



# **Typologie et cartographie du climat moyen dans la moitié nord de la France - Perspectives d'utilisation en relations milieu-production forestière**

J.M. Gilbert, A. Franc

## **► To cite this version:**

J.M. Gilbert, A. Franc. Typologie et cartographie du climat moyen dans la moitié nord de la France - Perspectives d'utilisation en relations milieu-production forestière. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 1997, 12, p. 35 - p. 47. <hal-00461056>

**HAL Id: hal-00461056**

**<https://hal.science/hal-00461056v1>**

Submitted on 3 Mar 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Typologie et cartographie du climat dans la moitié nord de la France

Perspectives d'utilisation en relations milieu-production forestière

Jean-Michel Gilbert et Alain Franc

La caractérisation du climat en vue d'établir un lien avec la production des essences forestières, préoccupe depuis longtemps les forestiers français. Pardé (1959) suggère l'utilisation d'un indice (indice de Paterson) combinant températures, pluviométrie, durée de la saison de végétation et radiation solaire, à relier avec la production. En 1966, il est le premier à proposer à l'échelle nationale, une cartographie des zones où la production ligneuse est supérieure à 10 m<sup>3</sup>/ha/an. Aussenac et Ducrey (1974) proposent de se référer au rapport d'aridité de Thornthwaite (Arléry *et al.*, 1954), basé sur un calcul de bilan hydrique, pour préciser la délimitation des zones déjà esquissées avec prudence par Pardé. Plus récemment, Houzard (1984) propose, en vue de cartographier des bioclimats homogènes à l'échelle nationale ou régionale, de combiner deux indices : le déficit hydrique relatif saisonnier, analogue au rapport d'aridité de Thornthwaite, et l'indice de potentialités bioclimatiques, également fondé sur un calcul de bilan hydrique.

Le Cemagref, lors d'études régionales de la variabilité du milieu forestier, finalisées vers l'évaluation des potentialités de production a, de son côté, été amené à établir et à proposer les bases de découpages en secteurs climatiquement homogènes. A ce titre, citons le découpage climatique du Massif Central proposé par Franc (1989) et celui de la zone méditerranéenne proposé par Rippert et Nouals (1988), avec une extension sur l'Ardèche et la Drôme (Nouals et Boisseau, 1992). Ces découpages font appel à une typologie des

postes météorologiques utilisés, à partir de données thermiques et pluviométriques moyennes.

La démarche et les résultats exposés ici, concernent la moitié nord de la France. Ces travaux s'inscrivent dans un souci de caractérisation du climat dans un *continuum* à gradients faibles, en vue d'une meilleure compréhension de son rôle dans la production des essences forestières. Ils s'inspirent des travaux précités en se limitant aux variables de températures et de précipitations moyennes, facilement disponibles, et dont les valeurs peuvent être utilisées pour l'établissement de bilans hydriques simples.

## Zone d'étude et échelle de travail

La zone d'étude choisie ici pour une caractérisation climatique couvre de vastes territoires qui appartiennent pour la plus grande part à l'étage collinéen de la zone tempérée. C'est le domaine des forêts caducifoliées, riches en essences feuillues spontanées ou subspontanées et en essences résineuses le plus souvent introduites. L'objectif principal de gestion de la grande majorité de ces forêts est la production de bois. Aussi, est-il important de bien y appréhender les variations des principaux facteurs écologiques qui conditionnent la croissance, et à ce titre, les variations du climat.

A l'échelle spatiale de travail choisie, on appréhende ce qu'on appelle le macroclimat ou climat régional, en relation directe avec la latitude, les grands tracés du continent et ses principaux reliefs. A l'échelle temporelle, l'étude porte sur des données moyennes, qui permettent de s'affranchir des variations interannuelles plus ou moins aléatoires.

**Jean-Michel Gilbert**  
Cemagref  
Domaine des Barres  
45290 Nogent-Sur-Vernisson  
**Alain Franc**  
Engref  
19 avenue du Maine  
75015 Paris

### Données et méthodes d'analyse

Les données explicatives utilisées sont celles publiées dans les fascicules de la Météorologie nationale pour la période 1951-1980, soit trente ans.

Ont été sélectionnées : d'une part, les précipitations mensuelles moyennes de 624 postes météorologiques qui se répartissent sur la moitié nord de la France, du niveau de la mer jusqu'à environ 1200 m, d'autre part, les températures mensuelles moyennes de 64 postes météorologiques, disponibles uniquement dans la tranche d'altitude 0 à 500 m.

Les données pluviométriques d'une part, thermiques d'autre part, ont tout d'abord fait l'objet d'une évaluation de leur variabilité intrinsèque par l'analyse en composantes principales centrées normées (ACPCN), suivie le cas échéant d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). Ensuite, la régression multiple polynomiale a été utilisée pour tenter de mettre au point des équations de prédiction des grandeurs climatiques, en fonction de différents paramètres faciles à obtenir tels que altitude, latitude, longitude.

### Variabilité des températures

Une ACPCN réalisée sur un tableau comprenant en ligne les 64 postes météorologiques sélectionnés et en colonne les douze températures mensuelles moyennes en variables actives, met en évidence deux axes majeurs. Le premier axe représente 56 % de l'inertie totale du nuage des relevés. Cet axe fait ressortir les températures des mois d'octobre à mars, bien corrélées entre elles. C'est un axe d'intensité pour ces mois, que la somme des températures correspondantes synthétise bien. Le second axe représente 41 % de l'inertie totale du nuage des relevés. Il fait ressortir les températures des mois d'avril à septembre, également bien corrélées. C'est aussi un axe d'intensité pour ces mois, lié à la somme des températures correspondantes. Les autres axes, dont les valeurs propres sont inférieures à 1, ne présentent pas d'intérêt pour notre étude.

De ceci, on peut conclure que les 12 températures mensuelles moyennes peuvent être synthétisées par deux grandeurs indépendantes, à savoir la somme des températures d'octobre à mars et la somme des températures d'avril à septembre.

Cette constatation paraît d'autant plus intéressante

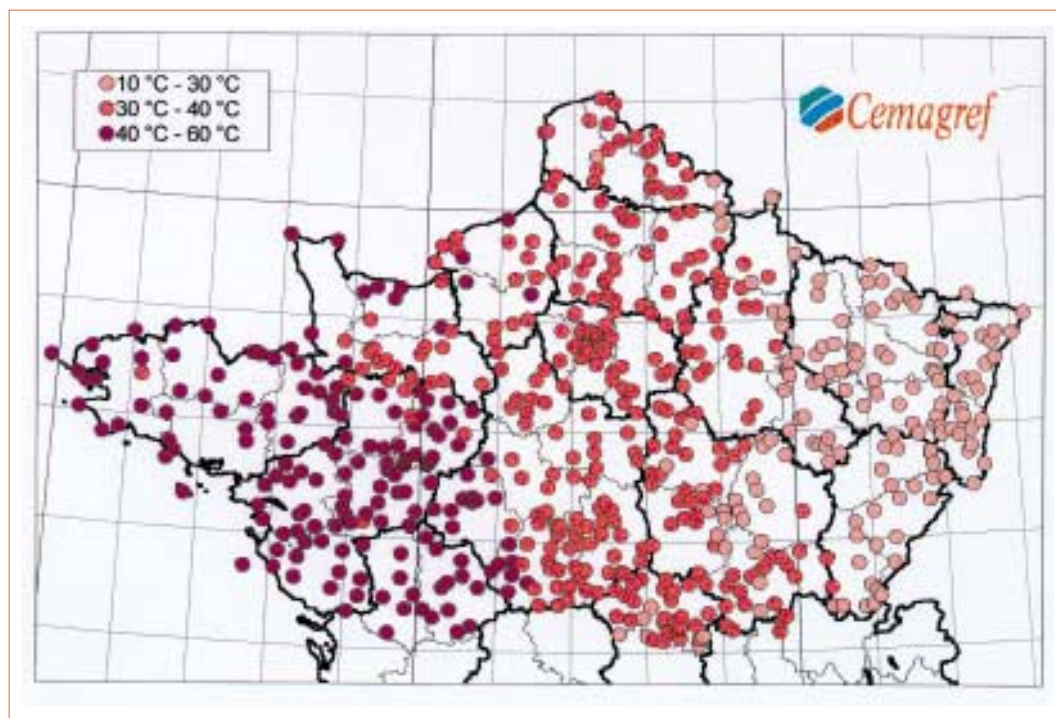
que les périodes concernées par ces deux totaux représentent à peu de choses près, la saison de repos et la saison de végétation. Les températures d'octobre à mars présentent peu d'importance comme facteur de production, puisqu'on se situe en repos végétatif. Par contre, les températures d'avril à septembre interviennent de façon prépondérante dans le bilan hydrique de la saison de végétation.

Si l'ACPCN met en évidence l'existence de régimes thermiques basés sur les fluctuations des valeurs des températures des mois d'octobre à mars et celles des mois d'avril à septembre, il n'en reste pas moins intéressant, dans un objectif prédictif et cartographique, d'analyser les relations entre chaque température mensuelle et les coordonnées géographiques des postes concernés. A ce titre, une régression multiple polynomiale, appliquée à chacune des 12 températures mensuelles en fonction de l'altitude, de la latitude et de la longitude, fournit pour chaque mois un modèle de détermination de la température avec un taux de variance expliquée ( $R^2$ ) très satisfaisant (tableau 1). Signalons cependant que les  $R^2$  des mois d'avril et de septembre sont les plus faibles, du fait de leur position intersaisonnière.

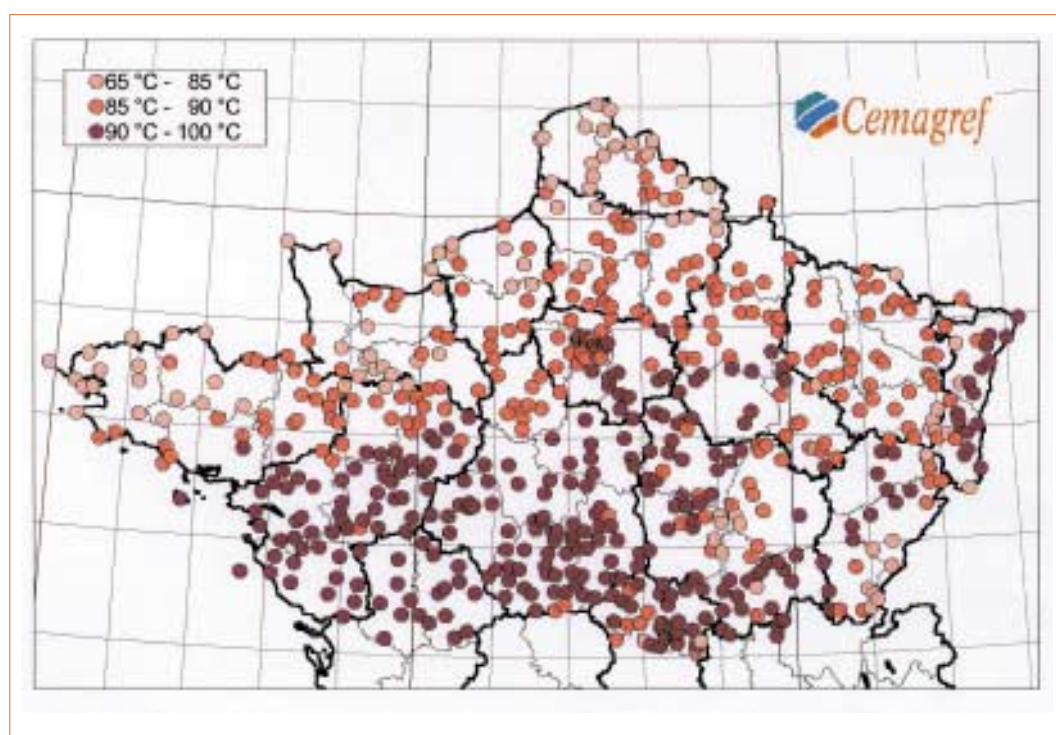
Ce modèle a été appliqué aux coordonnées des 624 postes météorologiques sélectionnés pour les précipitations. La cartographie de la somme des températures d'octobre à mars (carte 1), montre que cette variable est essentiellement liée à la longitude. Par contre, la cartographie de la somme des températures d'avril à septembre (carte 2), montre que cette variable est plutôt liée à la latitude, mais aussi parfois à l'altitude et à des influences régionales, par exemple dans la plaine d'Alsace. Ces résultats corroborent bien le fait que les températures hivernales sont liées à un gradient de continentalité, alors que les températures estivales sont liées à un gradient latitudinal.

### Variabilité des précipitations

Une première ACPCN a été réalisée sur un tableau comprenant en ligne 624 postes météorologiques et en colonne les 12 précipitations mensuelles moyennes, toutes en variables actives. Le premier axe de cette analyse représente 83 % de l'inertie totale du nuage des relevés. Les lames d'eau mensuelles participent toutes, sensiblement



▲ Carte 1. – Somme des températures mensuelles moyennes d'octobre à mars, calculées à partir des modèles de températures mensuelles, pour les 624 postes météorologiques utilisés.



◀ Carte 2. – Somme des températures mensuelles moyennes d'avril à septembre, calculées à partir des modèles de températures mensuelles, pour les 624 postes météorologiques utilisés.

Tableau 1. – Modèles de détermination des températures moyennes mensuelles en fonction de l'altitude, de la latitude et de la longitude pour 64 postes météorologiques du nord de la France - Valeur de la constante et des coefficients a à i du modèle polynomial retenu :

$$t_m = \text{constante} + a \times \text{alt} + b \times \text{lat} + c \times \text{long} + d \times \text{alt}^2 + e \times \text{lat}^2 + f \times \text{long}^2 + g \times \text{alt} \times \text{lat} + h \times \text{alt} \times \text{long} + i \times \text{lat} \times \text{long}.$$

(Avec m : mois ;  $t_m$  : température du mois m en °C ; alt : altitude du poste en mètres ; lat : latitude du poste en ° ; long : longitude du poste en ° référencé au méridien de Greenwich). ▼

Mois	Cst	a	b	c	d	e	f	g	h	i	R <sup>2</sup>
Janvier	4,95	0,048196		- 0,585221			0,011694	-0,001139	0,000551		0,96
Février	19,47		- 0,284926					-0,000140	0,000574	- 0,008081	0,95
Mars	17,96					- 0,004372		-0,000133	0,000421	- 0,003628	0,93
Avril	22,86	- 0,006433				- 0,005512			0,000381		0,74
Mai	27,86	- 0,004493		- 1,867964		- 0,006331				0,042375	0,78
Juin	- 134,18	- 0,004784	7,004252	- 2,226496		- 0,080541	- 0,014760			0,052269	0,88
Juillet	- 126,60		6,763397			- 0,077952	- 0,020648	- 0,000109		0,006857	0,87
Août	47,93		- 0,618857				- 0,015124	- 0,000099		0,004628	0,80
Septembre	197,47		- 7,063591			0,068409		- 0,000080			0,65
Octobre	12,71	0,076544						- 0,001748	0,000744	- 0,005777	0,88
Novembre	8,42	0,057457		- 0,499890			0,012989	- 0,001375	0,000933		0,94
Décembre	6,18			- 0,633386				- 0,000169	0,001147		0,95

à égalité, à la formation de l'axe et lui sont bien corrélées. C'est un axe d'intensité, qui classe les postes en fonction de la hauteur de la lame d'eau annuelle. Le deuxième axe représente 11 % de l'inertie totale du nuage des relevés. Il oppose les lames d'eau des mois d'avril à août, à celles de septembre à mars. C'est un axe lié à la répartition des pluies au cours de l'année, donc au régime pluviométrique. Cependant, les pluviométries des mois d'avril et de septembre contribuent très peu à la formation de l'axe et lui sont très peu corrélées. Les axes suivants ont des valeurs propres nettement inférieures à 1. Ils ne présentent pas d'intérêt à ce stade du traitement des données.

Une seconde ACPCN a été réalisée sur les coefficients pluviométriques relatifs d'Angot (Peguy, 1970) issus des données du tableau initial. Ces coefficients sont calculés, comme le rapport entre la pluviométrie du mois et la pluviométrie annuelle rapportée au mois. Ils permettent de décrire la répartition des pluies au cours de l'année en s'affranchissant de la hauteur de la lame d'eau annuelle et ainsi de comparer les régimes pluviométriques des différents postes. Le premier axe de cette analyse représente 57 % de l'inertie totale du nuage

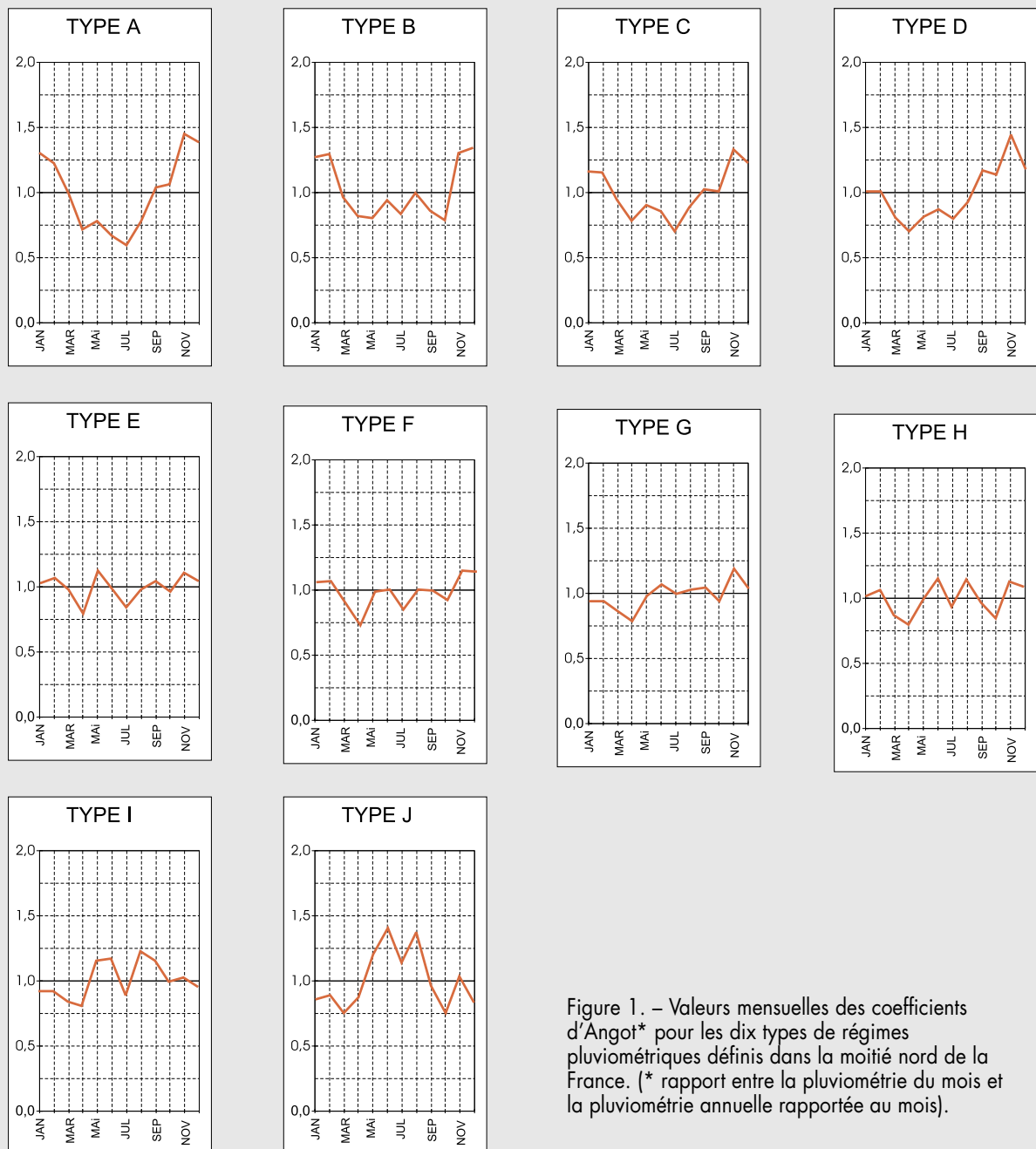
des relevés. Il oppose les coefficients des mois d'avril à septembre, à ceux d'octobre à mars. Cet axe peut être comparé à l'axe 2 de la première analyse. Le coefficient du mois de septembre contribue très peu à la formation de l'axe et lui est très peu corrélé. Le deuxième axe représente 16 % de l'inertie totale du nuage des relevés. Il fait ressortir les coefficients des mois de septembre et octobre. C'est donc un axe d'intensité relatif à ces coefficients. Le troisième axe représente 8 % de l'inertie totale du nuage des relevés. Il oppose les coefficients de mars et mai, à celui de novembre. Il met en évidence une nuance de régime pluviométrique liée aux mois concernés. Les axes suivants, qui ont des valeurs propres inférieures à 1, n'ont pas été interprétés.

Une CAH, réalisée sur le tableau des coefficients d'Angot, permet d'individualiser dix types de régimes pluviométriques, dont les profils annuels moyens sont présentés dans la figure 1. Ces types de régimes ont été classés par ordre de continentalité croissante. Pour les régimes océaniques (types A, B, C, D), les pluies sont plus abondantes en automne et en hiver qu'au printemps et en été. Pour les régimes océaniques altérés (types E, F, G),

les pluies sont assez bien réparties tout au long de l'année, avec cependant un léger excédent hivernal. Pour les régimes continentaux altérés (types H, I), les pluies sont un peu plus abondantes en été qu'en hiver. Enfin, le régime continental

(type J), est caractérisé par des pluies nettement plus abondantes en été qu'en hiver.

Un report cartographique des types de régimes pluviométriques ainsi définis, confirme l'intérêt de la typologie pour un découpage du territoire



national en zones homogènes (carte 3). Les régimes océaniques sont d'une part situés sur la façade Atlantique et le long des côtes de la Manche et d'autre part, sur les premiers reliefs importants que rencontrent dans leur progression les masses d'air, à savoir le Morvan et les Vosges. Le régime le plus continental est situé comme il se doit dans la plaine d'Alsace. Les régimes dits continentaux altérés (H, I) sont essentiellement localisés aux reliefs de l'est et au nord du Massif Central. On constate malgré tout une interpénétration des régimes dits océaniques altérés (E, F, G) qui traduit la difficulté de bien les individualiser.

En conclusion, il est possible de résumer l'essentiel de la variabilité des 12 précipitations mensuelles à deux composantes, l'une quantitative : la hauteur de la lame d'eau annuelle ; l'autre qualitative : le type de régime pluviométrique. Remarquons que, contrairement aux températures mensuelles moyennes, les précipitations mensuelles moyennes d'un poste météorologique ne sont pas modélisables de façon satisfaisante en fonction de son altitude, de sa latitude et de sa longitude.

### Modélisation du bilan hydrique

Après avoir analysé sur la moitié nord de la France, la variabilité des deux principaux éléments du climat moyen que sont les températures et les précipitations et établi un modèle prédictif des températures, il est possible en utilisant ces résultats, de réaliser une approche synthétique au travers de la notion de bilan hydrique.

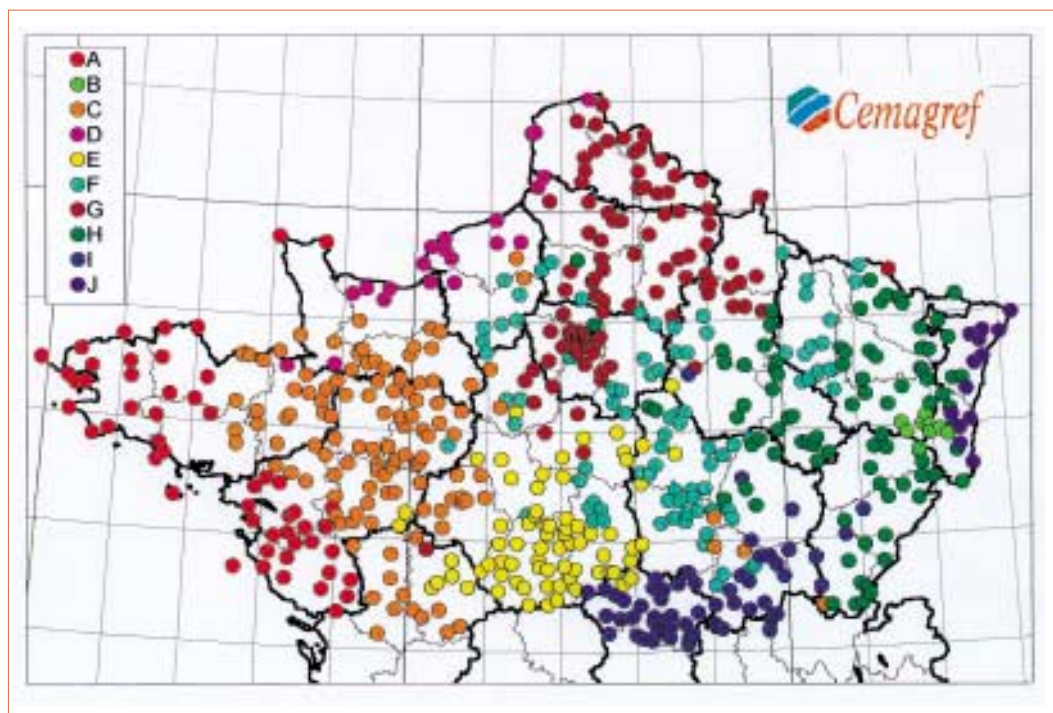
Un bilan hydrique est un calcul qui chiffre sur un intervalle de temps donné, en fonction de certaines caractéristiques et hypothèses de fonctionnement, les entrées et les pertes d'eau d'un système. Pour ce type de calcul, nous avons retenu parmi les nombreux modèles, celui de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948, 1957) car c'est un modèle simple pour lequel nous disposons des données nécessaires : précipitations et températures au pas de temps mensuel.

Ce modèle décrit en encadré 1, considère un système plante-sol. Pour un mois ( $m$ ) donné, les apports en eau sont constitués par les précipitations ( $p_m$ ) de ce mois. La demande potentielle de la plante est traduite par le calcul de l'évapotranspiration potentielle ( $ETP_m$ ), essentiellement fonction, ici, de la température ( $t_m$ ) du mois. Pour satisfaire ses

besoins en eau, la plante utilise tout d'abord les précipitations du mois. Si les précipitations du mois suffisent, il n'y a pas de déficit hydrique et l'évapotranspiration réelle d'eau par la plante ( $ETR_m$ ) est égale à  $ETP_m$ . Si les précipitations du mois ne sont pas suffisantes, la plante prélève une certaine quantité d'eau dans le sol qui constitue un réservoir dont la contenance est initialisée au maximum ( $RU_{max}$ ) en début de calcul. La quantité d'eau prélevée dans le sol est une fonction exponentielle du déficit climatique cumulé. Dans ce cas, il y a déficit hydrique et la transpiration d'eau par la plante ( $ETR_m$ ) est égale à la somme des précipitations du mois ( $p_m$ ) et de ce qui est prélevé durant le mois dans le réservoir. Lorsque la période de déficit climatique est terminée, les excédents d'eau non transpirés par la plante servent tout d'abord à reconstituer le réservoir en eau du sol, puis fournissent un excédent appelé écoulement.

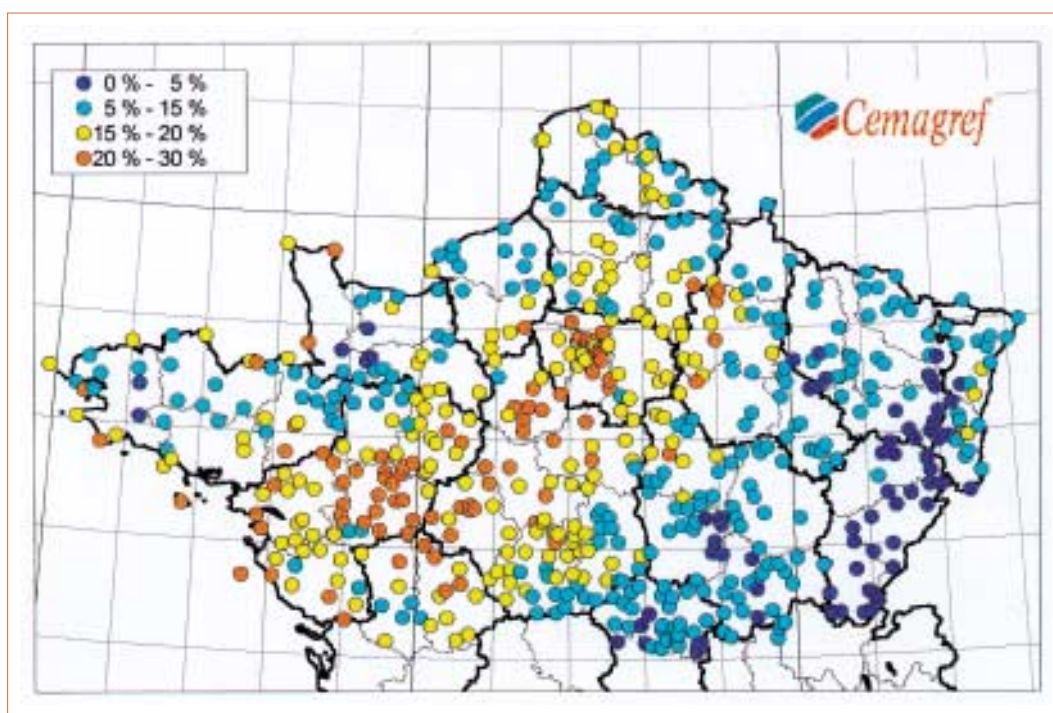
Ce calcul initialisé en janvier et réalisé sur l'année, fournit des valeurs d'ETP et d'ETR mensuelles qu'il est possible d'utiliser pour déterminer un indice caractérisant le déficit hydrique subi par la plante. Afin d'illustrer la méthode, nous avons utilisé ce modèle de bilan hydrique sur les données des 624 postes météorologiques pour lesquels nous disposons des précipitations mensuelles moyennes. Les températures mensuelles moyennes de chaque poste ont été déterminées à l'aide des équations présentées (tableau 1). A partir des bilans hydriques simulés, dans l'hypothèse d'un réservoir d'eau dans le sol de 100 mm maximum, représentant une situation pédologique moyenne, un indice de déficit a été calculé pour chaque poste : le déficit hydrique relatif sur l'année ( $(ETP-ETR)/ETP$ ). Les valeurs prises par cet indice ont été enfin cartographiées dans la carte 4.

Cette carte fait ressortir les zones où le déficit hydrique relatif annuel est le plus élevé ( $> 15\%$ ), à savoir, outre la frange littorale de l'Atlantique et de la Manche, de vastes territoires qui couvrent une grande partie des bassins de la Loire et de la Seine ainsi que les dépressions du nord et du Rhin. Le déficit est particulièrement accentué ( $> 20\%$ ) dans le Maine et Loire, le nord et l'ouest de la région Centre, la région parisienne et l'ouest de la région Champagne Ardenne. Les déficits sont plus faibles sur les reliefs. On remarque par exemple en région Centre que les reliefs constitués au sud



▲ Carte 3. – Types de régimes pluviométriques des 624 postes météorologiques utilisés.

Carte 4. – Déficit hydrique relatif annuel des 624 postes météorologiques utilisés, pour une réserve utile en eau du sol maximum 100 mm. ▼



Encadré 1

### Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite

Le botaniste et climatologue américain C.W. Thornthwaite a travaillé sur les besoins en eau de la végétation et les conditions dans lesquelles ces besoins peuvent être satisfaits. Ses travaux ont été repris en France et surtout utilisés en agrométéorologie (Arléry *et al.*, 1954). Thornthwaite a défini en 1948 le mode de calcul de l'évapotranspiration potentielle d'un couvert végétal (ETP) régulièrement alimenté en eau. Il a également présenté et développé ensuite un modèle de bilan hydrique basé sur l'utilisation par les plantes, en cas de déficit, d'un stock d'eau présent dans le sol (RU).

Le modèle est à pas de temps mensuel ; il fonctionne avec des données mensuelles moyennes de températures et de précipitations. Ce modèle fournit une estimation de l'ETP avec une précision suffisante en regard de l'échelle à laquelle se situe notre analyse.

L'évapotranspiration potentielle (ETP<sub>m</sub>) est calculée de la manière suivante :

$$ETP_m = 16 * (10 * t_m / I)^a * F_m(\lambda)$$

avec m = mois ; t<sub>m</sub> = température moyenne du mois m en °C ;

I = somme des 12 valeurs mensuelles ;

$$i_m = (t_m / 5)^{1,514} ; a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49 ;$$

F<sub>m</sub>(λ) = facteur correcteur en fonction de la latitude.

Une relation linéaire entre F(λ) et la latitude a été établie suivant l'équation F(λ) = Cst + a \* λ, avec Cst = constante ; λ = latitude en °. Les valeurs de la constante et de a sont données pour chaque mois dans le tableau ci-contre.

L'application du modèle de bilan hydrique aux données moyennes du poste météorologique d'Orléans pour la période 1951-1980 et une réserve utile en eau maximum dès janvier (RU<sub>max</sub>) de 100 mm, permet d'illustrer la méthode.

Mois	Cst	a
Janvier	1,19	- 0,00885
Février	1,01	- 0,00438
Mars	1,06	- 0,00094
Avril	0,96	0,00371
Mai	0,92	0,00813
Juin	0,88	0,00944
Juillet	0,92	0,00876
Août	0,95	0,00584
Septembre	0,98	0,00137
Octobre	1,09	- 0,00331
Novembre	1,11	- 0,00712
Décembre	1,22	- 0,01037

### Bilan hydrique selon Thornthwaite

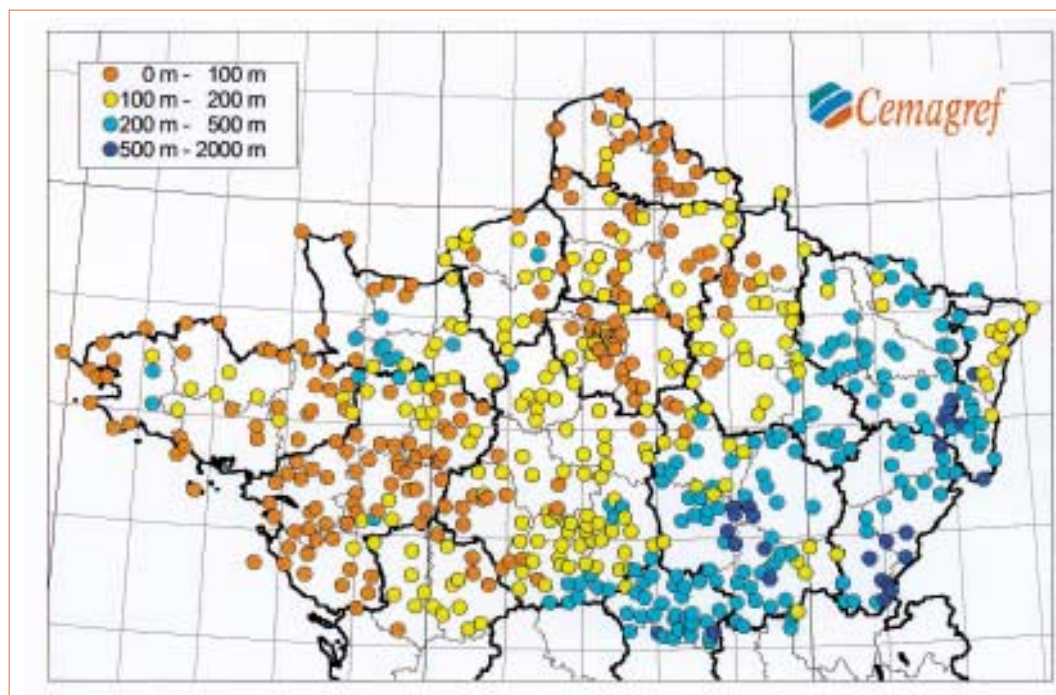
Poste météorologique d'Orléans (1951-1980)

Latitude : 47,98 ° ; Longitude : + 1,75 ° ; Altitude : 125 m

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.	Année
p <sub>m</sub> (mm)	55,3	51,2	47,8	43,8	56,4	53,2	49,7	48,0	50,8	54,5	58,9	54,6	624,2
t <sub>m</sub> (°C)	2,9	4,1	6,7	9,3	12,9	16,1	18,2	17,9	15,6	11,3	6,4	3,9	10,4
i <sub>m</sub>	0,4	0,7	1,6	2,6	4,2	5,9	7,1	6,9	5,6	3,4	1,5	0,7	
<b>ETP<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>8,4</b>	<b>13,0</b>	<b>28,7</b>	<b>46,7</b>	<b>77,9</b>	<b>101,9</b>	<b>117,7</b>	<b>106,1</b>	<b>77,1</b>	<b>47,7</b>	<b>20,6</b>	<b>11,1</b>	<b>656,9</b>
p <sub>m</sub> - ETP <sub>m</sub>	46,9	38,2	19,1	- 2,9	- 21,5	- 48,7	- 68,0	- 58,1	- 26,3	6,8	38,3	43,5	
Déficit cumulé	0,0	0,0	0,0	- 2,9	- 24,4	- 73,1	- 141,2	- 199,2	- 225,5	0,0	0,0	0,0	
RU <sub>m</sub> (mm)	100,0	100,0	100,0	97,1	77,8	47,1	23,4	12,8	9,8	16,6	54,9	98,4	
RU <sub>m-1</sub> - RU <sub>m</sub>	- 1,6	0,0	0,0	2,9	19,3	30,7	23,7	10,5	3,1	- 6,8	- 38,3	- 43,5	
<b>ETR<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>8,4</b>	<b>13,0</b>	<b>28,7</b>	<b>46,7</b>	<b>75,7</b>	<b>83,9</b>	<b>73,4</b>	<b>58,5</b>	<b>53,9</b>	<b>47,7</b>	<b>20,6</b>	<b>11,1</b>	<b>521,6</b>
ETP <sub>m</sub> - ETR <sub>m</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	18,0	44,3	47,5	23,3	0,0	0,0	0,0	135,3
Ec <sub>m</sub> (mm)	45,3	38,2	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	102,6

**Déficit hydrique relatif annuel = (ETP-ETR)/ETP** **0,21**

m = mois ; p<sub>m</sub> = précipitation mensuelle moyenne ; t<sub>m</sub> = température mensuelle moyenne ; i<sub>m</sub> = voir ci-dessus calcul de ETP ; ETP<sub>m</sub> = évapotranspiration potentielle mensuelle ; RU<sub>m</sub> = réserve utile du mois ; ETR<sub>m</sub> = évapotranspiration réelle mensuelle ; Ec<sub>m</sub> = écoulement mensuel.



◀ Carte 5. –  
Altitude des 624  
postes  
météorologiques  
utilisés.

par la marche du Massif Central et à l'est par le Pays Fort constituent des limites de la zone à fort déficit.

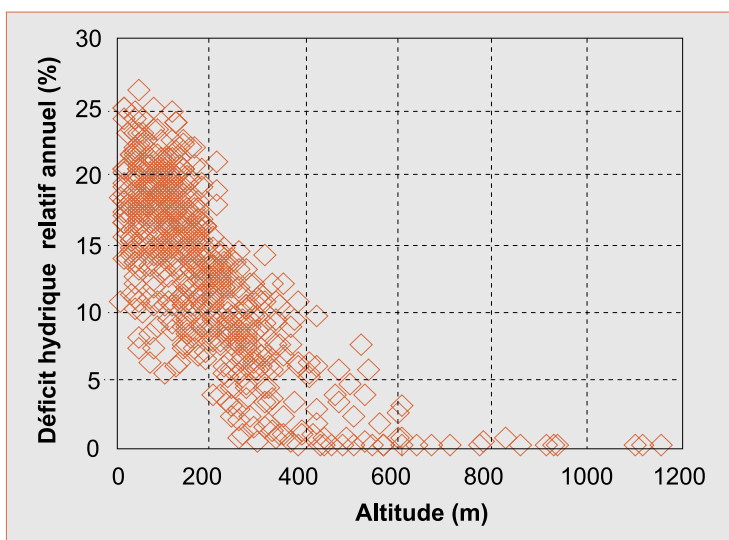
Cette carte (4) peut être comparée à la carte des altitudes (carte 5). Il en ressort que les zones où le déficit hydrique relatif annuel est faible ( $< 15\%$ ) correspondent assez bien dans le centre et l'est, aux altitudes supérieures à 200 m. Ceci est confirmé par la figure 2, représentant pour la zone d'étude, le déficit hydrique relatif annuel en fonction de l'altitude.

La figure 3, qui représente le déficit hydrique relatif annuel en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle, montre une bonne corrélation entre les deux grandeurs. En comparant les cartes 4 et 6, on constate que les zones où le déficit est le plus élevé ( $> 15\%$ ) se superposent assez bien aux zones de précipitations inférieures à 750 mm, sauf en Vendée et Poitou Charentes où, bien que les précipitations soient plus élevées, le déficit hydrique reste marqué. Ceci s'explique par la conjugaison de températures estivales élevées et d'un régime pluviométrique de type océanique (A) défavorable en été. *A contrario*, en Alsace, bien que les précipitations restent faibles, les conséquences sur le déficit hydrique sont moins marquées en raison

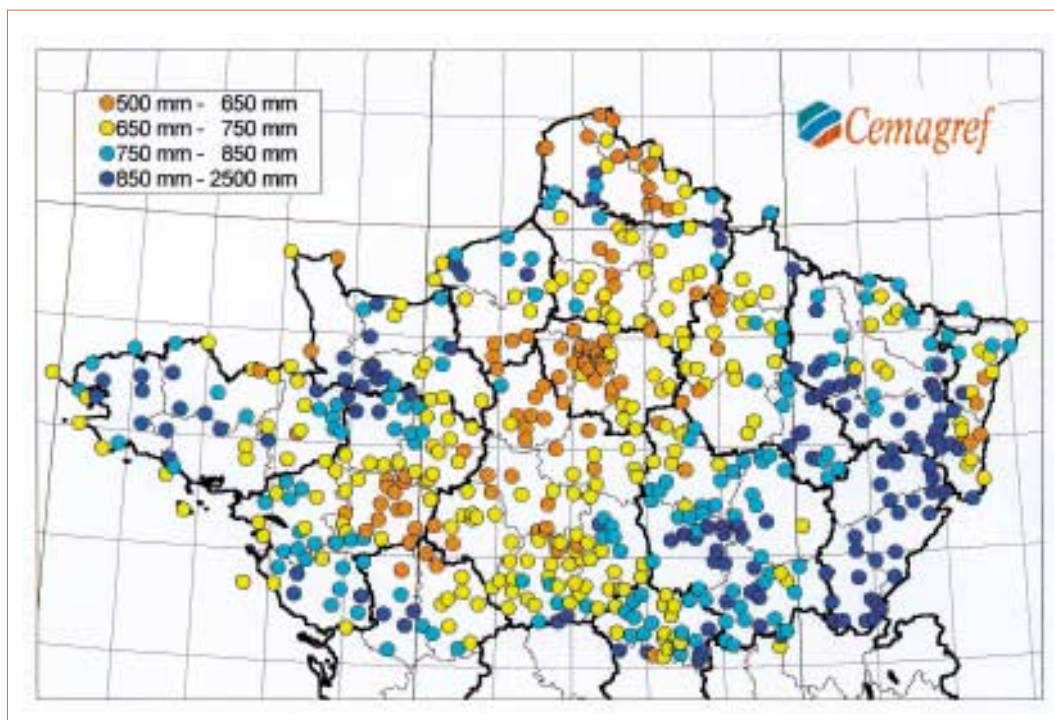
d'un régime pluviométrique plutôt favorable en période estivale.

A partir du jeu de données, nous avons pu relier la valeur du déficit hydrique relatif annuel calculé pour une  $R_{Umax}$  de 100 mm, avec les coordonnées géographiques des postes et les valeurs de leur lame d'eau annuelle. Le modèle retenu est un modèle simple qui utilise seulement cette dernière

Figure 2. –  
Variations du déficit  
hydrique relatif  
annuel des 624  
postes  
météorologiques en  
fonction de  
l'altitude. ▼



Carte 6. – Carte  
d'eau annuelle des  
624 postes  
météorologiques  
utilisés. ►



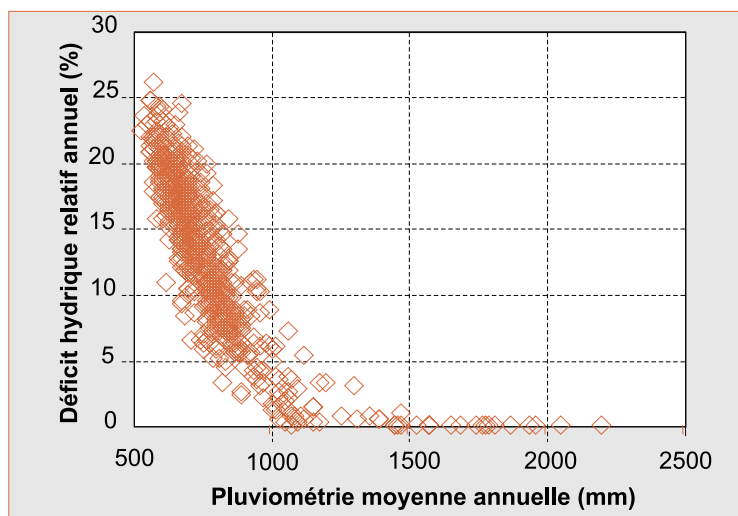
donnée et la longitude du poste, avec un taux de variance expliquée ( $R^2 = 90 \%$ ) tout à fait convenable.

L'équation du modèle est la suivante :

$$\text{DHR100} = 67,95 - (9,76 \cdot 10^{-2} \cdot \text{PTOT}) + (3,64 \cdot 10^{-5} \cdot \text{PTOT} \cdot \text{PTOT}) - (0,72 \cdot \text{LONG})$$

avec DHR100 : déficit hydrique relatif annuel en % ; PTOT : hauteur de la lame d'eau annuelle en mm ; LONG : longitude du poste en °, en référence au méridien de Greenwich.

Figure 3. – Variations du déficit hydrique relatif annuel des 624 postes météorologiques en fonction de la pluviométrie annuelle. ▼



Ce modèle à deux paramètres nous indique, pour une même hauteur de lame d'eau, une diminution du déficit hydrique relatif annuel pouvant aller jusqu'à 9 % entre l'ouest et l'est de la zone étudiée, traduisant le passage d'un régime pluviométrique océanique à un régime continental.

Précédemment, nous avons noté en matière de variabilité des températures et des régimes pluviométriques, l'intérêt de distinguer la période allant d'octobre à mars de celle allant d'avril à septembre. Cette dernière correspond en gros à la saison de végétation et donc à la période de croissance des arbres. Le bilan hydrique, ramené à cette période, fournit une valeur de déficit hydrique relatif susceptible de constituer un indice plus pertinent à relier à la croissance que le déficit hydrique relatif évalué sur l'année. En effet, il cou-

vre l'essentiel de la période durant laquelle s'observe un déficit hydrique et son amplitude de variation est plus large que la valeur annuelle.

Le déficit hydrique relatif pour la période allant d'avril à septembre a été calculé pour les 624 postes météorologiques utilisés. On constate une relation étroite ( $R^2 = 96\%$ ) entre cet indice et la hauteur des précipitations de la même période, décrite par l'équation suivante :

$$DHR100_{AaS} = 92,72 - (2,97 \cdot 10^{-1} \cdot PTOT_{AaS}) + (2,37 \cdot 10^{-4} \cdot PTOT_{AaS}^2)$$

avec  $DHR100_{AaS}$  : déficit hydrique relatif d'avril à septembre en % ;  $PTOT_{AaS}$  : hauteur des précipitations d'avril à septembre en mm.

### Discussion et perspectives

Cet essai de caractérisation du climat moyen à l'échelle de la moitié nord de la France souligne la complexité de cette composante du milieu et la difficulté d'en cerner précisément la variabilité spatiale. Nous pensons que les résultats obtenus sont raisonnablement applicables dans la tranche d'altitude 0 à 500 m. Au-delà, d'une part, les données sont moins nombreuses, d'autre part, les influences de l'altitude et de l'exposition deviennent prépondérantes, induisant des particularismes locaux. Cependant, pour l'analyse des précipitations, nous avons décidé de garder 26 postes météorologiques situés au-delà de 500 m afin d'obtenir une meilleure caractérisation des régimes pluviométriques qui se trouvent en fait définis pour l'intégralité de la moitié nord de la France.

Nous sommes conscients de l'imperfection de l'approche employée : données moyennes, pas de temps mensuel, prise en compte des seules températures pour calculer l'ETP, hypothèses simples de fonctionnement hydrique de l'arbre, pas de distinction en fonction des espèces. Tout ceci rend les résultats applicables à une échelle assez large. Nous avons néanmoins réussi à dégager les grandes tendances de cette variabilité des températures et des précipitations, et abouti à la mise au point d'une prédiction simple du déficit hydrique relatif dans la mesure où l'on dispose d'une bonne connaissance des précipitations locales. L'indice de déficit hydrique estimé par cette méthode, pourrait servir à caractériser la composante climatique lors d'études de relations station-production menées

à l'échelle de vastes territoires.

A un niveau régional, dans les zones de plaine étudiées, on constate qu'en règle générale, hormis des situations de microclimat particulières, liées à l'exposition ou au confinement, le déficit hydrique en contexte pédologique homogène est essentiellement dépendant de la hauteur des précipitations. Certes, nous étions en droit d'attendre à ce niveau une bonne corrélation, mais il s'avère remarquable dans la zone d'étude, que l'état hydrique avant l'été d'une part, les températures estivales d'autre part, expliquent une faible part de la variance du déficit hydrique relatif. Ce constat simplifie l'analyse macroclimatique qui est à faire lorsqu'on étudie la variabilité du milieu d'une petite région naturelle.

Sur un plan plus fonctionnel, la démarche consistant à confronter une approche analytique des éléments du climat que sont les températures et les précipitations et une approche synthétique en les intégrant dans un modèle de bilan hydrique, nous permet de mieux comprendre les interactions entre ces éléments et leur résultante biologique. Ainsi, par exemple, si l'on considère schématiquement qu'il existe un gradient thermique estival croissant du nord au sud de la zone et un gradient de continentalité croissant de l'ouest vers l'est, on comprend mieux que pour une lame d'eau annuelle donnée, le quart sud-ouest de la zone, avec en été des températures élevées et un régime pluviométrique défavorable, soit le plus défavorisé au plan de la résultante hydrique. Ceci est d'ailleurs confirmé par les problèmes d'adaptation et de dépérissements observés sur plusieurs essences qui y ont été introduites : Douglas et Pin laricio par exemple.

Pour conclure, s'il est indéniable que le climat joue un rôle dans la production ligneuse, cet effet reste difficile à mettre en évidence. Ceci est lié tout autant à la variabilité spatiale et temporelle de ce facteur écologique complexe, qu'au rôle tampon du sol en matière hydrique et aux processus physiologiques complexes que l'arbre met en œuvre pour réguler sa transpiration. Souhaitons que l'approche simple et globale développée dans cet article contribuera à alimenter la réflexion pour une meilleure connaissance de cet aspect des relations station-production. □

### Résumé

Dans un objectif général de mise en relation du milieu avec la production des essences forestières, cet article étudie et cartographie la variabilité du climat moyen dans les zones de plaine de la moitié nord de la France. Les données utilisées sont des moyennes mensuelles de températures (64 postes) et de précipitations (624 postes) sur la période 1951-1980. Les 12 températures mensuelles sont résumables par la somme des températures d'octobre à mars et la somme des températures d'avril à septembre. Un modèle prédictif des températures mensuelles en fonction de l'altitude, de la latitude et de la longitude est mis au point. Les 12 précipitations mensuelles sont bien synthétisées par la hauteur de la lame d'eau annuelle et le type de régime pluviométrique. La modélisation du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite permet de construire un indice : le déficit hydrique relatif, lié essentiellement, pour la période d'avril à septembre, à la hauteur des précipitations de la période considérée. Cet indice pourrait être mis en relation avec le niveau de production des essences forestières.

### Abstract

In order to establish a relationship between the environment and the yield of forest species, this article studies and maps the variability of the medium climate in the plain areas of the northern half of France. The data used are the monthly means of temperature (64 experiment stations) and precipitation (624 experiment stations) obtained between 1951 and 1980. The sums of the temperature values registered between October and March and between April and September reflect the variability of the monthly temperature. A predictive model of the monthly temperature values is defined in relation with the altitude, the latitude and the longitude. The annual precipitations and the type of pluviometric distribution synthesize well the twelve monthly precipitations. The modelization of the water balance using the Thornthwaite method allows one to build an index : the relative water deficit is mainly related to the height of precipitations for the April - September period. This index should be connected with the yield of forest species.

### Bibliographie

- ARLERY, R., GARNIER, M., LANGLOIS, R., 1954. Application des méthodes de Thornthwaite à l'esquisse d'une description agronomique du climat de la France, *La météorologie* - p. 245-367.
- AUSSENAC, G. - 1973. Climat, microclimat, et production ligneuse, *Annales des Sciences Forestières*, vol. 30, n° 3, p. 239-258.
- AUSSENAC, G., DUCREY, M., 1974. A propos de l'arboretum de Royat, Climatologie et potentialités de production forestière, *Revue Forestière Française*, n° 6, p. 447-458.
- FRANC, A., - 1989. *Le Massif Central cristallin ; Analyse du milieu, choix des essences*, Cemagref, Coll. Etudes n° 2, 102 p.
- HOUZARD, G., 1984. Vers un classement des bioclimats des forêts caducifoliées françaises, *Revue Forestière Française*, n° 5, p. 362-374.
- MÉTÉOROLOGIE NATIONALE, 1983. *Normales climatologiques 1951-1980*, Fascicule 1 - Températures, Ministère des transports, Direction de la Météorologie, 431 p.
- MÉTÉOROLOGIE NATIONALE, 1986. *Normales climatologiques 1951-1980*, Fascicule 2 - Précipitations - Tome 2 - Postes climatologiques, Ministère des transports, Direction de la Météorologie - 398 p.
- NOUALS, D., BOISSEAU, B., 1992. *Les petites régions naturelles de la Drôme et de l'Ardèche méditerranéennes*, Cemagref Aix-en-Provence, 18 p. + annexes.
- PARDE, J., 1959. Retour sur l'indice CVP de Paterson, *Revue Forestière Française*, n° 1, p. 50-53.
- PARDE, J., 1966. Forêts et reboisements à haute productivité en France, *Revue Forestière Française*, n° 11, p. 718-724.

PEGUY, C.-P., 1970. *Précis de climatologie*, Paris, Masson et Cie éditeurs, 468 p.

RIPPERT, C., NOUALS, D., 1988. *Proposition de découpage en secteurs écologiques homogènes de la zone méditerranéenne française*, Cemagref Aix-en-Provence, 43 p. + annexes.

THORNTHWAITE, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate, *The geographical review*, vol. XXXVIII, n° 1, p. 55-94.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, *Publications in climatology*, vol. X, n° 3, Centerton New Jersey - p. 181-311.

