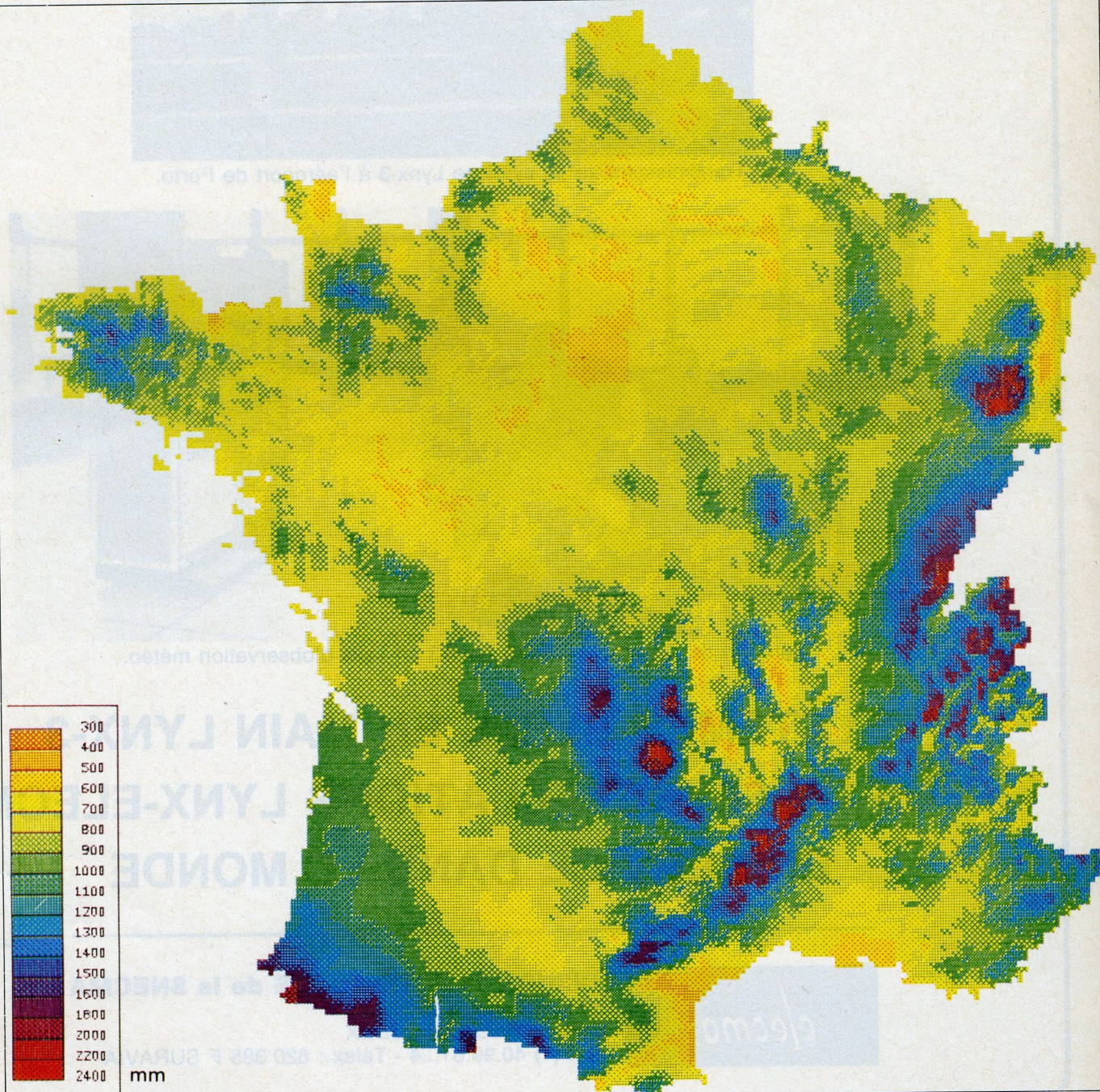


LES CLIMATS DE LA FRANCE

par Emmanuel Choisnel et Denis Payen

Notre « Douce France » est bien connue pour sa clémence. A l'abri des invasions d'air froid en provenance de l'Arctique, balayée par des vents dominants d'ouest chargés d'humidité, la France métropolitaine présente une position géographique tout à fait privilégiée. Charme essentiel, la profusion et la variété des climats régionaux en font une terre de contrastes où l'œil ne se heurte jamais à la monotonie. Bien plus, chaque relief, chaque type d'exposition au Soleil ou la proximité de la mer entraînent des nuances importantes du climat régional. Raffinement suprême, le type de sol, la densité ou la rugosité de la couverture végétale, la présence de bâtiments... délimitent des microclimats à l'échelle de la parcelle agricole ou d'une tour en région urbaine. C'est dire la complexité inouïe de l'étude climatologique d'un pays où il existe une telle multitude de microclimats.



Le début des observations météorologiques standardisées effectuées par les services nationaux date de la création de la première Organisation météorologique internationale en 1873. Un siècle d'observations a permis de définir les climats de notre pays dont la très grande diversité participe au charme de notre « Douce France ». Ainsi en choisissant des séries d'observations de trente ans, la période de référence actuelle étant la série des années 1951 à 1980, on obtient un échantillon d'observations suffisant pour décrire le climat d'un lieu. Par rapport aux grands types de climats de la Terre (tropical humide, désertique, tempéré, sub-arctique et polaire) la France occupe une position particulière par sa localisation géographique. D'une part dans la tranche de latitude 40° N-50° N, elle est dans une zone privilégiée de circulation des perturbations atmosphériques avec prédominance de vents d'ouest apportant un air humide sur la France. D'autre part sa position sur la façade ouest du continent euro-asiatique la prémunit d'invasions directes d'air en provenance de l'Arctique, sachant que les trajets de ces invasions froides se situent préférentiellement sur les façades est des continents (cas de la côte est des Etats-Unis, des côtes de la Chine du nord et du Japon). Ainsi la France offre-t-elle une grande variété de climats régionaux.

Le climat moyen: une succession de « types de temps ».

Qu'entend-on par climat? On y inclut ce qu'on appelle le climat moyen, c'est-à-dire l'ensemble des conditions caractérisant l'état moyen de l'atmosphère en un lieu ou une région donnée et la variabilité autour de cet état moyen. La moyenne des données dans le temps permet de passer du domaine de la météorologie au jour le jour à une analyse dans le temps et l'espace de ces données, c'est là le but de la climatologie. Une première constata-

tion dans l'étude du climat moyen est l'existence d'un cycle annuel des variables climatiques, cycle régulier de type sinusoïdal pour la température de l'air avec un minimum vers le 10 janvier et un maximum vers le 31 juillet, mais cycle irrégulier pour la pluviométrie (appelé « régime pluviométrique »).

L'origine de ce cycle annuel provient de la variation importante au cours de l'année de l'énergie solaire reçue par l'atmosphère et le sol aux latitudes dites « moyennes » ou « tempérées » et comprises entre les trentième et soixantième parallèles, où se situent précisément la France et l'Europe. Ce cycle annuel se traduit également par la succession des saisons.

La notion de climat moyen ne doit pas masquer le fait que le climat résulte en fait de la succession de « types de temps ». Les mouvements atmosphériques à l'échelle de l'hémisphère nord obéissent à des lois reliant notamment la structure du champ de vent à la structure du champ de pression, et cette organisation à grande échelle des mouvements s'appelle la circulation générale. Chaque type de temps correspond à une configuration particulière de cette circulation générale. La caractérisation d'un type de temps concernant le territoire français nécessite la connaissance des champs de pression, de vent et de température sur la majeure partie de l'Atlantique nord, sur l'Europe occidentale et centrale et même sur une partie de l'Afrique. Cette circulation générale se traduit par le déplacement de masses d'air ayant acquis, au cours de leur formation dans une zone de hautes pressions dite anticyclonique, des caractéristiques particulières de température et d'humidité.

Suivant son origine géographique et les modifications qu'elle subit au cours de son déplacement (trajet maritime ou continental, échanges de chaleur et de vapeur d'eau avec le sol ou l'océan), la masse d'air arrivant sur tout ou partie du territoire français aura une température et une hygrométrie particulières. D'autre part suivant sa couverture nuageuse, son contenu en vapeur d'eau et l'importance du processus de soulèvement qu'elle subit notamment sur le relief, elle engendrera un bilan radiatif particulier de la surface du sol et engendrera ou non des précipitations plus ou moins importantes sur le territoire qu'elle traverse. La combinaison entre la circulation générale et les effets saisonniers induit les caractères du climat suivant la fréquence, voire la persistance, de tel ou tel type de temps en une région donnée. A cet égard, les contrastes les plus grands entre types de temps se retrouvent en France selon un axe sud-ouest-nord-est et particulière-

ment en hiver. Par exemple, une masse d'air provenant du nord-est, issue de l'anticyclone sibérien, sera très froide et très sèche et son arrivée sera associée à une vague de froid tandis qu'une masse d'air provenant du sud-ouest sera chaude et humide et sera à son arrivée sur la France associée à un radoucissement notable.

Un aspect important de l'interaction entre la circulation générale et le relief est le déclenchement dans certaines situations météorologiques de vents régionaux, canalisés par le relief. Les trois principaux vents régionaux en France sont le Mistral, la Tramontane et l'Autan. Leur répétition fréquente influence notablement le climat des régions concernées, du moins aux époques de l'année où ils sont les plus fréquents.

Climat régional, topoclimat, microclimat.

Les quatre principaux facteurs du climat, permettant de différencier entre elles les régions françaises, sont: la latitude qui détermine en partie l'apport d'énergie solaire au sol (« climat radiatif »), la distance à l'océan (continentalité), la position de la région par rapport aux grands massifs montagneux qui a des conséquences principalement sur le niveau et le régime des précipitations, enfin l'altitude moyenne de la région déterminant principalement le régime thermométrique, du fait de la variation de la température avec l'altitude. La hiérarchisation des facteurs du climat conduit à raisonner suivant un système d'échelles d'espace imbriquées: climat régional, topoclimat et microclimat, auxquelles on peut associer, en région de plaine, des distances caractéristiques, respectivement de cent kilomètres, dix kilomètres et cent mètres. Dans la description du climat d'un lieu, on cherche d'abord les caractéristiques du climat régional puis celles du topoclimat et en dernier lieu les caractères particuliers de son microclimat.

Au niveau du topoclimat caractérisé par une échelle de l'ordre de la dizaine de kilomètres en plaine, les facteurs d'influence sont liés à la topographie, laquelle induit des écoulements particuliers de l'air appelés « brises » qui varient beaucoup au cours de la journée et qui sont dues à des contrastes de température, par exemple le long d'une pente ou d'une vallée, au voisinage d'un lac ou en bord de mer. Au niveau du microclimat peuvent intervenir une protection particulière vis-à-vis du vent (haies, réseau de brise-vent, lisière de forêt), des effets d'ombres portées très fréquents en montagne, voire des écarts thermiques entre parcelles agricoles liés à des différences de types de sol ou de couverture végétale.

Emmanuel Choissnel et Denis Payen, anciens élèves de l'Ecole polytechnique, sont ingénieurs en chef de la météorologie et responsables du service d'agrométéorologie de la Météorologie nationale.

Figure 1. Le principe du zonage climatique régional est de regrouper des stations ayant des valeurs proches pour les moyennes saisonnières ou annuelles des principales variables climatiques retenues. La zone déterminée est alors supposée homogène du point de vue climatique. Une étape préliminaire consiste à cartographier les variables quantitatives individuellement. Cette figure représente un exemple de cartographie automatique utilisée par la Météorologie nationale. Elle concerne les normales annuelles de précipitations mesurées en millimètres et enregistrées par un réseau dense de mille trois cent cinquante postes pluviométriques. Ces données tiennent compte de l'influence du relief grâce à la méthode AURELHY. Cette méthode de cartographie automatique est un outil précieux qui permet de reconstituer des données là où le réseau climatique fait malheureusement défaut. (© Météorologie nationale)

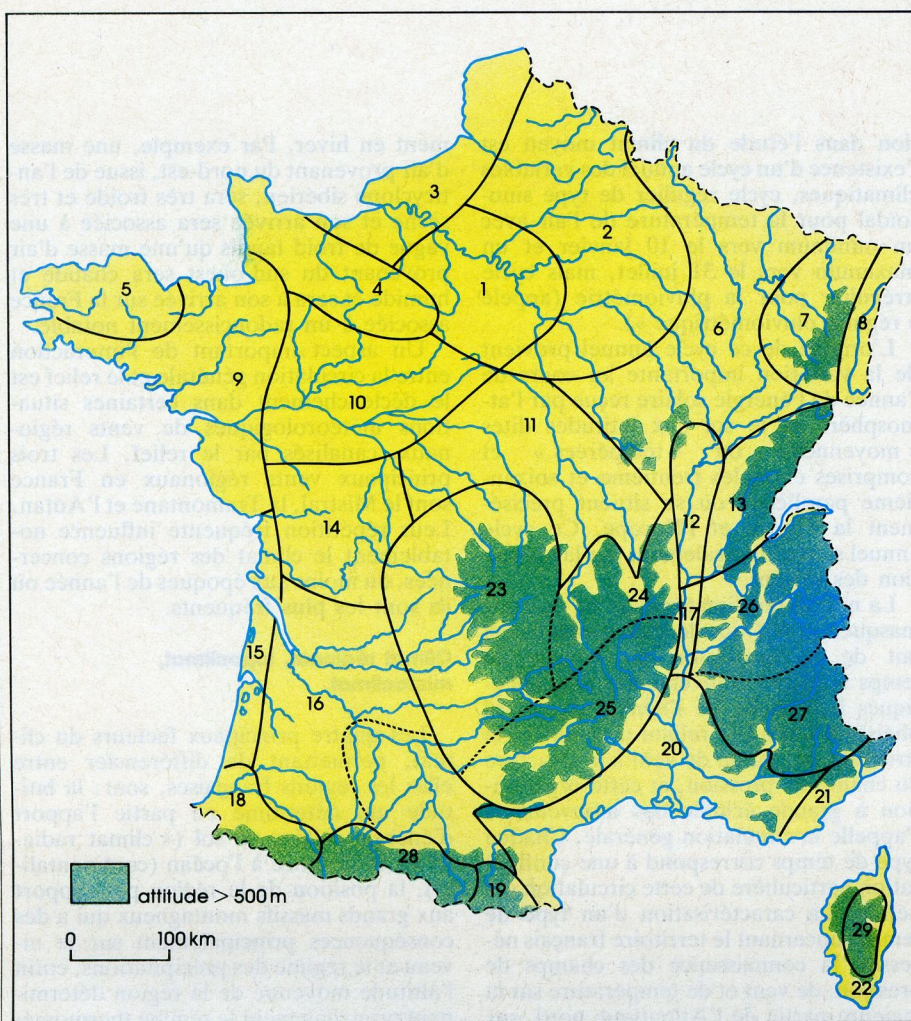


Figure 2. Le découpage climatique de la France à l'échelle régionale se traduit par la distinction de climats de plaine et de pourtours montagneux numérotés de 1 à 23 et de climats exclusivement montagneux numérotés de 24 à 29. Cette carte rassemble l'ensemble des climats régionaux. Certaines de ces zones comprennent à la fois des zones de basse altitude et des zones de moyenne montagne (altitude supérieure à 500 mètres) ayant des caractères climatiques communs : c'est le cas des zones 7 (Vosges), 13 (Jura), 18 (Pyrénées-Occidentales), 19 (Pyrénées-Orientales), 21 (Var, Alpes-Maritimes) et 23 (ouest du Massif central). Le découpage classique des Alpes (nord et sud) peut également être affiné.

Il existe actuellement en France un poste de mesures pluviométriques tous les quinze kilomètres environ et un poste de mesures thermométriques tous les trente kilomètres environ. Cette densité d'implantation permet de se rapprocher de l'échelle du topoclimat et de réaliser des études climatologiques fines notamment pour les besoins du milieu agricole.

Pour une description plus complète des climats (température, humidité, vent, insolation, précipitations), il faut se limiter actuellement au réseau synoptique permanent de la Météorologie nationale, c'est-à-dire cent trente-huit stations donc au moins une par département et trente-huit sémaphores tenus par la Marine, dont la maille est de l'ordre de soixante kilomètres et qui est complété dans certaines régions comme le Sud-Ouest ou la Bretagne par des réseaux de mesures météorologiques automatisées (maille de vingt-cinq à trente kilomètres).

La description quantitative du climat

s'appuie essentiellement sur cinq variables principales : la durée d'insolation, la hauteur des précipitations, la température de l'air, la vitesse du vent et l'humidité de l'air. Secondairement les fréquences d'orages, de brouillards et de chutes de neige complètent cette caractérisation. On étudie dans un premier temps les valeurs moyennes de ces paramètres climatiques dans leur variabilité spatiale par la cartographie. Les moyennes sont effectuées saison par saison et pour l'année.

Quatre caractères principaux se dégagent, qui ont servi aux premières classifications. Le caractère « océanique », que l'on retrouve sur toute la façade ouest du pays et particulièrement en Bretagne, correspond à une pluviométrie abondante (moyenne annuelle supérieure à huit cents millimètres), maximale en automne-hiver (mois le plus pluvieux : novembre) et minimale en été (mois le plus sec : juillet), ainsi qu'un hiver doux (température moyenne de l'air : 6 °C). Le

caractère « océanique altéré » correspond à une pluviométrie qui reste modérée en plaine (moyenne annuelle : six cents à sept cents millimètres) et régulièrement répartie au cours de l'année, et des températures moyennes hivernales un peu plus basses que dans le cas précédent (3 à 4 °C). En été, les températures sont plus élevées à même latitude que dans le cas « océanique ». Il concerne environ un tiers du territoire français. Le caractère « à tendance continentale » concerne la bordure est du pays, des Ardennes à la Lorraine, l'Alsace, la Bourgogne et le Lyonnais. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de sept cents à huit cents millimètres (Alsace exceptée), avec un léger maximum en été lié à la fréquence des précipitations à caractère orageux. L'hiver est rude (1 à 2 °C en plaine en moyenne), l'été est chaud (18 °C en juillet-août). Le véritable « climat continental » rencontré en Europe centrale n'existe pas en France. Enfin, le caractère « méditerranéen » délimité géographiquement par une ceinture montagneuse allant des Pyrénées-Orientales aux Alpes-Maritimes offre de nombreux contrastes par rapport aux trois précédents : très bon ensoleillement (plus de deux mille cinq cents heures par an en moyenne), pluviométrie minimale en été (10 % du total annuel) et maximale en automne (30 % et plus du total annuel). L'hiver est doux (7 à 9 °C) mais les séquences de Mistral et de Tramontane peuvent occasionner de brusques refroidissements, et l'été est chaud (21 à 24 °C en juillet-août).

Afin de préciser le découpage climatique de la France, nous présentons tout d'abord la délimitation et la description des climats régionaux, ce qui permettra de faire apparaître le facteur « latitude ». Le principe du zonage climatique régional est de regrouper des stations ayant des valeurs proches, pour les moyennes saisonnières ou annuelles, des principales

1 LES SAISONS MÉTÉOROLOGIQUES

Les « saisons météorologiques » se définissent selon un découpage de l'année différent de celui du calendrier. Tout en gardant le principe de quatre saisons d'égale durée, il existe un décalage systématique de l'ordre de trois semaines entre la date moyenne du minimum thermométrique annuel (10 janvier) et la date du solstice d'hiver (21 décembre) qui correspond au minimum d'énergie solaire reçue par le système terre-atmosphère, ce que l'on peut appeler l'inertie thermique du système. De plus, il est préférable de centrer la saison « hiver » sur la date du minimum au lieu de la faire débuter à la date du minimum comme c'est le cas pour le calendrier à base astronomique. On peut ainsi définir les saisons par le regroupement de trois mois entiers, ce qui donne le découpage suivant : hiver = décembre + janvier + février ; printemps = mars + avril + mai ; été = juin + juillet + août ; automne = septembre + octobre + novembre.

variables climatiques retenues en une même zone supposée ainsi homogène du point de vue climatique. Cette homogénéité est relative à l'échelle du climat régional (environ cent kilomètres). A contrario tout axe perpendiculaire à une limite de zone constitue un axe de gradient pour une ou plusieurs des variables climatiques considérées. Une étape préliminaire consiste à cartographier les variables quantitatives individuellement, puis à identifier les zones de gradient. Les méthodes de cartographie automatique utilisées par la Météorologie nationale (fig. 1) pour la reconstitution des champs pluviométriques par une prise en compte objective du relief permettent l'utilisation d'un réseau dense (mille trois cent cinquante postes pluviométriques) et constituent un outil précieux.

Certains aspects du zonage climatique régional vont bien entendu se recouper avec des limites géologiques naturelles à grande échelle, c'est le cas par exemple pour la limite est du Bassin parisien et pour les pourtours montagneux. Les météorologues proposent ainsi un découpage du territoire français métropolitain en climats régionaux de plaine et de pourtours montagneux numérotés de 1 à 23 et en zones exclusivement montagneuses, numérotées de 24 à 29 (fig. 2).

Une description plus détaillée nécessite soit une représentation cartographique en couleur pour chaque variable climatique, soit dans une optique de simplification l'examen de données relatives à un nombre limité de stations types choisies dans chacune des zones.

L'étude des régimes pluviométriques offre un intérêt particulier, d'une part parce que ce n'est pas un cycle annuel régulier comme celui de la température, d'autre part parce que sa forme constitue une des « signatures » du climat régional indépendamment du total des précipitations reçues. Les lames d'eau reçues en moyenne annuelle sur le territoire français varient d'environ cinq cents millimètres à plus de deux mille millimètres. En région de plaine, les zones de minimum se situent au-dessous de six cents millimètres ; elles se situent dans le sud-ouest du Bassin parisien (Beauce), en Alsace, en Limagne, en Haute-Loire, dans le delta du Rhône, la vallée de l'Aude et la vallée de la Têt (Pyrénées-Orientales). Les zones de maximum correspondent à des valeurs supérieures au seuil de huit cents millimètres, ce sont : la pointe de Bretagne, les collines de Basse-Normandie et le long des côtes de la Manche jusqu'à Calais, la bordure nord-ouest du Massif central (Limousin) et les côtes de Meuse. Les zones montagneuses, plus arrosées, ont des pluviométries supérieures à mille millimètres par an, et jusqu'à deux mille millimètres ou plus dans le sud des Vosges, les monts du Cantal, les Cévennes et en Grande-Chartreuse (Isère). Les zones de pluviométrie inférieures à huit cents millimètres en mon-

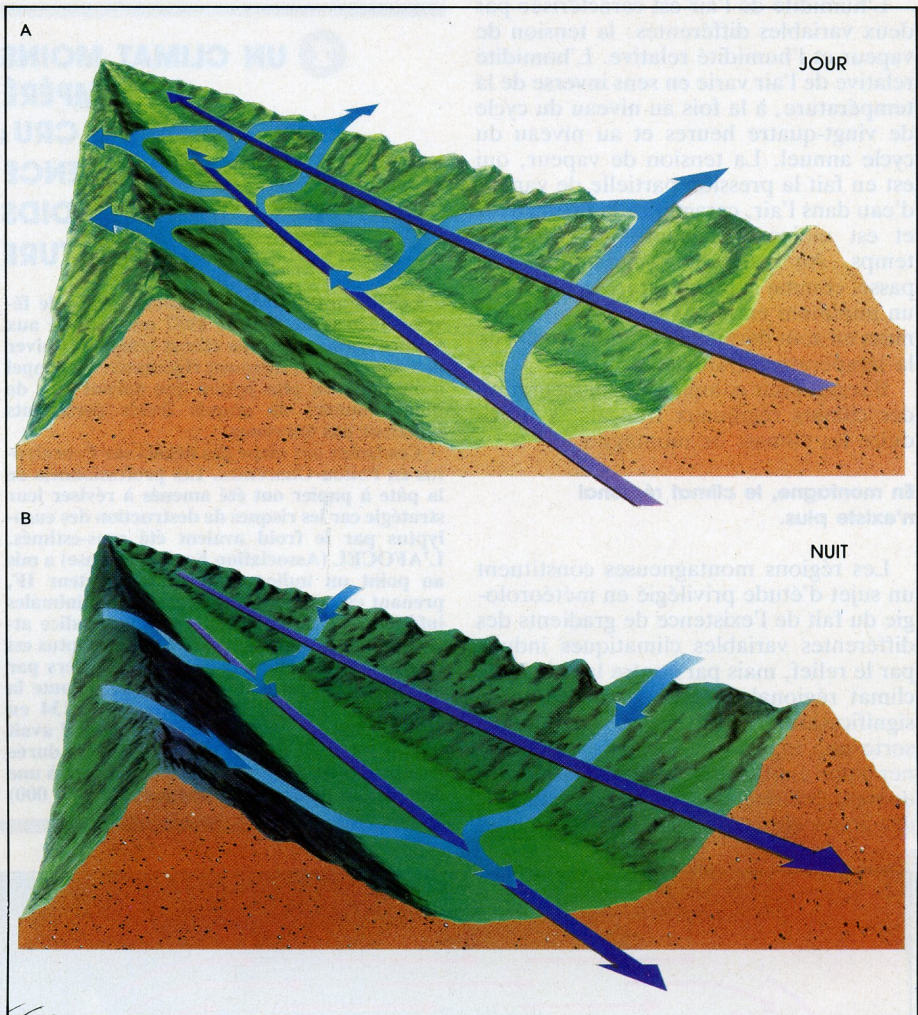


Figure 3. Les topoclimats caractérisés par une échelle de l'ordre de la dizaine de kilomètres en plaine et de l'ordre du kilomètre en montagne sont principalement déterminés par la topographie. Celle-ci induit des écoulements particuliers de l'air appelés « brises » qui varient beaucoup au cours de la journée et qui sont dus à des contrastes de température. C'est par exemple le cas le long d'une pente ou d'une vallée. Cette figure illustre ce cas de brise de pente et de brise de vallée de jour et de nuit. En effet en montagne, l'ensoleillement des versants engendre une brise de pente ascendante (flèches en bleu clair) laquelle se combine ensuite à une brise de vallée ascendante (flèches en bleu foncé) schéma A). Ce processus s'inverse au cours de la nuit (schéma B).

tagne correspondent à des situations de protection exercée par le relief vis-à-vis des perturbations pluvio-neigeuses, ce que l'on rencontre par exemple dans le Briançonnais et le Queyras ainsi qu'en Cerdagne (Pyrénées-Orientales).

Le régime des températures est marqué en toutes régions par un minimum en janvier et un maximum en juillet. Pour la température, il se superpose une décroissance systématique avec l'altitude. Le gradient vertical de température varie selon le mois de l'année mais il est en moyenne de $-0,55^{\circ}\text{C}$ par cent mètres de dénivellation. En janvier la température moyenne est en plaine de 1°C en Alsace, 8°C à Biarritz et 9°C à Toulon. De façon générale, elle décroît en hiver avec la distance à l'océan, donc suivant un gradient ouest-est sur la majeure partie de la France, pourtour méditerranéen excepté. En juillet, elle est de 16°C en Bretagne nord et de 23°C en bordure de la Méditerranée. La durée d'insolation

(nombre d'heures avec soleil apparent) varie avant tout en fonction de la latitude. On observe une moyenne annuelle allant de mille six cents heures dans le nord de la France à deux mille huit cents heures le long des côtes provençales.

La vitesse du vent dépend étroitement de sa hauteur de mesure et de l'environnement de cette mesure. Mesurée dans les stations météorologiques à dix mètres au-dessus du sol et en un lieu dégagé (aérodrome), sa valeur moyenne annuelle dépasse cinq mètres par seconde en bord de mer le long des côtes de la Manche qui sont les plus ventées. Elle décroît dans les plaines de l'intérieur jusqu'à trois à quatre mètres par seconde, la zone la moins ventée se situant entre Pau et Dax avec deux mètres par seconde, du fait de la proximité des Pyrénées et de la forêt des Landes. Elle réaugmente sur les reliefs. Le vent est en fait une variable extrêmement changeante à faible échelle de temps.

L'humidité de l'air est caractérisée par deux variables différentes: la tension de vapeur et l'humidité relative. L'humidité relative de l'air varie en sens inverse de la température, à la fois au niveau du cycle de vingt-quatre heures et au niveau du cycle annuel. La tension de vapeur, qui est en fait la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air, caractérise la masse d'air et est moins changeante au cours du temps. Au cours du cycle annuel elle passe, comme la température de l'air, par un minimum en janvier, et par un maximum en août décalé par rapport à celui de la température (juillet).

Il reste, pour compléter la présentation des climats régionaux français, à introduire les climats de montagne.

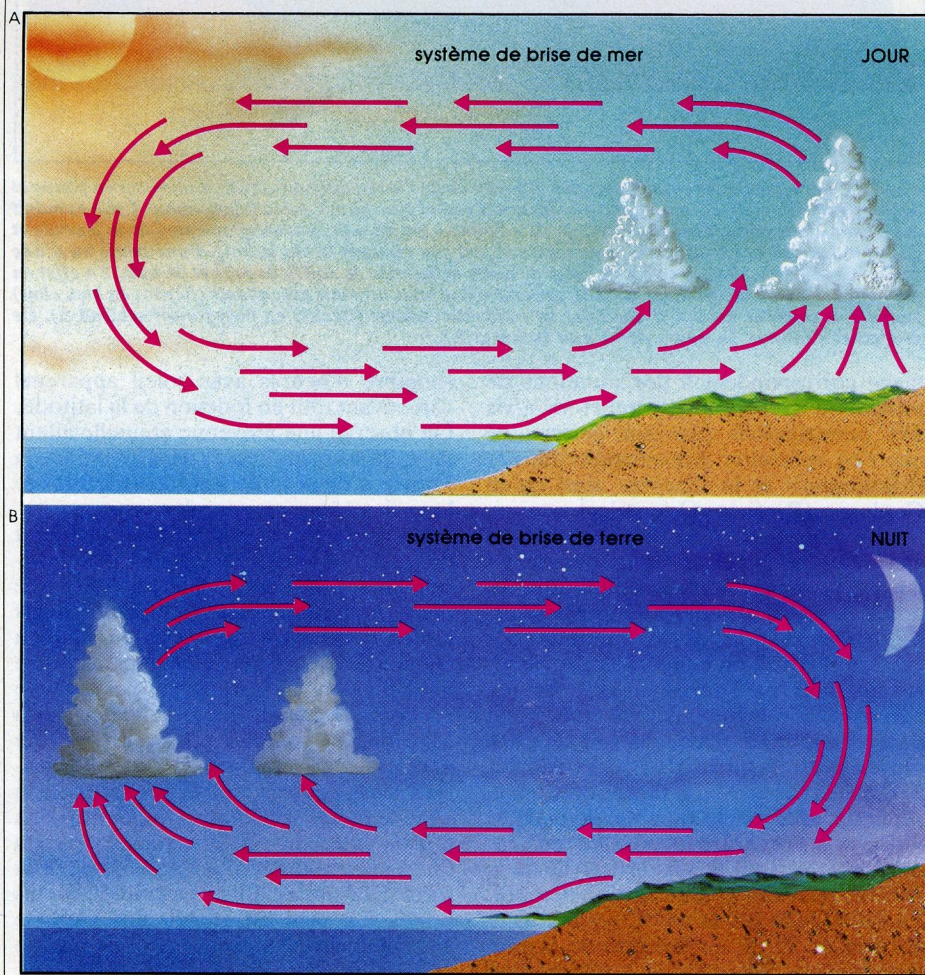
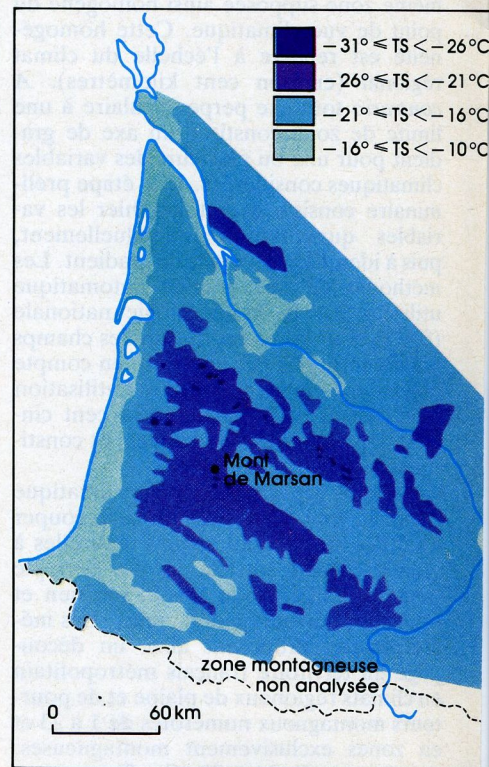
En montagne, le climat régional n'existe plus.

Les régions montagneuses constituent un sujet d'étude privilégié en météorologie du fait de l'existence de gradients des différentes variables climatiques induits par le relief, mais par contre la notion de climat régional y perd de ce fait toute signification. Il faut opérer en quelque sorte une régression d'échelle et raisonner à une échelle sub-régionale de l'ordre de trente kilomètres, pour pouvoir définir des zones climatiques au sein desquelles

2 UN CLIMAT MOINS TEMPÉRÉ QU'ON NE L'A CRU: FRÉQUENCE DES GRANDS FROIDS ET SYLVICULTURE

Les vagues de froid de janvier 1985, de février 1986 et de janvier 1987 ont rappelé aux Français que, même en climat tempéré, l'hiver pouvait être extrêmement rigoureux. Ce rappel a été d'autant plus brutal que durant plus de quinze années de grands froids persistants n'étaient pas survenus.

Ces froids ont causé des dégâts sur l'eucalyptus en Poitou-Charentes. Les professionnels de la pâte à papier ont été amenés à réviser leur stratégie car les risques de destruction des eucalyptus par le froid avaient été sous-estimés. L'AFOCEL (Association Forêt-Cellulose) a mis au point un indice de froid destructeur IF, prenant en compte les températures minimales inférieures à -10°C . Lorsque cet indice atteint mille, le taux de survie de l'eucalyptus est quasiment nul. Dans la région de Poitiers par exemple, cet indice IF est nul durant toute la période 1971-1984; il s'est élevé à 1 134 en 1985, à 325 en 1986 et à 697 en 1987, il avait atteint 1 197 en 1956 et 977 en 1963. La durée de retour d'un phénomène correspondant à une destruction totale des plantations (IF = 1 000)



on retrouve un ou des caractères communs. La température diminue avec l'altitude de façon régulière et ne peut donc constituer un critère, tandis que la pluviométrie, bien qu'augmentant en principe avec l'altitude, varie considérablement suivant l'orientation et l'exposition des versants. C'est au niveau du ré-

Figure 4. Il existe d'autres phénomènes de brise qui déterminent des topoclimats. C'est le cas en bord de mer où le jour la brise de la mer vers la terre est due à l'échauffement plus important du sol que celui de la surface de la mer. De jour une cellule de circulation d'air (illustrée sur cette figure) ascendante au-dessus du continent et descendante au-dessus de l'océan crée cet appel d'air. La nuit, la cellule de circulation s'inverse et c'est alors la brise de terre qui souffle. Ces phénomènes de brise sont plus ou moins intenses selon que le ciel est dégagé ou couvert et évoluent au cours de la journée, tant en ce qui concerne la vitesse que la direction du vent.

Figure 5. Il existe un effet topoclimatique caractéristique des zones montagneuses illustré par ce schéma et cette photo. Celui-ci se produit en aval d'une ligne de crête suivant la direction générale du vent comme le montre cette figure. En effet lorsqu'un vent est perpendiculaire à une ligne de crête, l'air en amont du relief se soulève et se refroidit jusqu'à ce qu'il y ait condensation. Il y a donc en général précipitation en amont du relief. En revanche, en aval l'air s'affaisse après avoir franchi la chaîne montagneuse. Il y a alors disparition de la couverture nuageuse et un réchauffement de l'air. La zone située en aval bénéficie ainsi globalement, par la répétition de ce phénomène, d'une augmentation de température, d'un meilleur ensoleillement et d'une plus faible pluviométrie. Mais ce phénomène reste localisé à une bande large de quelques kilomètres en aval, ce qu'on appelle le couloir de foehn. (Cliché Météorologie nationale)

est de vingt-huit ans, ce qui a conduit les professionnels à déconseiller la poursuite de la production de pâte à papier à partir d'eucalyptus dans le Poitou. En revanche en Béarn, la durée de retour du phénomène est de l'ordre de quatre-vingts années dans la région de Pau, ce qui laisse des perspectives de production satisfaisantes.

D'importants dégâts sur le pin maritime ont été également observés dans les Landes en 1985. La figure présentée ici donne les valeurs minimales de température de surface atteintes dans le sud-ouest de la France le 8 janvier 1985 à 8 h locales, c'est-à-dire en fin de nuit. Cette situation constitue un des paroxysmes de la vague de froid qui a envahi la France du 4 au 19 janvier 1985. Ces températures radiatives de surface ont été obtenues à partir des données radiométriques de la bande (10,5-11,5 μm) du capteur AVHRR/1 embarqué sur le satellite NOAA 6, après prétraitement par le CNES/LERTS de Toulouse et analyse par classes de valeurs de températures. On peut remarquer le gradient thermique très important perpendiculairement à la côte Aquitaine (près de 20 °C sur une distance de quinze kilomètres environ) illustrant l'effet de l'océan. A l'intérieur des terres, on observe des zones très froides d'une part au sud immédiat de Mont-de-Marsan, d'autre part à l'intérieur de la forêt landaise et correspondant à des clairières. En dehors de la bande côtière deux zones relativement moins froides se situent d'une part autour de Bordeaux et des embouchures de la Garonne et de la Dordogne, d'autre part le long du piémont des Pyrénées-Atlantiques.

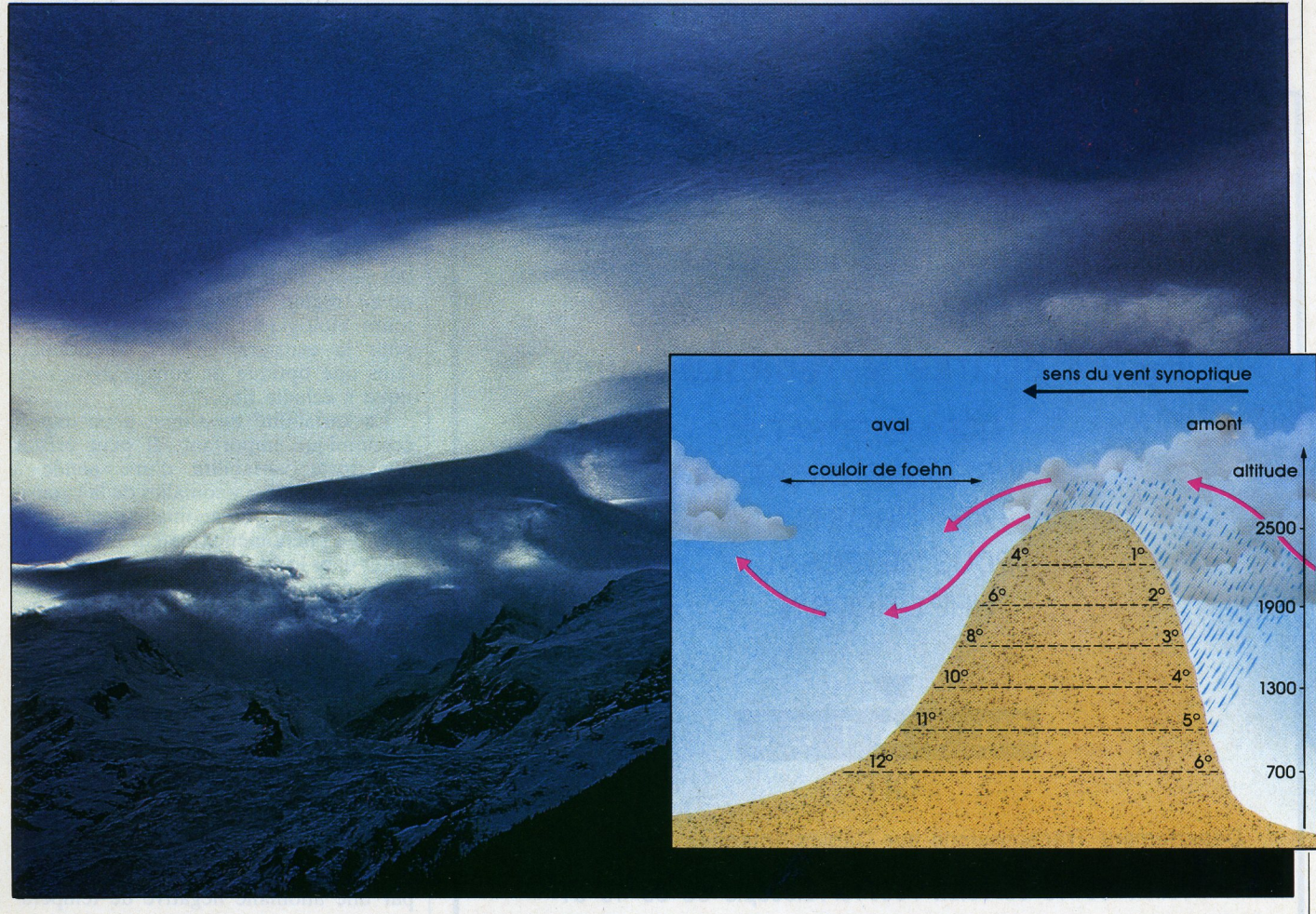
gime pluviométrique que l'on retrouve un caractère commun à l'échelle sub-régionale, qui traduit l'interaction entre la circulation générale et le relief de chaque massif et qui est particulière à chaque saison.

Ainsi à chaque saison observe-t-on des caractéristiques spécifiques pour chacun des trois principaux massifs montagneux. Les Alpes du Sud ont une pluviométrie minimale en été et maximale en automne, la zone intra-alpine étant protégée des perturbations océaniques par le massif du Pelvoux. Ce maximum pluviométrique en automne peut se rattacher au « caractère méditerranéen ». Pour le Massif central, la pluviométrie est maximale en hiver sur les contreforts du nord-ouest, en automne sur le rebord sud-est (Cévennes), tandis que les vallées du nord-est connaissent un minimum pluviométrique hivernal. Enfin, les Pyrénées sont marquées par un minimum pluviométrique estival.

Les topoclimats correspondent à des facteurs d'influence du second ordre engendrés par la topographie environnant le site, d'où l'étymologie de ce terme. Ces facteurs d'influence agissent sur le climat par la répétition de phénomènes météorologiques systématiques tels que les brises, brises de pente et de vallée en zone montagneuse, ou l'effet de foehn en aval d'une ligne de crête suivant la direction

générale du vent. En montagne le topoclimat est également directement relié à la notion d'exposition, avec le contraste classique entre l'adret, le versant exposé au sud, et l'ubac, le versant exposé au nord.

Les phénomènes de brise en montagne, tout comme les phénomènes de brise en bord de mer, sont générés par des contrastes de températures. En montagne, c'est l'ensoleillement des versants qui engendre une brise de pente ascendante, laquelle se combine ensuite à une brise de vallée ascendante. Ce processus s'inverse au cours de la nuit (fig. 3). En bord de mer, la brise de la mer vers la terre est due à l'échauffement plus important du sol que celui de la surface de la mer. Une cellule de circulation d'air ascendante au-dessus du continent et descendante au-dessus de l'océan crée cet appel d'air (fig. 4). La cellule est inversée de nuit (brise de terre). Ces phénomènes de brise sont plus ou moins intenses selon que le ciel est dégagé ou couvert et évoluent au cours du cycle diurne, tant en ce qui concerne la vitesse que la direction du vent. Un exemple typique est celui du topoclimat de La Rochelle qui se caractérise par un ensoleillement inégalé (deux mille deux cent soixante-dix heures par an) sur le littoral atlantique. Il existe vers 15 heures du Temps Universel (TU) une



prédominance de vents dans le secteur sud-ouest à nord-ouest (brise de mer) et à 6 heures (TU) une prédominance des vents de secteur nord-nord-est à est-nord-est (brise de terre).

L'effet de foehn (fig. 5) se produit, dans le cas d'un vent perpendiculaire à une ligne de crête, en aval de celle-ci. En amont du relief, l'air subit un soulèvement, se refroidit jusqu'à ce qu'il y ait condensation et restitution de chaleur latente, ce qui réduit la décroissance de température suivant l'altitude. Il y a donc en général précipitation en amont du relief. En revanche, en aval l'affaissement de l'air qui franchit la chaîne montagneuse entraîne une disparition de la couverture nuageuse et un réchauffement de l'air désaturé qui, à même altitude, est à une température plus élevée qu'en amont. Il n'y a véritablement effet de foehn que s'il y a condensation de vapeur d'eau dans l'air en amont de la chaîne. La zone située en aval bénéficie ainsi globalement, par la répétition de ce phénomène, d'une augmentation de température, d'un meilleur ensoleillement et d'une plus faible pluviométrie, mais ce phénomène reste localisé à une bande large de quelques kilomètres en aval. Un effet de foehn important se produit à basse altitude dans la vallée de la Limagne autour de Clermont-Ferrand ainsi que dans la plaine d'Alsace autour de Colmar. Dans ces vallées, cet effet est

plus notable sur la pluviométrie que sur l'ensoleillement ou la température. La pluviométrie moyenne de Clermont-Ferrand est faible (cinq cent quatre-vingt-dix millimètres par an) et en particulier en hiver où on y enregistre un minimum de pluies pour l'ensemble de la France. En revanche, la pluviométrie augmente rapidement à l'ouest de Clermont-Ferrand, sur les contreforts des Monts-Dôme. L'effet de protection sur la ville est directement lié à un effet de foehn à l'est des Monts-Dôme, qui se manifeste lorsque les vents en altitude viennent de l'ouest. De même, la ville de Colmar se situe à l'est d'un relief important, la crête des Vosges. On observe un fort gradient décroissant des précipitations d'ouest en est sur le versant alsacien du massif des Vosges, la pluviométrie moyenne de Colmar étant inférieure à six cents millimètres par an. De plus, en été, le nombre moyen d'heures par jour avec une température supérieure à 25 °C est de trois heures, valeur qui n'est atteinte par aucune autre station française située à la même latitude (48° N). Des effets de foehn se produisent également dans la haute vallée de l'Allier pour le Massif central, dans les Pyrénées à la fois dans la partie occidentale (Hautes-Pyrénées surtout) et dans la haute vallée de l'Ariège. Dans les Alpes, il se manifeste dans la vallée de Chamonix et au débouché de cols tels que ceux du Petit-Saint-Bernard, du Mont-Cenis et de

Larche. Les situations météorologiques génératrices de foehn peuvent être redoutables en hiver et au printemps pour la sécurité des skieurs par la fonte extrêmement rapide du manteau neigeux qu'il entraîne.

Le type de sol et la végétation à l'origine des microclimats.

L'échelle du microclimat correspond par exemple pour l'agriculteur à sa parcelle en culture ou pour le citadin aux espaces attenants à ses lieux d'activité. Au sein d'un même topoclimat, les microclimats vont différer essentiellement par leur bilan énergétique de surface, lequel est couplé au bilan hydrique du sol. Les facteurs d'influence à cette échelle sont le type de sol, la densité et la rugosité de la couverture végétale, l'albedo de la végétation. Le type du sol, très variable d'un endroit à l'autre, règle à la fois le contenu maximal en eau du sol et ses caractéristiques thermiques déterminantes notamment dans le refroidissement nocturne de la surface. La protection vis-à-vis du vent par des haies ou un réseau de brise-vent joue également un rôle important en réduisant la turbulence au-dessus du sol. En montagne, les effets d'ombres portées renforcent également la mosaïque des microclimats. En zone urbaine, la présence des bâtiments crée de fortes hétérogénéités du vent. De plus, la forte diminution de la proportion de surfaces végétales évaporantes consommatrices de chaleur latente contribue à la formation d'un îlot de chaleur dans les grandes agglomérations. Pour l'agglomération parisienne, la température moyenne annuelle est supérieure de plus d'un degré celsius à celle de la grande banlieue. Les contrastes entre topoclimats et microclimats se traduisent par des écarts d'état de croissance et de développement de la végétation, si bien qu'en région montagneuse des indicateurs biologiques peuvent être utilisés pour la cartographie des microclimats dans une optique de zonage agroclimatique à échelle fine.

La variabilité du climat a un impact économique important. Il peut exister une forte variabilité d'une année à l'autre, due à des anomalies de la circulation générale. Une anomalie peut engendrer des phénomènes météorologiques limités dans le temps, mais dangereux pour la sécurité des personnes et des biens comme des vents violents, des inondations, de la grêle, des tornades, voire des cyclones tropicaux dans les DOM-TOM (Départements et Territoires d'outre-mer). Ces phénomènes météorologiques peuvent être aussi dommageables pour la production agricole, avec la destruction par le gel ou l'échaudage. Par leur persistance, ils peuvent également avoir des effets désastreux : sécheresse, excès d'eau ou par exemple retard de développement irrémédiable pour la maturité des cultures par une anomalie négative de tempéra-

ALCATEL CIT

depuis plus de 20 ans

LE SPECIALISTE des STATIONS

de RECEPTION des DONNEES

des SATELLITES METEOROLOGIQUES

DCP METEOSAT

WEFAX METEOSAT

APT TIROS N

PDUS METEOSAT

HRPT TIROS N



Département Transmissions sur Câbles-Antennes & Météorologie
Route de Perros-Guirec/BP 445/22305 LANNION CEDEX
Tél.96 05 46 33/Télex 730719/Télécopie 96 05 46 91

3 DE TAMANRASSET À DUNKERQUE OU LE JUSTE RETOUR DES CHOSES...

Entre le samedi 7 mai et le dimanche 8 mai 1988, les pluies ont déposé plus de 200 000 tonnes de sables sahariens sur l'ouest de l'Europe. Pour la région parisienne, ce sont en moyenne 80 kg qui ont été déposés par km². La poussière rougeâtre, constituée de particules de sables sahariens, provenait du Sud-Ouest algérien.

À l'origine de ce phénomène, qui se produit en moyenne une ou deux fois par an, on trouve la conjonction de plusieurs phénomènes météorologiques appartenant à des échelles spatiales et temporelles différentes. Ainsi sur une région saharienne caractérisée par du sable très fin ou de la poussière, une hausse brutale de pression a pour conséquence une accélération du vent en surface et le déclenchement de chasse-sable.

La poussière soulevée par le vent s'élève sur une hauteur de 200 à 1 000 m. Au cours de la journée, la convection a pour conséquence le transfert de la poussière jusqu'à 4 000 m d'altitude. Dans les couches moyennes de l'atmosphère les poussières sont en quelque sorte « embarquées » par la circulation générale. Au sud du Sahara les flux entre 2 000 m et 4 000 m sont d'Est et les poussières ayant pour origine le Ténéré, le Sud du Hoggar, la Mauritanie... sont entraînées vers l'Ouest. On a pu suivre des nuages de poussières jusqu'en Floride, où ils ont des conséquences non négligeables sur le temps : peu ou pas de nuages d'averses, ciel gris et température en baisse.

Au nord du Sahara les flux entre 2 000 m et 6 000 m dans les situations à forte chasse-sable sont en général de Sud ou de Nord. Suivant la direction et la force du vent, les caractéristiques des poussières, l'intensité de la chasse-sable, la force de la convection, c'est une quantité plus ou moins importante de poussières qui sera entraînée par les vents. Dans les cas de transfert vers le Nord les apports d'humidité et le refroidissement ont pour conséquence la formation de nuages dans lesquels eau et poussières sont intimement liées. Les pluies amènent ces poussières en surface et après évaporation seule la poussière marque le phénomène. Ainsi, les 7 et 8 mai 1988, la situation météorologique en altitude était caractérisée par une zone de hautes pressions axée Ecosse-Tunisie qui s'est déployée lentement vers l'Est.

Ces pluies de poussières, des phénomènes naturels, ont très souvent été interprétées comme des manifestations de puissances supérieures. Signalées dès - 340 par Aristote, ces pluies de boues ou de sang ont fait l'objet de rapports et de chroniques. La plus célèbre de 1608 a été interprétée comme des larmes de sang d'origine divine...

Ces pluies de sang européennes doivent leur couleur aux sables sahariens, dans d'autres régions du Globe elles peuvent être bleues (le colorant étant le pollen des ormes), vertes (le colorant étant le pollen de sapins). Ces phénomènes de grande échelle ne doivent pas être confondus avec ceux ayant pour origine des phénomènes de type trombes, tornades... qui peuvent avoir pour conséquence des pluies locales de poissons, d'oranges (Naples en 1815), de pièces de monnaies (Gorki en 1940).

Georges Dhonneur

tures. Cette variabilité du climat d'une année à l'autre est caractérisée par divers paramètres statistiques de dispersion calculés lors de l'analyse des séries chronologiques. Cette analyse statistique est indispensable car, à l'échelle du pays, la production agroalimentaire est beaucoup plus sensible, et donc vulnérable, à la variabilité du climat qu'à son état moyen. Une application particulière de la climatologie, l'agroclimatologie, a pour but précisément de déterminer, en fonction de l'étude de la variabilité des paramètres climatiques aux périodes critiques de la production (semis, floraison, maturité notamment), quelles sont les potentialités de production des cultures existantes, voire quelles sont les régions propices à l'introduction de cultures ou de techniques nouvelles.

De façon plus générale, l'analyse systématique des données climatiques permet de fournir des éléments de décision pour les différents secteurs de l'activité économique tels que les transports, l'hydrologie, l'énergie ou la santé. Il est ainsi possible non seulement d'analyser les années exceptionnelles, mais également d'opérer un suivi du temps passé récent, permettant de détecter précisément des phénomènes singuliers et de prendre les mesures appropriées. Par exemple, la modélisation du bilan hydrique des sols permet d'appréhender les premiers signes d'une anomalie de la réserve en eau pour les plantes dans telle ou telle région française. Les années récentes n'ont pas manqué d'anomalies de ce type avec la sécheresse de 1976 au printemps et en été, la sécheresse d'automne en 1978 et 1985, la sécheresse d'été en 1986. Le maintien et l'exploitation d'un réseau climatique, investissement à long terme, est indispensable pour assurer une information pertinente, adaptée aux besoins des acteurs économiques. Il permet en outre de rester attentif aux fluctuations climatiques à court et à long terme. ■

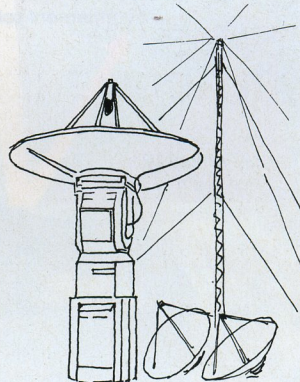
Pour en savoir plus

- R. Arlery, *Le climat de la France*, Direction de la météorologie nationale, 1979.
- *Atlas agroclimatique saisonnier de la France*, Direction de la météorologie nationale, 1980.
- *Atlas climatique de la France*, Direction de la météorologie nationale, Paris, 1969.
- P. Benichou, O. Lebreton, *Prise en compte de la topographie pour la cartographie de champs pluviométriques statistiques : la méthode AURELHY*, La météorologie, 1987.
- E. Choïsnel, *Notions d'échelle en climatologie*, La météorologie, 1984.
- E. Choïsnel, D. Payen, Ph. Lamarque, *Climatologie de la zone du projet HAPPEX-MOBILHY (Sud-Ouest)*, Direction de la météorologie nationale, Paris, 1987.
- Ouvrage collectif, *INRA-Météorologie nationale, Agrométéorologie des régions de moyenne montagne*, Éd. INRA, 1987.



L'INGENIERIE
AU SERVICE
DE LA METEOROLOGIE

Météorologie aéronautique
Agrométéorologie
Géophysique
Réseaux d'observation
Télécommunications
Traitement des données
Météorologie spatiale



Etudes
Fourniture d'équipement
Installations
Mise en service opérationnel
Formation
Assistance technique

DES REFERENCES
DANS 80 PAYS

75 rue La Boétie
75008 PARIS
Tél : 43 59 22 93
Télex : 641 360

