permanence par les mouvements de la surface, associés aux brassages convectifs de l'intérieur encore chaud de la planète. Il existe des cycles *a priori* permanents de réunion puis de dislocation des continents sur Terre que l'on appelle le **cycle de Wilson**, dont les dernières phases ont fourni l'une des bases de la chronologie géologique. Il y a 540 millions d'années, l'ensemble des masses continentales terrestres s'est progressivement réuni en un seul supercontinent dénommé « **Pangée** », dont l'agrégation a été accompagnée de fortes orogénèses comme celle de la chaîne varisque, ou hercynienne, qui forme encore aujourd'hui le socle des grands bassins sédimentaires de France métropolitaine et quiaffleure encore dans le massif Armoricaïn, dans le Massif central ou dans les Ardennes.

B. Structures et modelés : des roches aux processus d'érosion

1) Les structures des reliefs : l'architecture et la déformation des couches rocheuses de la lithosphère

Les reliefs sont étudiés à partir de leur structure et des modelés qui les sculptent.

Les **structures** désignent l'architecture des différentes couches géologiques. Elles sont particulièrement visibles dans les bassins sédimentaires, qui sont d'anciennes vastes zones d'accumulation sous-marine ou sous-lacustre de débris organiques et minéraux que l'on appelle des **sédiments**. Ces derniers se transforment en roches comme les calcaires ou l'argile et, lorsque leur bassin est exondé, ils forment une grande région plate qui peut ensuite

être débitée en **plaines** (relief plat dans lequel les cours d'eau coulent à fleur de sol) et **plateaux** (relief plat dans lequel les cours d'eau s'encaissent en y formant des vallées) par le travail de l'érosion. C'est le cas des grandes zones planes comme le Midwest étatsunien et les provinces du centre canadien, le Bassin amazonien, le Sahara ou encore les plaines et plateaux de l'ouest et du centre de l'Eurasie. L'empilement des couches géologiques est plus ou moins régulier, plus ou moins horizontal ou même incliné, surtout si des déformations tectoniques ont eu lieu. Celles-ci peuvent être si intenses que la compression des structures sédimentaires finit par produire des **plis** (on parle de relief plissé, comme dans le Jura ou dans les Préalpes du Nord, ou encore dans les piémonts himalayens) voire des cassures le long desquelles les couches glissent les unes sur les autres (**failles** et **chevauchements**). Les roches non sédimentaires, comme les roches magmatiques (formées dans l'asthénosphère tels les granites, qui remontent lentement vers la surface, ou les roches volcaniques, éjectées lors des éruptions) ou métamorphiques (roches sédimentaires ou magmatiques dont la composition chimique et physique a été altérée notamment, mais pas uniquement, par la compression tectonique, par exemple le marbre issu du calcaire) se déforment moins aisément que certaines roches sédimentaires et tendent à casser et à produire des reliefs profondément marqués par les failles, avec des parties soulevées (**horst**) ou effondrées en fossés (**graben**, comme le fossé rhénan en Alsace). Il n'est pas utile de rentrer ici dans le détail de toutes les structures existantes mais il faut savoir que les reliefs sont d'abord nés de l'architecture des roches qui les composent. Pour plus de précision, les candidats aux concours pourront consulter des manuels simples de géomorphologie (Derruau, 2010).

Ces structures commandent la répartition des **macro-formes de relief sur Terre** : hautes et moyennes montagnes, topographies plus calmes des grandes plaines et plateaux (sédimentaires ou non), grandes vallées fluviales. Elles sont toutefois sculptées par l'érosion : on parle alors de **modelés**, souvent associés aux caractéristiques climatiques des grands biomes terrestres.

2) L'érosion : processus et agents

L'**érosion** désigne le processus de démantèlement des reliefs provoqué par un agent d'érosion qui est capable de dégrader la roche et de la transporter pour la déposer plus loin, parfois à plusieurs centaines de kilomètres. Les principaux agents d'érosion sont l'eau liquide, à la fois pour des raisons chimiques et physique, mais aussi les glaciers, qui sont de très puissantes machines à éroder. Le vent est également responsable de l'érosion et du modelage des reliefs sableux comme les dunes.

Le processus d'érosion procède en plusieurs moments qui opèrent selon des temporalités plus ou moins longues en fonction de l'agent d'érosion :

- l'**altération** désigne la dégradation physico-chimique superficielle ou profonde des roches, plus ou moins puissante selon les caractéristiques de l'agent d'érosion. L'eau froide enrichie en CO_2 est ainsi un puissant solvant des roches calcaires ;
- l'**ablation** survient plus facilement sur des roches préalablement altérées et fragilisées, dont les fragments sont plus aisément mobilisés. Cette partie de la dynamique d'érosion nécessite des agents ayant une énergie nécessaire pour arracher les débris rocheux. La vitesse joue un grand rôle puisqu'elle augmente la compétence du flux ; plus elle est élevée, plus elle les fragments retirés sont gros ;
- le **transport** nécessite lui aussi des vitesses bien spécifiques, certes inférieures à la vitesse nécessaire pour l'ablation mais ne devant pas passer sous un certain seuil sans quoi le flux n'a plus la capacité de transporter un débris. Les processus de transport varient selon la taille des fragments transportés. Les plus légers sont en suspension, tandis que les plus lourds, notamment les cailloux et galets d'un diamètre supérieur à 2 cm de diamètre, progressent plus lentement, par roulement et glissement. Les fractions intermédiaires (sables grossiers ou graviers) sont transportées en saltation, entre roulement et suspension ;
- le **dépôt** survient lorsque la vitesse de transport n'est plus suffisante. Le matériel érodé s'accumule donc en formations superficielles dénommées différemment selon leur mode de transport et de dépôt, par exemple les alluvions pour les dépôts fluviaux, les colluvions pour les formations de bas de versant, ou encore les moraines pour les glaciers.

3) Les principaux modelés morphoclimatiques

Dans les régions de la **zone chaude humide**, la grande quantité d'eau et la végétation denses favorisent une abondante dégradation superficielle des roches : cette altération efficace contribue à la formation de débris sableux peu à peu évacués par les pluies que l'on appelle des **altérites**. Les reliefs prennent donc souvent la forme de collines surbaissées et de forme circulaire (modelé « polyconvexe »), révélant parfois des pitons de roche dure non altérée qui a été débarrassée de son manteau d'altérites : ce sont les **pains de sucre**, comme ceux qui surplombent la baie de Rio de Janeiro au Brésil. À l'inverse, dans les **zones chaudes arides**, le manque d'eau empêche la végétation de croître et limite la formation des sols. Les roches, affleurant quasiment à nu, sont immédiatement à la merci des vents secs qui transportent par saltation

des grains de sable capables de les raboter et d'en abraser la surface, libérant donc toujours plus de fragments rocheux qui décapent à leur tour les faibles sols existants. C'est ainsi que se forment les **regs** (déserts rocheux) et les **ergs** (déserts sableux) où l'accumulation du sable par les processus éoliens produit des **dunes** fixes (ghourds) ou mobiles (barkhanes). Dans les **milieux plus tempérés**, l'érosion liée à l'eau sculpte les talus des plateaux ou les versants des vallées. Des héritages de périodes plus chaudes ont laissé leur empreinte avec les modelés dits « en creux et en bosses » des régions granitiques, ou au contraire d'événements plus froids qui ont contribué à renforcer l'érosion (colluvions formées par la gélifraction des calcaires, par exemple dans les plateaux d'Europe occidentale).

Dans les **milieux froids**, proches des régions polaires ou dans les hautes montagnes, l'influence des glaciers a laissé de profondes et larges **vallées en auge**, des accumulations de **moraine** (roche pulvérisée par les glaciers) roulées en petites collines convexes appelées « drumlins » et des cirques où subsistent quelques lacs.

Q ZOOM • Notion

Le modelé karstique

Le modelé karstique se forme par la dissolution des épaisses couches de certains calcaires sous l'action de l'eau. Il se caractérise par de petites dépressions de surface, les dolines, et surtout par des gouffres (ou avens) qui favorisent l'infiltration de l'eau et la création de véritables réseaux hydrologiques souterrains. Présent dans tous les milieux du globe, le karst prend des formes remarquables dans les régions subtropicales (Chine, entre le Shaanxi, le Sichuan et le Guangxi) ou tropicales (nord du Viêt-Nam).

II. La variabilité des processus climatiques

Problématique

- **Comment expliquer la variabilité des températures et des précipitations sur Terre? Quelles sont les mécanismes de l'atmosphère et l'océan et quelles interactions les unissent?**

On appelle « **climat** » l'ensemble des caractéristiques atmosphériques physiques de l'atmosphère (pression, température et humidité) dont la variabilité s'observe à toutes les échelles d'espace et de temps. La **climatologie** désigne l'étude de l'atmosphère et de son fonctionnement, à la différence de la météorologie qui s'intéresse au temps qu'il fait, à un instant donné et en un lieu donné, et qui propose des prévisions du temps qu'il fera.

A. Les températures : fonctionnement et répartition

1) Énergie et bilan radiatif

La sensation de chaleur ou de froid est d'abord produite par l'énergie que la planète reçoit de son étoile. Le **rayonnement électromagnétique** du Soleil transmet à la Terre une énergie estimée à environ 340 W/m^2 . La majeure partie de ce rayonnement est absorbé par les gaz et aérosols de l'atmosphère ainsi que par la surface de la Terre; 30 % environ est réfléchi, en particulier par les nuages blancs et par les surfaces claires. Ce coefficient de réflexion des rayons s'appelle l'**albédo**. La planète Terre émet elle aussi de l'énergie, estimée à un peu moins de 400 W/m^2 , soit plus que ce qu'elle ne reçoit du Soleil. Or une bonne partie de ce rayonnement est intercepté par l'atmosphère, en particulier le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et la vapeur d'eau (H_2O). Il s'agit des gaz dits « **à effet de serre** » car ils participent à conserver une grande partie de l'énergie de la Terre et à équilibrer son **bilan radiatif** entre ce qu'elle reçoit du Soleil et ce qu'elle émet. Ce processus permet de stabiliser les températures moyennes de la Terre autour de $14 \text{ }^\circ\text{C}$ à $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

2) La répartition des températures globales

Les températures terrestres ne sont pas équivalentes partout sur le globe. Des disparités importantes existent à toutes les échelles, que ce soit entre les surfaces glacées de l'Antarctique où des températures inférieures à $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ sont fréquentes, et les déserts brûlants de l'Afrique ou de l'Asie du Sud. Des

différences nettes existent aussi en fonction des saisons dans les latitudes où existe une **amplitude thermique** élevée entre l'été et l'hiver (en particulier dans les espaces tempérés continentaux); le jour et la nuit peuvent également être marqués par des écarts de température élevés, notamment dans les déserts où la couverture nuageuse est réduite. Les températures terrestres sont donc variables à toutes les échelles d'espace et de temps, non pas tant à cause du rayonnement solaire qui lui reste relativement constant sur des temporalités réduites, mais surtout en raison de facteurs internes à la Terre. Cette forte variabilité peut schématiquement l'expliquer par trois principaux facteurs qui se combinent les uns aux autres : la sphéricité de la planète Terre, ses caractéristiques orbitales et les conditions de la surface.

- **La sphéricité de la Terre** : la sphère terrestre n'offre pas une exposition parfaitement identique au rayonnement solaire. Si l'**angle d'incidence des rayons du Soleil** est droit au niveau des régions tropicales et équatoriales, garantissant une concentration de l'énergie à la surface, il est en revanche beaucoup plus réduit à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur. Plus on se rapproche des pôles, plus le Soleil apparaît ainsi bas dans le ciel et moins l'énergie apportée par les rayons apporte de la chaleur.
- **Les caractéristiques orbitales de la Terre** : la Terre opère deux mouvements fondamentaux dans l'espace : une **rotation** sur elle-même selon un axe qui la traverse du pôle Nord au pôle Sud, ainsi qu'une **révolution** de forme elliptique autour du Soleil. On constate que l'axe de rotation de la planète est incliné selon un angle d'une vingtaine de degrés par rapport au plan dans lequel elle effectue sa rotation autour du Soleil : cette obliquité a pour effet de fortement exposer, alternativement, les pôles au Soleil. L'obliquité de la Terre est donc responsable d'une exposition prolongée de chacun des hémisphères au Soleil, ce qui détermine le rythme annuel des saisons, d'autant plus marquées en termes de températures que l'on s'éloigne de l'équateur. Cette variation latitudinale des températures permet d'expliquer **la répartition spatiale zonale** des grands domaines chauds, tempérés et froids.
- **Les conditions de la surface** : la surface de la Terre n'est pas uniforme et peut localement modifier les températures, y compris à l'intérieur d'une même zone.
 - Les surfaces sombres ont tendance à absorber le rayonnement solaire et à chauffer, tandis que les surfaces claires le réfléchissent et restent fraîches ou froides. L'**albédo** élevé des régions polaires contribue à renforcer leur froid ambiant.
 - La proximité des mers et des océans a aussi pour effet de réduire les amplitudes thermiques : l'humidité contenue dans l'atmosphère entraîne une certaine **inertie des températures** qui s'abaissent et se réchauffent

moins rapidement qu'au cœur des continents. Les températures sont donc souvent plus douces dans les climats océaniques tempérés que dans les climats tempérés continentaux qui peuvent connaître des hivers bien plus froids et des étés bien plus chauds, alors que l'on se trouve sur la même latitude, dans la même zone.

- **L'altitude**, enfin, est à prendre en compte puisqu'il existe un **gradient de température** allant de $-0,5\text{ °C}$ à -1 °C tous les 100 m environ, selon la saturation en humidité de l'atmosphère. Les versants des montagnes sont ainsi étagés, des plus chauds dans la vallée aux plus froids au sommet. On peut donc trouver des espaces au climat froid, voire très froid, y compris dans la zone chaude : les étages les plus élevés des hautes montagnes tropicales des Andes en Amérique du Sud sont ainsi appelés *terras frias*, marquées par le gel en particulier nocturne. Ces modes de variation des températures ne dépendent pas de la latitude : on parle alors plutôt de **répartition azonale**.

B. La circulation atmosphérique

1) L'atmosphère, la mince pellicule gazeuse de la Terre

L'**atmosphère désigne l'enveloppe gazeuse d'une planète**, stratifiée en plusieurs couches de densité variable et de quelques centaines de kilomètres d'épaisseur au total. La **troposphère** est celle qui est la plus proche de la surface et s'étend jusqu'à une douzaine de kilomètres d'altitude; l'essentiel des phénomènes météorologiques s'y produit. La composition gazeuse de l'atmosphère reste stable jusqu'à une centaine de kilomètres avec un mélange comportant notamment 78 % d'azote et 21 % de dioxygène. Les masses d'air sont en circulation constante, obéissant à une mécanique qui s'observe aussi bien à l'échelle globale qu'à des échelles plus fines et qui est en partie liée à des rééquilibres entre pressions différentes ainsi qu'à la force liée à la rotation de la planète sur elle-même.

2) La pression atmosphérique et ses caractéristiques

Les plusieurs centaines de kilomètres d'épaisseur de l'atmosphère exercent une **pression** à la surface de la Terre d'environ 1013 hPa (hectopascals) au niveau de la mer; évidemment, cette valeur diminue en fonction de l'altitude : la pression est ainsi forcément plus faible dans les étages supérieurs de la haute montagne. Cependant, la pression varie également de manière spatiale

et temporelle; on parle de **champ de pression**. Ces différences de pression mettent en mouvement l'atmosphère de manière assez simple, des hautes vers les basses pressions :

- les **fortes pressions** compressent l'air vers le sol et le propulsent. On parle d'**anticyclone**;
- dans les **basses pressions**, l'air remonte en altitude. Il s'agit d'une **dépression** ;
- l'air circule en surface jusqu'aux basses pressions qui l'attirent. **Ce flux d'air des hautes vers les basses pressions s'appelle le vent** ;
- le vent dominant dans les régions polaires vient de l'Est, tout comme dans les régions tropicales où on le nomme « alizé ». En revanche, la circulation générale dans les espaces tempérés vient de l'ouest.

À la circulation atmosphérique générale s'ajoutent des particularités régionales et locales, notamment en fonction des **variations saisonnières du champ de pression** : **les continents refroidis en hiver ont tendance à augmenter la pression de l'air sus-jacent, tandis qu'ils l'abaissent lorsqu'ils se réchauffent en été**. Cela peut entraîner des modifications locales ou régionales de la circulation atmosphérique avec, par exemple, des vents secs et froids propulsés l'hiver vers l'Europe occidentale par des anticyclones temporaires formés au-dessus de l'Europe orientale ou de la Russie.

Enfin, de manière plus locale, les différences de température et donc de pression qui peuvent survenir entre la haute montagne et un fond de vallée, un littoral et la mer ou encore entre une ville et ses périphéries entraînent de multiples petits vents locaux que l'on appelle des brises. La **brise** de mer souffle par exemple de la mer vers la terre pendant la journée, car le littoral se réchauffe plus vite que l'eau de mer : ce décalage de température produit une petite dépression sur la terre qui attire l'air marin. Pendant la nuit, le phénomène s'inverse : le littoral se refroidit plus vite que la mer qui conserve sa température (inertie de l'eau), au-dessus de laquelle se forme une dépression qui attire le vent des terres.

C. Le cycle de l'eau et les relations océan-atmosphère

1) Des échanges d'énergie et d'eau entre les océans et l'atmosphère

L'atmosphère est en relation étroite avec l'autre grand fluide terrestre que sont les mers et les océans. Les échanges énergétiques entre eux se traduisent par des changements d'état de l'eau qui consomment ou libèrent de l'eau que l'on appelle les flux de chaleur latente. L'**évaporation** de l'eau de mer comme la **condensation** de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère

nécessitent des transferts d'énergie ; très schématiquement, l'eau consomme l'énergie atmosphérique pour s'évaporer et libère ensuite cette énergie dans l'atmosphère lorsqu'elle condense. Ces changements d'états de l'eau et transferts montrent les liens qui existent entre les océans et l'atmosphère et que l'on peut synthétiser sous forme d'un cycle. Les masses d'air accumulent de l'eau au-dessus des mers et des océans sous forme de vapeur (évaporation) qu'elles transportent ensuite puis qu'elles relâchent sur les masses émergées (nuages et pluies), alimentant les réseaux hydrographiques. La température de l'atmosphère est déterminante dans ce processus : il faut une masse d'air suffisamment chaude pour pouvoir engranger de la vapeur d'eau ; en revanche, lorsqu'elle se refroidit, la condensation a lieu et forme des nuages et des pluies. Le **point de rosée** désigne la température, estimée notamment en fonction de la pression atmosphérique, en dessous de laquelle une masse d'air ne peut plus conserver l'eau sous forme de vapeur, ce qui entraîne la condensation. Les mécanismes de refroidissement d'une masse d'air sont multiples : il peut y avoir **advection d'un air froid** ou encore le passage d'un relief qui oblige l'air à monter en altitude (**ascendance orographique**). Il peut aussi s'agir de mouvement **convectif** lorsque l'air, paradoxalement, se réchauffe. Devenu plus léger, il s'élève et à mesure qu'il gagne en altitude. Il se refroidit alors progressivement et peut former de longs nuages en forme de colonnes qui se déploient sur toute l'épaisseur de la troposphère et que l'on appelle des **cumulo-nimbus**, responsables de pluies intenses et d'orages. Le changement de température de l'air est lié à l'inertie de l'eau : une masse d'air non saturée se refroidit deux fois plus vite qu'une masse d'air saturée, dans laquelle l'inertie énergétique de l'eau limite la déperdition d'énergie.

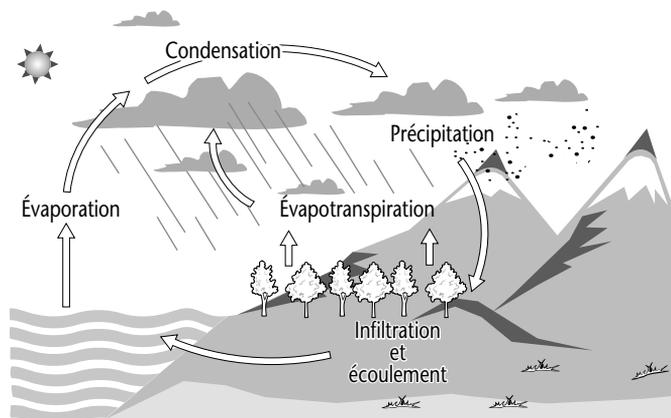


Schéma 1. Le cycle de l'eau

Plusieurs conséquences géographiques sont à retenir de ces éléments théoriques très simplifiés :

- Dans les anticyclones, la compression de l'air vers la surface limite l'ascendance convective. Le temps y est plutôt dégagé. À l'inverse, les dépressions dans lesquelles l'air s'élève, se refroidit et condense la vapeur d'eau qu'il peut contenir, entraînent plutôt une météo dégradée, nuageuse, pluvieuse et venteuse.
- Plus une masse d'air est chaude plus elle peut contenir de la vapeur d'eau. Les pluies sont donc plus abondantes dans la zone chaude. **Les maxima pluviaux sont situés dans la zone équatoriale**, où la couverture nuageuse est importante en raison des basses pressions permanentes.
- Les orages sont plus fréquents l'été lorsque le sol se réchauffe et contribue à échauffer l'air ambiant : la hausse de la température diminue la pression de la masse d'air qui s'élève, refroidit peu à peu et condense la vapeur d'eau qu'elle peut contenir.
- L'évaporation ne se produit pas uniquement à partir des mers, des océans ou des lacs mais aussi à partir des grands massifs forestiers par **évapotranspiration végétale**.
- Lorsqu'une masse d'air saturée doit franchir un relief par ascendance orographique, elle se décharge de son humidité au-dessus du versant le long duquel elle monte en altitude. Une fois le relief franchi, la masse d'air désormais sèche redescend de l'autre côté du relief et se réchauffe : ce vent chaud et sec s'appelle le **föhn**. Il en résulte une opposition entre un versant froid et humide et un versant chaud et sec. Il est par exemple observable en France : en Lorraine, les masses d'air humides entraînées par les vents dominants d'ouest apportent de la pluie sur le massif des Vosges lorsqu'elles le traversent ; en redescendant ensuite de l'autre côté, vers la plaine alsacienne, elles soufflent un air chaud et un temps souvent plus dégagé, propice notamment à la viticulture dans les collines sous-vosgiennes. Dans les archipels tropicaux, les alizés chargés d'humidité doivent franchir les reliefs des îles volcaniques, produisant là aussi une opposition qui joue encore un grand rôle dans l'organisation de ces territoires : à l'est, le versant appelé « **au vent** » est exposé aux entrées maritimes et aux principaux flux de tempêtes ; à l'ouest, le versant abrité est dit « **sous le vent** » et accueille généralement les principaux ports, grandes villes et cultures fragiles.

2) Les courants marins et leurs relations avec l'atmosphère

Les relations entre océan et atmosphère ne se limitent toutefois pas à ces échanges d'eau. Les mers et les océans sont eux aussi animés par une circulation complexe qui procède à deux échelles. Il existe d'abord une

circulation océanique profonde, longue et globale. Appelée **thermohaline**, elle est liée à l'inégale densité de l'eau de mer en fonction de sa température (« thermo ») et de sa concentration en sel (« -haline »). Elle prend, schématiquement, la forme d'une grande boucle reliant les deux pôles en passant par les régions équatoriales et joue un rôle prédominant dans les transferts d'énergie à l'échelle globale. En plus de la circulation thermohaline, les mers et les océans connaissent des **courants de surface** qui mettent en mouvement les quelques mètres d'eau superficielle. Majoritairement mis en mouvement par les vents dominants, ils traversent souvent des milliers de kilomètres et se caractérisent par leur température. Les courants dits froids proviennent des régions polaires, les régions tropicales produisant des **courants chauds**. À l'inverse, les **courants froids** augmentent la pression atmosphérique au niveau des littoraux qu'ils baignent, amenant ainsi des conditions climatiques bien plus sèches. C'est là l'origine des grands déserts littoraux de l'Atacama en Amérique du Sud ou du Namib en Afrique méridionale, tous deux produits par des courants froids en provenance de l'Antarctique.

Q ZOOM • Notion

Un exemple d'un courant chaud : le « Gulf Stream »

Le Gulf Stream est un courant chaud qui naît dans la région caraïbe et qui est entraîné par les vents d'ouest. Appelé « dérive nord-atlantique » une fois qu'il a quitté les rivages d'Amérique du Nord, ce courant est responsable du climat océanique tempéré très doux que l'on retrouve sur l'ensemble de l'Europe occidentale. Ainsi, il radoucit notamment considérablement les températures sur les littoraux norvégiens entre le Vestland et le Nordland, en même temps que sa chaleur relative est propice à d'importantes précipitations.

Ces relations océan-atmosphère sont, elles aussi, marquées par une certaine variabilité comme l'illustre le phénomène **ENSO (El-Niño Southern Oscillation)** dans le Pacifique Sud.

Dans le Pacifique Sud : « El-Niño »

Sur la côte sud-américaine, la présence du courant froid de Humboldt (aussi appelé « courant du Pérou ») favorise des conditions fortement anticycloniques. Ces fortes pressions mettent en mouvement un puissant alizé qui souffle donc vers l'Océanie et l'Asie du Sud-Est, poussant dans son sillage une petite pellicule d'eau océanique superficielle. Pour remplacer l'eau déplacée par le vent, on observe alors une remontée d'eau profonde le long du littoral sud-américain : on appelle cela un *upwelling*. Ces eaux profondes sont non seulement froides mais aussi très riches en plancton à la base d'écosystèmes marins très riches et d'une forte exploitation de ces ressources halieutiques.

De l'autre côté du bassin pacifique, les littoraux océaniques et asiatiques sont baignés par les eaux chaudes apportées par les alizés, ce qui entraîne une tendance dépressionnaire et des conditions plutôt humides. Une cellule atmosphérique longitudinale, appelée cellule de Walker, s'organise ainsi entre ces deux façades océaniques de part et d'autre du Pacifique sud.

Lorsque cette situation décrite comme normale s'intensifie, on parle de « la Niña », qui se manifeste par une augmentation des pluies sur la façade Asie-Pacifique. Cette situation s'oppose à l'anomalie du Niño, qui a généralement lieu au moment des fêtes de Noël lorsqu'il se produit, au début de l'été austral. Selon des mécanismes et des temporalités pas encore très bien définis mais néanmoins répertoriés depuis très longtemps par les civilisations andines, l'alizé soufflant de l'Amérique vers l'Océanie perd parfois en intensité. Il en résulte l'affaiblissement voire l'arrêt du transfert des eaux chaudes superficielles qui stagnent désormais le long de l'Amérique du Sud. Non seulement le courant de Humboldt se réchauffe mais l'*upwelling* est lui aussi momentanément annulé. Les pêcheries traditionnelles se retrouvent dès lors à l'arrêt en même temps que les conditions météorologiques se dégradent en raison du réchauffement de l'eau et de l'abaissement de la pression atmosphérique. Les années Niño les pires, comme en 1997 notamment ainsi qu'en 2016,

se traduisent par des précipitations diluviennes aux conséquences catastrophiques dans des milieux arides ou désertiques ainsi que sur des versants de montagnes très vulnérables au ruissellement, provoquant des glissements de terrain et des inondations dramatiques au Pérou et jusqu'en Bolivie. La cellule de Walker s'inverse alors : en Océanie et en Asie du Sud-Est, le Niño entraîne des sécheresses dramatiques pour les forêts tropicales puisqu'elles aggravent leur vulnérabilité aux incendies. La Niña comme le Niño sont en réalité des périodes plus ou moins longues pendant lesquelles la cellule de Walker fonctionne normalement ou anormalement, donnant l'impression d'une oscillation comme son nom scientifique l'évoque justement. Depuis la fin du xx^e siècle, de nombreux travaux ont montré que ce mouvement de balancier entre les deux rivages du Pacifique Sud a des répercussions globales, comme des sécheresses accrues dans le sud des États-Unis et dans le bassin caraïbe ainsi que dans le nord-est du Brésil ou des saisons des pluies perturbées en Afrique de l'Est.

La machine climatique terrestre est donc bel et bien marquée par une forte variabilité spatiale et temporelle. Les températures, la circulation atmosphérique et ses relations avec les mers et les océans produisent une trame qui sert de canevas à la compréhension des principaux milieux terrestres.

III. La trame bioclimatique de la Terre

Problématique

- ▶ **Comment fonctionnent les écosystèmes et comment expliquer leur répartition sur Terre ?**

A. Les principaux climats terrestres

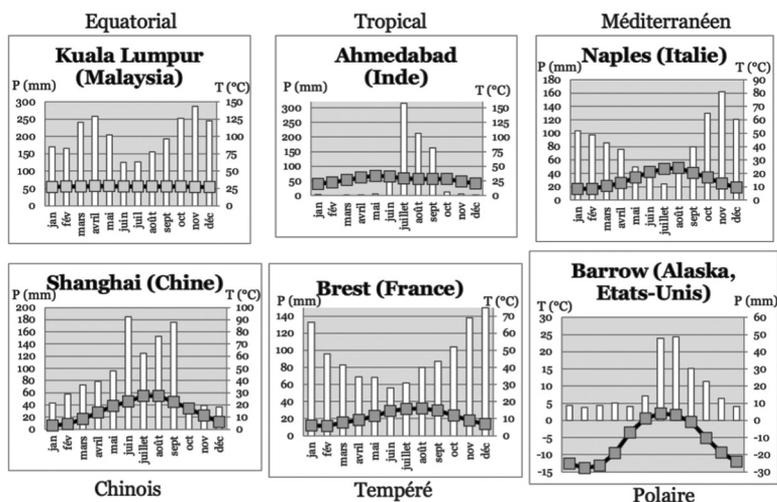
1) Classer les climats : Gaussen et Köppen

La zonalité des températures, combinée à la circulation atmosphérique et à la variabilité des précipitations, détermine les principaux climats terrestres. La **typologie des climats** est souvent proposée à partir de la variation de deux critères : la moyenne mensuelle des températures associée à la somme des précipitations mensuelles. La représentation graphique de ces deux variables permet de reconnaître assez rapidement quelques faciès typiques. Le **diagramme ombrothermique** est ainsi souvent utilisé, avec pour particularité de représenter les températures selon une unité graduation qui correspond au double de celle employée pour les températures. Cela permet de matérialiser la définition de la sécheresse selon Henri Gaussen, qui survient lorsque la valeur des précipitations mensuelles est inférieure au double des températures ($P < 2T$). Les mois secs sont ceux pour lesquels les bâtons représentant les précipitations sont situés sous la courbe des températures.

Q ZOOM • Exemple

La classification de Köppen

La **classification de Köppen** reprend les mêmes variables de température et de précipitation, en y ajoutant néanmoins de nombreuses précisions (durée la saison des pluies, intervalle de température des mois les plus chauds, seuils inférieurs ou supérieurs de précipitations...). Il en résulte une trentaine de climats possibles, désignés par deux ou trois lettres reprenant chacune les valeurs de chaque critère (zone, précipitation, température). Cette classification rend bien compte des effets de zonalité, puisque l'on observe une organisation des climats en grandes bandes latitudinales, mais l'azonalité est aussi aisément repérable avec les anomalies ponctuelles (climats froids des hautes montagnes tropicales au milieu de zones plus chaudes).



Graphique 1. Exemple des principaux faciès climatiques représentés par diagramme ombrothermique

2) Les grandes familles de climats et leurs caractéristiques

Plus on rentre dans le détail, plus on peut identifier des types de climat précis – le géographe Jean Demangeot avait par exemple défini une dizaine de climats dans la seule bande intertropicale (1999) à partir du seul régime de variation annuelle de la saison des pluies. On se contentera ici de **huit principaux faciès climatiques** qui donneront une première idée schématique de la répartition des climats sur Terre avec quelques explications simples pour en comprendre les logiques.

- **Les climats de la zone chaude ou climats intertropicaux** se remarquent par leurs températures chaudes toute l'année (la moyenne mensuelle supérieure à 18 °C est souvent prise comme un critère). C'est leur pluviométrie qui les différencie : **le climat équatorial est humide toute l'année tandis que le climat tropical comprend une saison sèche plus ou moins longue.**
 - **Le climat équatorial** (cf. diagramme ombrothermique ; classement Köppen Af et Am) est caractérisé par sa grande monotonie puisque les variations saisonnières et journalières y sont modestes voire inexistantes. Le climat est chaud et humide toute l'année, avec une faible amplitude thermique entre le jour et la nuit. On le retrouve au niveau de la ceinture des faibles pressions équatoriales, qui sont à l'origine d'une très épaisse **couverture nuageuse et de précipitations abondantes que l'on appelle la Zone de convergence intertropicale (ZCIT)**. Le total de précipitations

par an dépasse fréquemment les 3 000 mm (environ 3 200 mm annuels à Pontianak en Indonésie). On le retrouve au nord de l'Amérique du Sud, en Afrique centrale, dans les grandes îles indonésiennes, en Malaisie et en Papouasie – Nouvelle-Guinée.

- **Le climat tropical** (cf. diagramme ombrothermique ; classement Köppen Aw et BSh pour les climats tropicaux plus secs) ne comporte que peu d'écart de température annuels, mais à la différence du climat équatorial, il est composé de deux saisons pluviométriques : **une saison sèche pendant l'hiver, une saison humide pendant l'été**. Les littoraux des climats tropicaux sont exposés aux cyclones (appelées ouragans dans le bassin caraïbe et typhons en Asie de l'Est et du Sud-Est), qui sont des dépressions très creusées produisant des tempêtes d'une grande violence. Le climat tropical – ou plutôt les climats tropicaux tant les nuances sont nombreuses – s'observe en Amérique centrale et au sud du Brésil, au Sahel et en Afrique australe, en Asie du Sud et du Sud-Est ainsi qu'au nord de l'Australie.

Q ZOOM • Exemple

La mousson

La mousson est un vent. C'est un alizé qui a traversé l'équateur et changé d'hémisphère. Sous l'effet de la force de Coriolis, sa direction s'est inversée, la mousson est donc un vent d'ouest. Elle souffle pendant l'été autour du Golfe de Guinée et dans une bonne partie de l'Asie du Sud et du Sud-Est, où elle apporte de très importantes quantités de pluie. C'est le déplacement de la ZCIT assez haut dans les latitudes de l'hémisphère nord à partir du mois de mai qui est à l'origine de ce processus. Le système dépressionnaire est tel qu'il aspire les alizés de l'hémisphère sud qui se chargent en eau lors de leur périple au-dessus des océans. La mousson, caractérisée par sa régularité saisonnière, a été décisive dans l'organisation des systèmes productifs agricoles et des sociétés asiatiques et sahéliennes mais également dans la navigation commerciale entre l'Inde et la Chine qui savait utiliser les vents hivernaux (les alizés venant de l'Est) et les vents estivaux (la mousson venant de l'Ouest).

- **Le climat aride** (classement Köppen BWk) est le résultat de faibles précipitations dans un contexte où la chaleur ambiante, pouvant aisément dépasser les 40 °C, favorise une forte évaporation. En d'autres termes, l'aridité se définit comme une situation dans laquelle le potentiel annuel d'évaporation (établi notamment en fonction des besoins en eau des plantes présentes) excède le total des précipitations annuelles. Le rapport entre les deux donne une valeur qui peut servir à établir des seuils des régions semi-arides jusqu'aux espaces dits hyperarides. Le climat aride se distribue dans les espaces continentaux suivant les hautes pressions tropicales (sud des États-Unis et nord du Mexique, Sahara, Afrique méridionale, péninsule arabique et Moyen-Orient, Asie du Sud, Australie) parfois renforcées par des courants maritimes froids (Humboldt, Benguela).
- **Les climats subtropicaux** empruntent certains traits des climats intertropicaux, notamment en termes de précipitations. On en distingue deux grands types situés sur les façades occidentales des continents (climat méditerranéen) ou les façades orientales (climat chinois), liées essentiellement aux courants maritimes.
 - **Le climat méditerranéen** (ou subtropical de façade ouest – cf. diagramme ombrothermique; classement Köppen Csa et Csb) emprunte au climat tropical la forte répartition saisonnière des précipitations (avec des maxima annuels qui sont toutefois plus modestes que dans le domaine tropical en dépassant rarement les 1 000 mm), mais il s'en distingue par deux traits principaux. D'abord, il existe une amplitude thermique d'une dizaine de degrés entre l'été et l'hiver, surtout dans les arrière-pays continentaux. Ensuite, la saison sèche n'a pas lieu pendant l'hiver mais pendant l'été, au moment où les températures sont les plus chaudes ce qui entraîne un fort stress hydrique et parfois même une certaine forme d'aridité. On retrouve ce type de climat autour du bassin méditerranéen mais aussi en Californie, au centre du Chili ainsi que sur de petites portions du littoral occidental de l'Afrique du Sud et de l'Australie méridionale.
 - **Le climat chinois** (ou subtropical de façade est – cf. diagramme ombrothermique; classement Köppen Cwa et Cfa) est marqué par une forte humidité annuelle (entre 1 100 mm à Shanghai, Brisbane ou Baltimore) et l'absence de sécheresse avec un maximum de précipitations en été, comme dans les régimes tropicaux. L'amplitude thermique est toutefois forte, avec des entrées d'air polaire en hiver qui peuvent provoquer des températures glaciales pendant plusieurs semaines. À la différence du climat méditerranéen, sa répartition s'observe surtout sur la partie orientale des grandes masses continentales baignée par des courants marins

chauds qui favorisent l'humidité de l'air comme le Gulf Stream, le courant du Brésil ou le Kuroshio. Il est exposé aux ouragans (Amérique du Nord jusqu'à la baie de Chesapeake voire jusqu'à l'embouchure de l'Hudson) ou aux typhons (côte méridionale du Japon). Le climat « chinois » caractérise une bonne partie de la côte est-étasunienne, l'Argentine, l'Australie orientale et les littoraux chinois et japonais.

- **Les climats tempérés** sont désignés ainsi en raison de leur aspect relativement équilibré, avec quatre saisons assez marquées.
 - **Le climat tempéré océanique** est plutôt **humide**, avec un maximum de précipitations pendant l'hiver et une baisse relative des pluies en été (cf. diagramme ombrothermique; classement de Köppen Cfb, Cfc, Cwb, Cwc). Les températures sont modérées, avec une amplitude réduite qui augmente à mesure que l'on s'avance vers l'intérieure des terres (moyenne d'environ 11 °C à Londres) et les précipitations sont sans excès (environ 700 mm de total annuel à Londres ou Paris). Il se retrouve sur l'ensemble de l'Europe occidentale du nord Portugal (tempéré chaud) jusqu'au sud de l'Islande et de la Norvège (tempéré froid) et sur une bande s'étendant jusqu'aux vallées du Rhône et du Rhin. Il s'observe également au sud du Chili, de la Nouvelle-Zélande et au nord-ouest de l'Amérique du Nord entre l'État de Washington et la province canadienne de Colombie-Britannique.
 - **Le climat tempéré continental** (classement de Köppen : nuances de la catégorie D), comme son nom l'indique, est éloigné des influences maritimes. Il en résulte une amplitude thermique bien plus marquée, entre la fournaise estivale et les températures négatives d'hiver (environ 25 °C de température moyenne en juillet contre -5 °C en janvier à Almaty au Kazakhstan). La surchauffe continentale pendant l'été creuse de fortes dépressions dans lesquelles l'air instable produit des orages de grande intensité pouvant dégénérer en tornades, en particulier dans les grandes plaines étasuniennes. La continentalité est aussi favorable à des sécheresses prononcées, en particulier sur les marges des zones arides. C'est le climat des grandes plaines nord-américaines à l'Est des Rocheuses, de l'Oklahoma jusqu'au Saskatchewan, mais aussi de l'Europe centrale et orientale, du bassin du Danube à l'Oural, sans oublier l'Asie centrale où la continentalité produit des déserts brûlants l'été et froids l'hiver (Gobi, entre la Chine et la Mongolie).
- **Les climats polaires** (cf. diagramme ombrothermique ; classement de Köppen : nuances de la catégorie E), enfin, sont associés à des températures négatives la majeure partie voire de l'année (9 mois sur 12 à Utqiagvik au nord de l'Alaska) et à des précipitations estivales modestes en raison de la faible évaporation :

on ne relève pas plus d'une centaine de mm de pluies annuelles à Utqiagvik. La saison estivale est brève et marquée par de fortes inondations produites par la fusion de l'épais manteau neigeux et des grands cours d'eau allogènes englacés. Lorsque la fonte survient plus tôt en amont qu'en aval, notamment parce que cette partie se situe dans un climat plus chaud, l'eau se retrouve bloquée par la partie aval toujours prise par les glaces. Ce phénomène, fréquent au Canada (Mackenzie) ou en Russie (Ob, Iénisseï, Léna) est responsable de débâcles spectaculaires lorsque les barrages de glace cèdent brutalement. Le sol y est en outre gelé et donc imperméable; lorsque le gel dure plus de deux ans consécutifs, on parle de **pergélisol**. Sa fonte superficielle est possible pendant quelques semaines l'été; en revanche, sa disparition définitive fait partie des signes associés aux changements climatiques actuels. On retrouve ce climat polaire à forte influence océanique au nord de l'Amérique et de l'Eurasie. Le cœur du Groenland et surtout de l'Antarctique sont caractérisés par des températures négatives toute l'année, descendant à plusieurs dizaines de degrés sous zéro et des précipitations inexistantes : c'est le désert polaire où les records de froid terrestre ont été enregistrés (près de -90 °C à Vostok en Antarctique).

B. Trame globale des formes végétales et principaux biomes

1) La biogéographie et l'étude des formes végétales

La trame climatique présentée ci-dessus sert de canevas général à la répartition des grands **biomes**. On rappelle que les ces derniers se définissent comme l'interaction régionale entre les composantes non-vivantes (biotope) et vivantes (biocénose) du milieu; les variations locales des biomes, liées par exemple à des conditions géologiques ou hydrologiques spécifiques, sont appelées les écosystèmes.

La **biogéographie** est traditionnellement la discipline qui s'intéresse à la répartition des êtres vivants et aux processus qui en caractérisent les fonctionnements et interactions. L'accent a été largement mis sur les **peuplements végétaux** qui ont été étudiés jusqu'à des échelles très fines. Les biogéographes ne sont pas des botanistes, mais ils en connaissent les savoirs qu'ils replacent dans des réflexions spatiales qui envisagent les relations avec les sociétés (évolution, dégradation, paysages...). Les formes végétales s'étudient de manière d'abord **surfactive**, horizontale : l'évolution de leur superficie et les relations avec les espaces qui les entourent sont étudiées – tout particulièrement dans le cas de la déforestation par exemple. Mais elles se

comprennent également de **manière verticale ou stratifiée**. **Trois strates végétales** fondamentales sont définies : la strate herbacée, la strate arbus-tive et la strate arborée. Ces différents étages jouent un rôle prépondérant dans les équilibres dynamiques d'un peuplement végétal, puisque certaines essences peu friandes d'exposition directe au soleil se développent mieux à l'ombre de végétaux plus hauts. C'est le cas par exemple des cacaoyers ou des cafetiers dont les plantations prennent souvent l'aspect de sous-bois abrités par de hauts arbres à la **canopée** protectrice.

2) La répartition des grands biomes planétaires

La trame végétale du globe est étroitement corrélée à la répartition des climats présentée précédemment, les biocénoses végétales étant adaptées à l'ensoleillement et aux apports en eau de la région. On distingue plusieurs formations fondamentales qui constituent la base des grands biomes terrestres : les forêts tropicales et tempérées, les savanes, les prairies, les toundras, qui se définissent en fonction des essences qui les composent et de la densité du couvert végétal.

- **Le biome « forêt tropicale »** s'étend sur l'ensemble de la zone équatoriale et sur les espaces tropicaux les plus humides, là où la saison sèche ne dépasse pas les trois ou quatre mois par an. Les définitions de la forêt sont multiples et établies en fonction de critères de superficie, de densité, de hauteur des arbres, parfois aussi d'usages et de biodiversité. Les seuils varient selon les États mais la FAO (*Food and Agriculture Organization*) en propose une synthèse générale autour des valeurs suivantes : une superficie supérieure à 0,5 hectare (soit 5 000 m²), une densité du couvert végétal d'au moins 10 %, une hauteur des arbres à maturité devant dépasser les 5 m et l'absence de toute fonction agricole prédominante, ce qui exclut de cette typologie les vergers ou encore les plantations de palmiers à huile. Les forêts tropicales se caractérisent par leurs dimensions exceptionnelles et leur très **riche biodiversité**. L'écosystème ombrophile, en particulier, regroupe les grandes forêts pluviales de l'Amazonie, de l'Afrique équatoriale ainsi que des îles malaisiennes et indonésiennes. Les arbres y sont sempervirents (ils ne perdent pas leur feuille) et atteignent des hauteurs dépassant souvent les 50 mètres. Leurs houppiers jointifs forment une **canopée** quasi-continue qui héberge l'essentiel des animaux (oiseaux, reptiles et primates) et qui absorbe le rayonnement solaire qui n'arrive qu'en petite quantité à la surface de la forêt où l'ombre domine dans une atmosphère étouffante. La croissance des jeunes pousses est ainsi rendue difficile en raison du manque de lumière et les sous-bois sont peu présents. Lorsqu'un ou plusieurs arbres tombent (on parle de « chablis »), ils créent des trouées dans la canopée qui amène la lumière nécessaire pour les nouveaux végétaux.

La compétition entre les espèces pionnières y est rude et la clairière est vite refermée : la sylvigénèse est ainsi rapide, en raison d'une activité et d'une richesse biologique intense. La productivité en tonnes/hectares/an de la forêt ombrophile est 20 fois supérieur à celle de la savane par exemple. À mesure que l'on se rapproche des zones tropicales moins humides, les écosystèmes forestiers changent. La densité diminue en même temps que la taille des arbres dont certains, désormais, perdent leur feuillage pendant la saison sèche. On parle de **forêt tropophile**, à la canopée non-jointive autorisant la croissance de sous-bois souvent abondants, qui donnent une impression parfois impénétrable à ces forêts plus sèches.

- **La savane** désigne l'écosystème typique des régions à climat tropical aux saisons bien différenciées, avec une sécheresse longue. Il s'agit d'un biome où prédominent les formations de la strate herbacée, avec des bosquets d'arbustes ligneux ou d'arbres épars. À mesure que l'on s'éloigne des zones humides, les forêts tropophiles s'éclaircissent : les arbres s'apétissent et les forêts sont remplacées par des sous-bois épineux comme dans la caatinga brésilienne ou le bush australien. Cet espace de transition entre forêt et savane, plus ou moins vaste, s'appelle un écotone. La savane elle-même n'est pas un biome uniforme. Elle compte de multiples écosystèmes depuis les plus humides (savane arborée, qui ressemble très fortement aux forêts tropophiles) aux plus sèches (savane steppique, à l'herbe rase et à l'aridité prononcée). À la différence des forêts tropicales où la vie suit les strates végétales, les savanes sont des écosystèmes ouverts qui s'organisent horizontalement. Les grands herbivores sont organisés en troupeaux qui suivent les pluies apportées par le déplacement de la ZCIT, poursuivis par des carnivores et des nécrophages.
- Les régions subtropicales associées au **climat « chinois »** ou « **méditerranéen** » affichent des biomes différents. La forêt subtropicale s'étend au sud de la Chine et jusqu'à Honshu au Japon, ainsi que sur la côte orientale des États-Unis, de la Géorgie à la Virginie. On y retrouve des ambiances tropicales avec des forêts assez denses d'essences sempervirentes comme les magnolias et de nombreuses espèces de lauriers ou, en Asie de l'Est, de bambous favorisés par l'importance des précipitations annuelles, tout particulièrement estivales. En revanche, le biome méditerranéen présente des associations végétales très différentes. La sécheresse estivale voire la semi-aridité de certains bassins intérieurs a conduit à des adaptations spécifiques. Les arbres, souvent sempervirents comme le chêne vert ou l'olivier, sont plus petits et portent des feuilles indurées d'un vert assez terne qui a donné son nom à ce biome que l'on appelle souvent « **sclérophylle** ». Les écosystèmes qui se développent sur des substrats calcaires secs sont caractérisés par

une faible présence de grands ligneux, au profit de formations arbustives et herbacées prédominantes mais non couvrantes, laissant souvent apparaître la roche affleurante, dont la blancheur reflète l'éclat du soleil. C'est **la garrigue** que l'on retrouve sur l'ensemble des chaînons calcaires provençaux, dans l'arrière-pays de Barcelone, dans les Pouilles et dans le Péloponnèse, mais aussi dans les îles italiennes et grecques. En revanche, les écosystèmes sclérophylles sur substrat magmatique donnent des formations forestières plus denses appelées « **maquis** » : les roches métamorphiques des Maures ou les porphyres roux de l'Estérel en sont couverts, tout comme la montagne corse ou les basses pentes des volcans italiens. Quant aux forêts plus ou moins dégradées par des millénaires de surpâturages et d'incendies que l'on retrouve de l'Espagne jusqu'à la Turquie et aux plaines du Maghreb, ainsi que sur le littoral californien sont souvent réunies sous le terme de « **matorral** ».

Q ZOOM • Exemple

Dans les zones sèches ou arides : l'adaptation au manque d'eau

Les zones les plus sèches voire arides, affichent, elles, des écosystèmes aux formes végétales herbacées éparses sur des sols peu développés. Il s'agit de végétaux xérophiles, c'est-à-dire adaptés à la sécheresse comme les cactus par exemple qui s'observent au Chili, en Californie ainsi qu'au Sud et à l'Est du bassin méditerranéen. L'ensemble des écosystèmes sclérophylles est également adapté au feu qui constitue une menace régulière pendant les mois secs de l'été, surtout lorsque soufflent des vents secs comme le mistral. Certaines essences de conifères comme le pin d'Alep produisent des cônes qui ne libèrent leurs graines que s'ils sont exposés à de fortes températures ; d'autres comme les chênes-lièges sont protégés par des troncs épais. On parle de végétation pyrophile.

- Les climats tempérés continentaux sont associés à la prairie, un autre biome largement herbacé. Les étés brûlants, les hivers glaciaux et la sécheresse limitent la présence des arbres. Les **prairies** poussent sur des sols noirs réputés pour leurs qualités agronomiques, les *chernozem*, qui sont aujourd'hui mis en valeur pour l'agriculture céréalière dans le cœur des États-Unis et du Canada ainsi qu'en Europe centrale et orientale, jusqu'à la Russie. Ces sols sont

caractérisés par une importante couche organique de couleur noire, l'humus. Les franges les plus sèches des prairies, au cœur des masses continentales, prennent la forme d'une steppe où l'herbe est plus rase encore.

- La **forêt tempérée**, elle, est associée au climat tempéré océanique (Amérique du Nord-Ouest et du Nord-Est, Europe occidentale, Japon septentrional, Nouvelle-Zélande). La végétation y est majoritairement composée d'essences feuillues caducifoliées marquées par un cycle phénologique clair : les arbres perdent leurs feuilles en hiver. Les essences traditionnelles associent le hêtre, le chêne, le châtaignier et le charme. La productivité de sa biomasse est en moyenne deux fois inférieure à celle des forêts ombrophiles, avec de grandes disparités selon les massifs forestiers. Les grands carnivores ont été éliminés des forêts européennes entre le XIX^e et le XX^e siècle. Ces dernières ont été largement replantées depuis les dernières du XIX^e siècle, mais le souci de reformer leurs écosystèmes en réintroduisant les carnivores autrefois chassés comme les loups ne date que des dernières années du XX^e siècle. La faune sauvage est en revanche plus présente dans les grandes forêts d'Europe orientale et surtout d'Amérique du Nord où l'anthropisation a été moins longue qu'en Europe.
- La **taïga**, ou **forêt boréale**, occupe ensuite le nord de l'Amérique et de l'Eurasie. Ces vastes peuplements forestiers de conifères sont marqués par la présence du froid pendant une longue partie de l'année. Si l'enneigement y dure plusieurs mois, les mois plus chauds dépassant une température moyenne de 10 °C autorisent la présence de la forêt. La saison estivale est caractérisée par la grande présence de l'eau liquide, issue de la fonte des neiges et des grandes débâcles fluviales. Le sol y est gelé de manière sporadique. La croissance des forêts y est donc lente et la biomasse ne dépasse guère les 100 à 300 t/ha, contre 400 et plus dans les autres forêts. Elle est deux fois inférieure à la forêt tempérée et jusqu'à 4 fois inférieure aux forêts ombrophiles. Cela n'empêche pas une certaine biodiversité d'y prospérer, en particulier parce que la forêt fournit de nombreux abris pour de petits mammifères, aux côtés desquels on retrouve de plus grands herbivores migrants (cervidés tels que les wapitis ou les élans) et leurs prédateurs (loups, ours) qui viennent s'y alimenter l'été.
- Le dernier grand biome terrestre est celui des écosystèmes de la **toundra**, dans l'extrémité septentrionale des grands continents de l'hémisphère nord, sur les pourtours de l'océan Arctique. L'influence du froid y est encore plus sensible que dans la taïga puisque les températures y sont négatives la majeure partie de l'année. On est désormais hors de la zone de croissance des arbres ; les biocénoses de la toundra sont d'abord constituées d'une pelouse associée à de nombreuses mousses et lichens, ainsi qu'à des bouleaux et des fougères. Le printemps et l'automne y sont très brefs, l'été lui aussi fugace voit les

paysages végétaux se teinter des couleurs vives. L'hiver, qui dure plus de la moitié de l'année, recouvre d'un épais manteau neigeux la toundra. Le sol, lui, est gelé en permanence (**pergélisol**).

De cette présentation simplifiée des grands biomes terrestres, on retiendra les éléments suivants :

- à la zonalité du climat répond la zonalité des biomes ;
- les principaux biomes sont schématiquement organisés en grandes bandes latitudinales, régionalement perturbées par les façades maritimes et la continentalité ;
- les écosystèmes correspondent aux variations loco-régionales des biomes auxquels ils appartiennent ;
- un versant de montagne peut présenter plusieurs de ces biomes en raison de l'étagement bioclimatique (→ *partie sur les températures*). Il existe donc des **biomes et écosystèmes azonaux**, par exemple les pelouses d'altitude froides (*puña*) dans les plateaux d'altitude des Andes tropicales.

C. Le fonctionnement des écosystèmes

1) Les écosystèmes : des interactions complexes

Mais l'étude des écosystèmes ne se réduit pas aux seuls végétaux, elle comprend aussi les sols et les relations qui les associent aux animaux. On appelle « **sol** » l'interface entre la lithosphère et l'atmosphère. Il s'agit d'une zone de transition plus ou moins épaisse entre des couches essentiellement minérales en profondeur, là où la lithosphère commence à se dégrader en gros fragments sous l'effet conjugué de l'eau et des végétaux, et des couches superficielles essentiellement organiques formées par la décomposition des êtres vivants. Ces différentes parties s'appellent des **horizons**. Schématiquement, l'horizon O désigne la litière forestière et la couche superficielle d'humus ; ensuite, les horizons A, B et C sont composés d'une quantité croissante de matière minérale. L'épaisseur des sols varie donc considérablement en fonction de la nature du substrat rocheux aussi bien que du couvert végétal. Enfin, de nombreux animaux, notamment des insectes et surtout des vers, participent à la bonne santé des sols en favorisant la décomposition des êtres vivants de la litière et en contribuant à mélanger les débris organiques aux matières minérales. Ce processus, appelé **bioturbation**, reflète la complexité des interactions étroites qui associent les éléments de la biocénose (végétaux, animaux) aux composantes du biotope (eau, roche, température...).