

Le régime hydrique des sols d'Europe, basé sur des données pédologiques et climatologiques courantes. 2 : Application à la France.

W. H. VERHEYE (*)

RÉSUMÉ

La méthodologie développée dans un premier article (VERHEYE, 1989) pour déterminer le régime hydrique des sols d'Europe a été appliquée à la France, tout en gardant l'échelle et le détail d'un contexte européen d'ensemble.

Cet exercice a permis de dégager neuf régimes, dont deux influencés par une nappe d'eau à plus ou moins grande profondeur dans le profil (régimes aquiques et pseudo-aquiques). Les sept autres caractérisent des sols à drainage libre et sont directement dépendants des conditions climatiques et pédologiques du système. Les régimes humides définissent des terres à eau disponible sur l'ensemble de l'année (humide continu) ou avec de faibles risques de déficit hydrique (humide incomplet). Les régions à régimes paraxériques atténué et accentué accusent une sécheresse de 1 à 2 mois par an, sans que celle-ci soit complètement compensée par la réserve d'eau du sol. Les régimes xériques définissent des zones à déficit d'été d'au moins 60-75 jours et une réserve en eau utile du sol peu importante, soit parce que la capacité de stockage est faible, soit parce que les pluies d'hiver ne sont pas suffisamment grandes pour reconstituer le stock d'eau du profil.

Cette étude a permis d'établir une série de cartes, qui forment la base d'une validation en vue d'une application plus générale à l'échelle européenne. Pour ce qui concerne la France, il en ressort que les différents régimes identifiés correspondent dans l'ensemble aux grandes unités de végétation naturelle et/ou de production agricole du pays.

MOTS-CLÉS : régime hydrique - sol - climat - France.

SOIL MOISTURE REGIMES IN EUROPE, BASED ON CURRENT PEDOLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL INFORMATION.

2. APPLICATION TO FRANCE

The methodology developed in a former paper (VERHEYE, 1989) for determining the soil moisture regimes in Europe, has been applied to France as a test area.

(*) - Directeur de Recherches Fonds National de la Recherche Scientifique, Institut Géologique, Université de Gand, Krijgslaan, 281, B-9000 Gand, Belgique.

This exercise made it possible to identify nine regimes. Two of those are influenced by a shallow groundwater table and show a permanent or temporary hydromorphism : aquic and pseudo-aquic regimes (Fig.1). The others have free draining soils (Table I), and their moisture status is essentially determined by the combined effects of climatic conditions and maximum soil moisture retention. The continuous (Fig. 2) and incomplete or interrupted (Fig. 3) humidity moisture regimes have available water for plants over the full year, with small risks of intermediate drier spells for the latter. The paraxeric moisture regimes include a dry period of one (weak paraxeric, Fig. 4) to two months per year (strongly expressed paraxeric, Fig. 5), which cannot completely be recovered by the soil moisture reserve. The xeric regimes correspond to areas with a summer drought of at least 60-75 days (Figs. 6, 7 and 8) and with a poor soil moisture storage, either because the retention capacity is low (shallow depth and/or coarse textures), or because the winter rainfall is too low to fill up the soil moisture stock.

Average starting date and length (in days) of growing periods in the different agroclimatic areas, taking into consideration four different soil types in terms of moisture retention capacity , are calculated in table II.

This study provides a schematic document for validating the method under rather variable conditions in terms of climates and soils. It can hereby be concluded that, in general, the nine moisture regimes described in this study correspond well with the natural vegetation pattern and with the main agricultural production areas of the country.

KEY-WORDS : soil moisture regime - climate - France.

INTRODUCTION

A l'heure actuelle, la Communauté Economique Européenne (CEE) consacre la plus haute priorité à la recherche de nouveaux systèmes de production agricole qui répondent mieux aux réalités du marché, tout en tenant compte des demandes de plus en plus exigeantes pour une meilleure protection de la nature. Afin de réaliser un tel programme il est souhaitable, voire même nécessaire, de pouvoir disposer de manière standardisée sur l'ensemble de la CEE, des éléments qui déterminent ces systèmes de production. A cet égard, le régime hydrique des sols peut être considéré comme un des paramètres-clés de la croissance des plantes et de la production agricole potentielle.

Dans un premier article (VERHEYE, 1989) une méthodologie a été proposée pour déterminer de manière standardisée et à partir des données facilement disponibles, le régime hydrique des sols d'Europe. Ce deuxième volet de l'étude a pour but d'aider à la validation de cette méthodologie pour un certain nombre de territoires-pilotes connus, à commencer par la France, afin d'identifier les paramètres susceptibles d'être améliorés et/ou modifiés en vue d'une application plus générale sur l'ensemble de la Communauté.

I. CONCEPTS ET DÉFINITIONS

Le régime hydrique d'un sol définit l'état d'humidité de la zone racinaire durant une période déterminée. Il est affecté par trois grands paramètres :

- (1) la source d'eau, qu'il s'agisse d'une nappe dans le profil ou du régime pluviométrique de la région,
- (2) la nature du tampon-sol et la réserve utile en eau du profil (RU), déterminée par le volume (c-à-d la profondeur) de la zone racinaire et la capacité de stockage en eau,
- et (3) la perte d'eau par drainage, évaporation directe, et consommation en eau des plantes.

Si on fait abstraction des erreurs de détail, liées à la variabilité locale des sols, tous ces paramètres peuvent être raisonnablement quantifiés, à l'exception de l'évaporation et de la transpiration de la végétation, qui varient en fonction du (micro) climat, de l'espèce végétale et du stade de croissance. En plus, cette consommation s'adapte à la quantité d'eau disponible dans le milieu, la plante ayant en effet tendance à consommer plus que nécessaire en période d'abondance et moins sous conditions de carence (PRUITT, 1960 ; WRIGHT et JENSEN, 1972). Pour résoudre ce problème, de manière générale il a été proposé de fixer la limite du stress hydrique pour toute végétation généralisée à 50 % de l'évapotranspiration potentielle, calculée par la formule de Penman modifiée (DOORENBOS et PRUITT, 1977). Il est évident que l'introduction d'un tel indice unique de stress pourra susciter des commentaires chez des auteurs travaillant sur des cultures spécifiques. Rappelons à cet égard que pour une évaluation généralisée (comme notre approche en est une) et en accord avec les conclusions de FAO (1978), DOORENBOS et KASSAM (1979), FRERE et POPOV (1979), DE PAUW (1989)... ce chiffre de 0,5 x ETP (Penman) est parfaitement acceptable.

Compte tenu de ces considérations théoriques, il est donc possible de définir en premier lieu le régime hydrique du sol par la durée de la période où la pluviométrie mensuelle (P) est supérieure à la moitié de l'évapotranspiration potentielle mensuelle (0,5 ETP). Le début de cette période correspond alors au moment de l'année où $P > 0,5$ ETP (c-à-d au mois de septembre dans la région méditerranéenne) et sa fin coïncide avec la date où, après l'hiver pluvieux, la valeur critique de $0,5 \text{ ETP} > P$ est de nouveau atteinte (c-à-d en avril-mai pour la zone méditerranéenne). Ce temps théorique, où $P > 0,5$ ETP peut ultérieurement être prolongé grâce à la réserve utile du sol et aux remontées capillaires. Cette capacité de stockage peut varier de quelques mm d'eau dans les profils sableux, caillouteux et/ou peu profonds, à plus de 200 mm dans les sols limono-argileux profonds ; elle permet aux plantes de surmonter les périodes sèches intermédiaires et d'étendre le temps de croissance au-delà du seuil du déficit hydrique climatique.

L'intégration de ces critères climatiques et pédologiques et leur application aux conditions françaises, nous a permis de définir neuf régimes hydriques de sols dans le pays. Deux de ces régimes sont influencés par une nappe d'eau à plus ou moins faible

profondeur dans le profil, amenant des conditions d'hydromorphie et d'engorgement à des degrés divers. Les autres régimes de sol sont liés à des profils à drainage libre (Tableau I), et leur état hydrique est essentiellement déterminé par la combinaison des conditions climatiques (1) d'une part et de la réserve en eau utile du profil d'autre part.

Tableau I : Clé des régimes hydriques des sols à libre drainage en fonction des caractéristiques climatiques et pédologiques.

Key to the freely drained soil moisture regimes as a function of the climatic and pedological properties.

Conditions climatiques \ Conditions pédologiques	Réserve maximum en eau utile du sol (mm d'eau par mètre d'épaisseur du profil)			
	- 75	75-125	125-175	175 +
1. Climat perhumide : P > 0,5 ETP 330-360 jours et P > ETP 200 jours +	Régime humide incomplet	Régime humide continu		
2. Climat humide : P > 0,5 ETP 330-360 jours et P > ETP 200 jours-	et/ou interrompu			
3. Climat faiblement xérique : P > 0,5 ETP 300-330 jours et P > ETP 150-200 jours	Régime paraxérique accentué	Régime paraxérique atténué		
4. Climat xérique atténué : P > 0,5 ETP 275-300 jours et P > ETP 175-200 jours	Régime	Régime xérique atténué		
5. Climat xérique : P > 0,5 ETP 275-300 jours et P > ETP 150-175 jours		xérique modal		
6. Climat orthoxérique : P > 0,5 ETP 225-275 jours et P > ETP 150 jours -	Régime xérique accentué			
<p>Note : Les valeurs P et ETP se réfèrent à la pluviométrie et à l'évapotranspiration potentielle calculée mensuelle moyenne (exprimée en mm d'eau)</p>				

(1) Les paramètres climatiques retenus pour cette étude se réfèrent à des moyennes mensuelles sur la période 1930-60 (GARNIER, 1967 ; LANDSBERG, 1970).

II. REGIMES HYDRIQUES RECONNUS POUR LES SOLS DE FRANCE

1. Sols à régime aquique (hydromorphie permanente)

Ces sols couvrent les grandes vallées et dépressions alluviales sous la dépendance d'une nappe d'eau plus ou moins permanente et située à faible profondeur. Le profil pédologique accuse des signes d'hydromorphie évidente, avec un horizon de réduction bien marqué. En saison pluvieuse ces terres sont généralement submergées ; en périodes intermédiaires sèches l'engorgement est complet ou partiel, mais même dans ce dernier cas l'effet de la capillarité reste toujours important. Ces sols gardent donc une bonne réserve en eau utile sur l'ensemble de l'année (360 jours), tout en incluant des conditions anaérobies fréquentes et de longue durée.

Cette unité caractérise les zones de marais et les bas-fonds humides. Par leur forme allongée et relativement étroite, ces derniers ne sont différenciés de manière précise que sur des cartes régionales à grande échelle, tandis que sur le type de documents schématiques envisagés dans le cadre de cette étude (Fig. 1), leur extension est généralement sous-estimée.

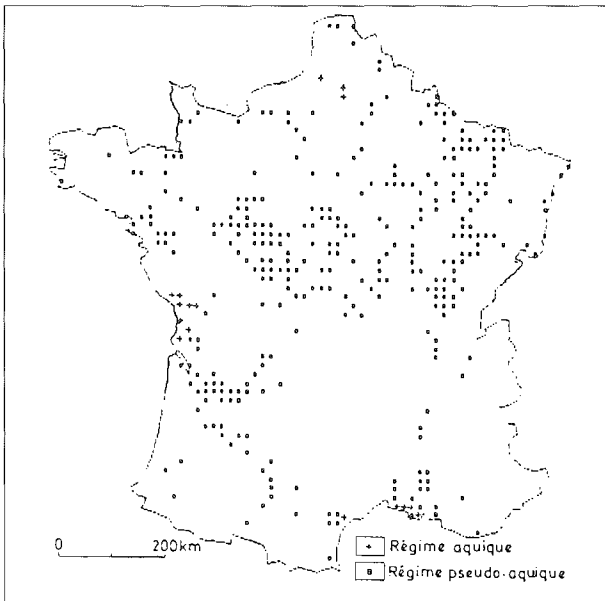


Figure 1 :

Localisation des zones dominées par des sols à régime hydrique de type aquique et pseudo-aquique en France.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having an aquic and pseudo-aquic moisture regime in France

Etant pratiquement indépendante du régime climatique, cette unité s'identifie directement avec les Gleysols, Solonchaks et Histosols de la Carte des Sols de la CEE (EC, 1985). On la rencontre plus particulièrement en Camargue et dans les marais vendéens et poitevins, ainsi que dans les parties basses des grandes vallées (Rhône, Garonne, Somme,...).

2. Sols à régime pseudo-aquique (hydromorphie temporaire et/ou variable)

Ces sols se situent essentiellement dans les vallées alluviales à hydromorphie

temporaire, mais influencées par des apports d'eau de ruissellement, et sur les parties exondées du relief à soubassement géologique peu perméable. Quoique ces terres soient rarement saturées en eau jusqu'en surface, elles peuvent être temporairement engorgées ; la longueur et la fréquence de cet engorgement dépendent directement du régime climatique environnant. Ces sols sont maintenus à un taux d'humidité suffisant pour les plantes sur pratiquement toute l'année, sauf dans certaines vallées de la région méditerranéenne, où un petit déficit hydrique peut se manifester en été dans les horizons de surface. Contrairement à l'unité précédente, ce régime pseudo-aquique comporte des conditions d'aérobic durant une bonne partie de l'année.

Généralement peu affectée par les conditions climatiques environnantes, l'extension de cette unité a essentiellement été associée à celle des Cambisols, Luvisols, Podzols et Podzoluvisols gleyiques et de la plupart des Vertisols et Fluvisols de la Carte des Sols de la CEE (EC, 1985). En France méridionale elle couvre surtout les vallées du Rhône et de la Garonne, avec leurs principaux affluents. Dans le centre-nord du pays, elle ne se limite pas seulement aux grandes vallées (Loire, Seine, Somme,...), mais s'étend également aux terroirs développés sur des substrats à perméabilité réduite (argiles à silex, complexe argilo-marneux, argiles sédimentaires anciennes, etc... de Touraine, Sologne, Brie, Perche, Lorraine et Champagne humide (Fig.1).

3. Sols à régime humide continu

Cette unité couvre les terres à drainage libre non-affectées par une nappe d'eau dans le profil, mais contenant toutefois une bonne réserve en eau disponible sur l'ensemble de l'année. Dans ce régime à humidité permanente, la teneur en eau de la zone racinaire est en premier lieu déterminée par l'importance et la distribution des pluies durant l'année, associée à une capacité de stockage en eau suffisante pour couvrir les éventuels faibles déficits hydriques intermédiaires.

Compte tenu des conditions climatiques en France, ce régime se retrouve presque exclusivement dans les régions à climats perhumide et humide (2). Dans le premier cas (Nord de la Bretagne, Landes, Alpes...) la pluviométrie mensuelle (P) est nettement supérieure à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur au moins 8 à 9 mois de l'année. Même pendant les mois d'été (de mai à août surtout) cette pluviosité reste proche de l'ETP, et le déficit hydrique cumulé ne dépasse que rarement 100 à 125 mm ; il peut donc facilement être couvert dans les sols limono-argileux profonds et moyennement profonds à réserve en eau utile de l'ordre de 75 mm ou plus.

Dans la zone humide par contre, et plus particulièrement dans certaines parties du Bassin de Paris, la pluviosité mensuelle, tout en restant supérieure à l'ETP entre septembre et mars, est nettement moins importante qu'en région perhumide ; de ce fait, elle n'arrive pas toujours à remplir la réserve du sol et à compenser le déficit pluviométrique d'été de 150 mm ou plus. Dans ces conditions climatiques, ce ne sont donc que les sols profonds et de texture fine (avec une réserve en eau utile d'au moins 125 mm) qui peuvent être associés au régime hydrique humide continu ; durant les années sèches, ces

(2) Une description détaillée des régions climatiques en France a été donnée dans un premier article (VERHEYE, 1989).

terres peuvent d'ailleurs subir un léger stress, surtout si elles sont couvertes par des cultures exigeantes en eau (FONTAINE, 1962).

En France, les sols à régime hydrique humide continu s'étendent essentiellement dans le nord et l'est du pays (Fig. 2). Ils couvrent notamment les secteurs atlantiques de la Bretagne et de la Normandie, une bonne partie du Bassin Parisien (Brie, Beauce, Picardie, Champagne,...) et certaines surfaces en Lorraine. On les retrouve également sur les replats à sols argilo-limoneux profonds et peu caillouteux à l'intérieur du Massif Central et des chaînes pré-alpines et pyrénéennes.

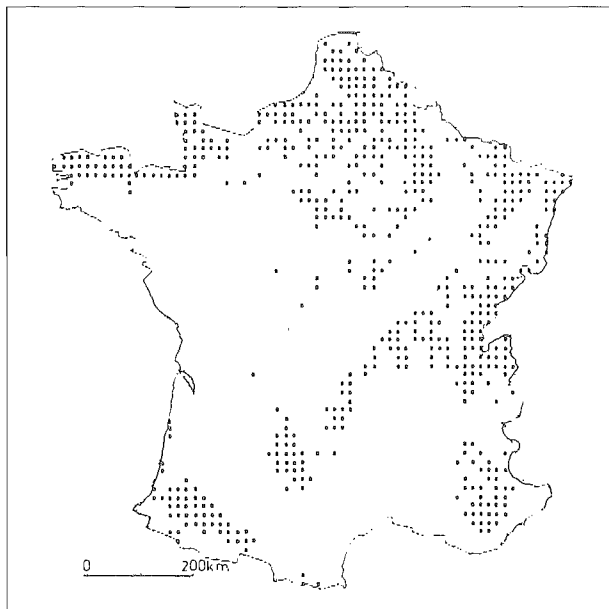


Figure 2 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique humide continu.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having a continuous humid moisture regime.

4. Sols à régime humide incomplet et/ou interrompu

Ce régime constitue une variante de l'unité précédente puisque, même avec une pluviosité relativement constante sur l'ensemble de l'année, le sol peut temporairement présenter un faible déficit hydrique. Ce phénomène est lié à une combinaison de causes climatiques et pédologiques, et est des plus importants dans les années à pluviosité irrégulière, surtout au printemps et en été (CASPAR et DUCLAY, 1964 ; CASPAR, 1965).

Cette unité caractérise (Tableau I) les terres peu et moyennement profondes, graveleuses et/ou sableuses à sablo-limoneuses - c'est à dire avec une réserve en eau utile inférieure à 50-75 mm - situées sous climat perhumide, ainsi que les sols de la zone humide quand leur capacité de stockage en eau ne dépasse pas 125-150 mm. Dans les deux cas, la réserve d'eau accumulée en hiver est vite épuisée par la végétation et la moindre période sèche quelque peu prolongés entre mai et août entraîne rapidement un stress hydrique pour la plante. Ce phénomène peut avoir de sérieuses répercussions économiques, surtout quand le sol porte des cultures exigeantes en eau et/ou sensibles au

stress durant certaines périodes de leur cycle végétatif, comme c'est le cas pour le maïs par exemple (BROCHET *et al*, 1975).

Les sols à régime hydrique de ce type peuvent en premier lieu être associés aux paysages montagneux et accidentés des Vosges, du Jura et des Alpes, ainsi que dans les Pyrénées. On les retrouve également dans les Landes, en Sologne sableuse, et sur toutes les surfaces à sols peu profonds, caillouteux et/ou sableux dans l'ouest, le centre et le nord-est de la France, où ils forment des inclusions plus ou moins importantes à l'intérieur des terroirs à régime humide continu (Fig. 3).

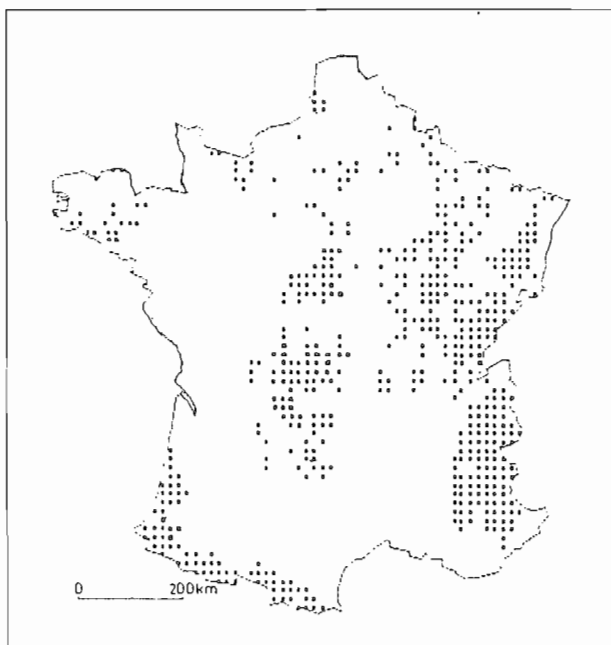


Figure 3 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique humide incomplet et/ou interrompu.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having an incomplete and/or interrupted humid moisture regime.

5. Sols à régime paraxérique atténué

Le régime de sols paraxérique se distingue des variantes précédentes par une période nettement plus sèche en été, sans cependant atteindre le niveau des régions méditerranéennes à sécheresse d'été quasi-complète. Dans ce sens, le régime paraxérique constitue une transition entre les sols humides du Nord de la France et les terres sous influence méditerranéenne. En fonction de l'intensité des pluies d'hiver d'une part et de l'importance de la réserve en eau du sol d'autre part, deux sous-unités ont été différenciées, correspondant respectivement à des conditions atténuées et accentuées.

Le régime paraxérique atténué caractérise des sols à drainage libre, affectés par un bon remplissage des réserves en eau en période pluvieuse et par une période sèche de juin à fin août assez bien marquée, mais inférieure à 2 mois. Les quelques averses d'été, irrégulières mais non négligeables, ne peuvent que temporairement humidifier le profil.

Les régions caractérisées par ce type de régime se situent surtout (Fig. 4) dans le Sud-Ouest de la France, plus particulièrement le long du flanc atlantique du Massif Central. En ces endroits, ce régime s'associe aux sols profonds et limono-argileux situés entre Niort et Angoulême et dans la région s'étendant de Bordeaux à Toulouse et Carcassonne. Plus à l'intérieur du pays, notamment entre Millau et Lyon, leur extension est plus irrégulière et leurs caractéristiques évoluent progressivement vers celles de la variante du type accentué (voir ci-après).

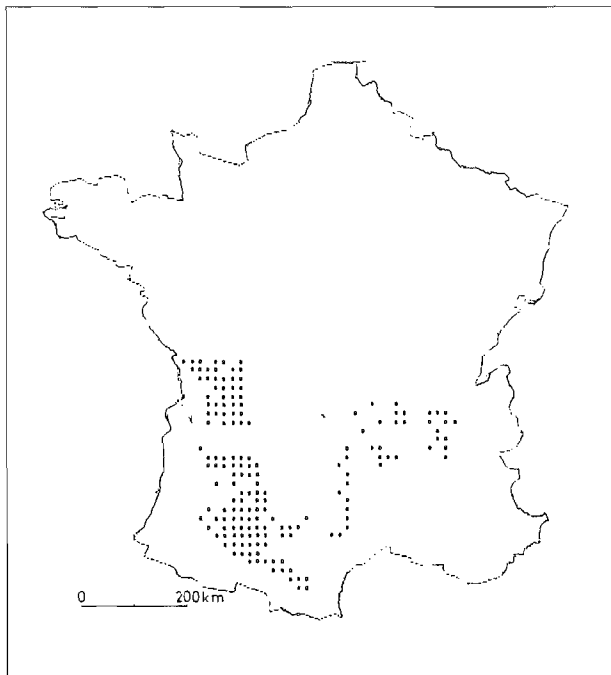


Figure 4 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique paraxérique atténué.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having a weakly expressed paraxeric moisture regime.

6. Sols à régime paraxérique accentué

Le régime paraxérique accentué constitue une variante plus sèche de l'unité précédente. Le régime pluviométrique est du même type, mais le déficit hydrique d'été se développe à partir de mai et se traduit d'une manière nettement plus accentuée dans le sol à cause de la faible réserve en eau de la zone racinaire. Ce dernier phénomène peut être dû à une texture plus ou moins grossière, une épaisseur de sol limitée, liée ou non au relief accidenté ou à l'érosion, et/ou à la présence d'une charge caillouteuse importante.

Les sols de ce type constituent donc un milieu à humidité édaphique suffisante de mi-septembre à avril, mais rapidement déficiente à partir de fin mai. Ce déficit est temporairement interrompu par des averses isolées d'été, mais à cause de la faible capacité de stockage du profil, le manque d'eau périodique entre mai et mi-septembre reste le facteur déterminant pour la mise en place d'une végétation naturelle adaptée et/ou l'introduction de cultures spécifiques.

Quant à l'extension géographique de ce régime (Fig. 5) deux grandes zones se distinguent, couvrant d'une part le Médoc et la rive gauche de la Garonne jusqu'en aval d'Agen, et d'autre part une bonne partie du Massif Central, avec les Causses orientales, les Cévennes et le Vivarais.

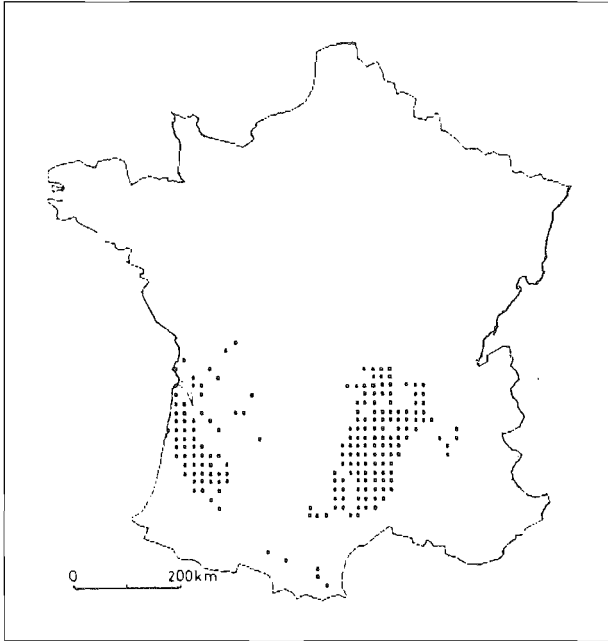


Figure 5 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique paraxérique accentué.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having a strongly expressed paraxeric moisture regime.

7. Sols à régime xérique atténué

Le régime xérique caractérise les sols affectés par une sécheresse d'été prolongée, qui ne peut être compensée par l'humidité stockée dans le profil. En fonction de l'importance du déficit hydrique, trois sous-unités ont été distinguées, correspondant aux types atténué, modal et accentué.

Les sols regroupés dans le régime hydrique de type xérique atténué se situent (Fig. 6) surtout dans le sud de la Bretagne, la Vendée et le Poitou. Ils y subissent un climat nettement plus sec que dans les régions environnantes ; ceci s'exprime par une pluviosité relativement constante, mais cependant limitée à 600-700 mm par an, et surtout par un déficit pluviométrique d'été assez important (250 mm ou plus). Cette situation climatique se reflète dans le régime hydrique des sols qui, tout en disposant d'une bonne humidité entre mi-septembre et fin mai - début juin, passe ensuite par une période sèche, qui ne peut être compensée par l'eau accumulée dans le profil. Cette réserve d'eau disponible au début de l'été est souvent assez limitée ; elle n'est pas nécessairement due aux propriétés hydrodynamiques du sol, mais est plutôt liée à la quantité, l'intensité et la répartition des pluies d'hiver, qui ne réussissent pas toujours à saturer complètement le profil.

Le régime xérique atténué forme la transition entre les sols à régime paraxérique accentué et les unités xériques au sens strict. Il se distingue des premiers par l'importance du déficit hydrique d'été et par le fait que ce dernier ne peut être compensé par l'eau accumulée dans le profil ; il se différencie des seconds par l'apparition durant les mois d'été, de quelques pluies utiles au sol, ce qui n'est pas le cas dans les régions méditerranéennes typiques.

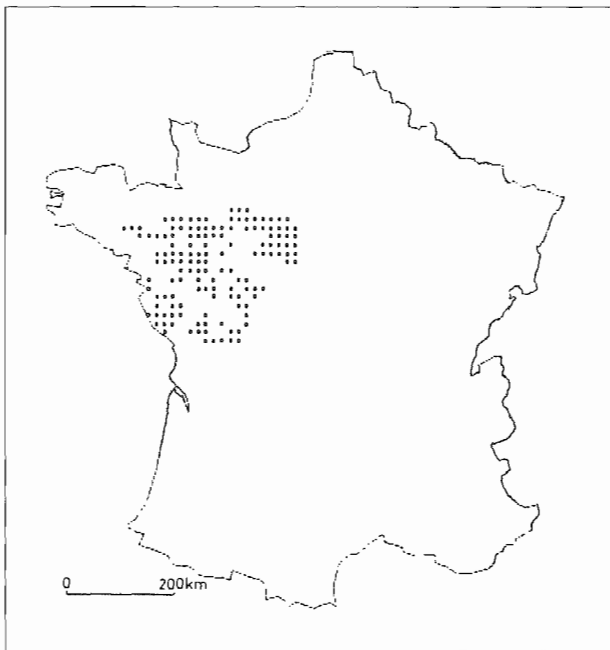


Figure 6 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique xérique atténué.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having a weakly expressed xeric moisture regime.

8. Sols à régime xérique modal

Le régime du type xérique modal se distingue par une période d'hiver bien arrosée, suivie d'un été à déficit très accentué et prolongé. Ceci est dû à la particularité du climat d'une part, qui accuse une sécheresse d'été et d'un déficit pluviométrique d'au moins 300 mm, et d'autre part à la faible rétention en eau du profil, soit en raison d'une capacité de stockage limitée, soit parce qu'à la fin de l'hiver, la réserve du sol n'a pas été remplie complètement.

Sous ces conditions, le sol reçoit une importante quantité d'eau de pluie entre septembre et avril (175 à 200 jours humides), mais à la suite de la reprise de la végétation au printemps, le sol s'assèche rapidement à partir de juin. Pendant les 3 mois d'été suivants, les pluies, sans faire complètement défaut, sont peu fréquentes et pratiquement inutiles pour la végétation, car elles ne sont pas en mesure de garantir une humidité continue. Toute agriculture comprenant des espèces actives pendant cette période d'été a donc besoin d'un apport supplémentaire d'eau d'irrigation.

Cette unité se retrouve essentiellement en Languedoc et en Provence, avec des sols

à réserve utile d'au moins 75 mm ; y ont été associées les terres sableuses et/ou peu profondes et caillouteuses de la Bretagne méridionale, de la Vendée et du Poitou, où les caractéristiques du climat se répercutent directement sur l'état d'humidité du profil, sans que l'effet du sol-tampon s'y remarque de façon déterminante (Fig 7).

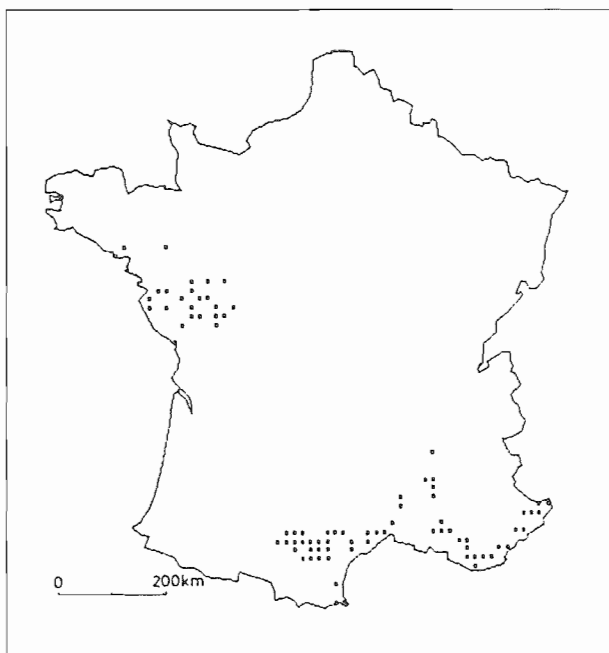


Figure 7 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique xérique modal

Schematic localisation of the areas dominated by soils having a modal xeric moisture regime.

9. Sols à régime xérique accentué

Cette unité se situe exclusivement dans la région méditerranéenne (Fig. 8) à hivers relativement pluvieux, alternés d'étés à déficit hydrique prolongé et bien marqué.

Dès la fin de la saison pluvieuse, en mars-avril, la consommation en eau par la végétation dépasse rapidement la quantité d'eau apportée par les pluies ; quelle que soit la capacité de stockage, le sol se dessèche alors en quelques semaines. A partir de mi-mai un déficit hydrique s'installe pour une période de 3 à 4 mois, à peine interrompue par quelques pluies d'été, qui ne sont d'ailleurs pas en mesure de modifier sérieusement l'état hydrique du profil. Une végétation qui n'est pas adaptée à ces conditions xériques ne peut survivre sans apport d'eau supplémentaire.

III. DISCUSSIONS

Cette étude constitue une tentative d'interprétation intégrée de données climatologiques et pédologiques dans un but d'inventaire et de planification agronomique à petite échelle (1/1 000 000). Elle a été conçue de manière à pouvoir déterminer rapidement et à partir d'une banque de données complexe, le régime hydrique

du sol comme un des outils d'une planification agronomique en Europe. Avec les moyens modernes de l'informatique, la quantité d'études analogues est grande, et il est à prévoir que dans un proche avenir, ce genre de travaux se développera encore davantage. Cependant, la valeur et l'utilité du document final ainsi obtenu seront toujours dépendantes de la quantité, la qualité et de la standardisation des données introduites à la base, du concept et de la flexibilité du modèle utilisé et surtout de la validation du résultat.

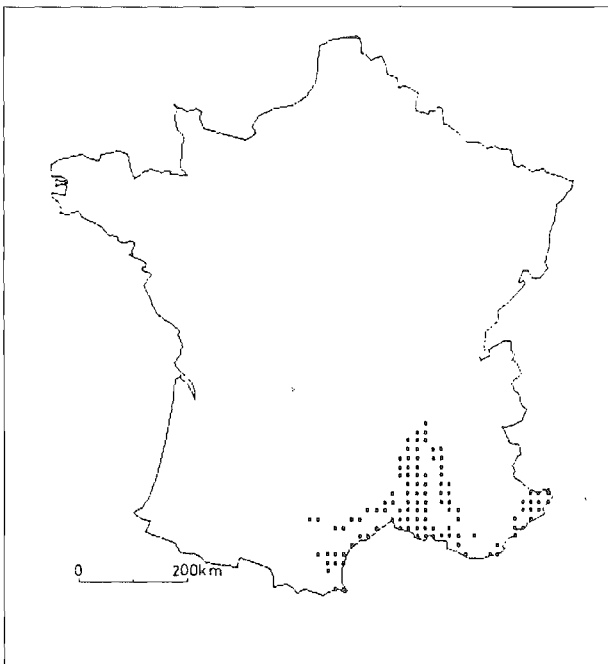


Figure 8 :

Localisation schématique des zones dominées par des sols à régime hydrique xérique accentué.

Schematic localisation of the areas dominated by soils having a strongly expressed xeric moisture regime.

La nature de l'information utilisée au départ a été discutée *in extenso* dans un premier article (VERHEYE, 1989). Rappelons pour mémoire que les données climatiques pour cette étude se réfèrent à des moyennes mensuelles qui, inévitablement, masquent les variabilités interannuelles et surtout les conditions extrêmes. Quant aux unités pédologiques, il est à noter que nous avons à faire à des associations de sols, comprenant des propriétés et des potentialités fort différentes, mais ayant le grand avantage d'être déjà harmonisées au niveau de la CEE. Sur la base d'une information si hétérogène et généralisée, il est évident que les conclusions finales ne doivent s'appliquer qu'à l'échelle indiquée.

Une deuxième remarque concerne le type de modèle utilisé. Celui-ci dépend en effet de la connaissance du problème et de l'objectif en vue (c-à-d les variables prises en compte dans la simulation), sans oublier l'aire géographique qu'il est censé couvrir. Dans le cas du régime hydrique du sol, on peut ainsi se contenter d'un simple bilan d'eau, modélisé à partir de la différence entre la sortie (ETP) et l'entrée d'eau (P), et complété par un facteur faisant état de la réserve du sol. Dans une approche plus raffinée, on

pourrait tenter d'étendre ce concept au bilan pédoclimatique en introduisant les remontées capillaires et les condensations, ainsi que les écoulements superficiels et le drainage. Vu dans un contexte plus général de planification agronomique, le présent modèle devra ultérieurement être complété par des données sur la température, l'insolation, les dates de semis, de floraison et de récolte...

Compte tenu de notre objectif de départ, c'est-à-dire la mise au point d'une évaluation rapide et standardisée du régime hydrique du sol comme outil de planification générale, nous avons opté pour un modèle simplifié fondé sur des données disponibles (ou relativement faciles à calculer) de P, ETP et RU = réserve (maximale) d'eau du sol. Cette approche n'a donc aucune prétention d'application directe pour l'agriculture en détail. En effet, quel que soit le modèle utilisé, il existe toujours une difficulté pour quantifier de manière correcte et détaillée le bilan hydrique et surtout la consommation en eau de la culture. Même si cette consommation, ainsi que les autres pertes du sol, sont surtout dépendantes des éléments climatiques - d'où l'origine et la nature des formules mathématiques d'évaluation de l'ETP (PENMAN, 1948 ; TURC, 1961; ...) - elle restent néanmoins largement influencées par toute une série d'autres facteurs (GOUJON, 1932 ; BROCHET et GERBIER, 1968) :

- l'environnement naturel de la parcelle, y compris l'effet d'oasis ;
- l'espèce végétale, son comportement et ses besoins en eau durant les différents stades du cycle de croissance ;
- et surtout les propriétés pédologiques, qui sont loin d'être homogènes.

Enfin, il reste le problème de la validation des résultats. A notre connaissance, il n'existe pas d'études toutes prêtes qui donnent des résultats sur le régime hydrique mesuré sur place, à part quelques travaux très localisés, qui n'ont pas de valeur représentative pour l'échelle qui nous concerne. La validation doit donc se faire de manière indirecte ou par un contrôle des régimes délimités dans cette étude.

Comme exemple d'une validation indirecte, on peut se référer à la bonne corrélation qui existe entre les différents régimes hydriques et la nature et l'extension des grands ensembles de la végétation spontanée (GOUJON, 1932 ; EMBERGER, 1955 ; ATLAS DE FRANCE, s.d.) ou des grandes unités de production agricole du pays : maïs (BROCHET *et al.*, 1975) blé (BROCHET *et al.*, 1977), vignobles (GERBIER et REMOIS, 1977), betteraves sucrières (CHOISNEL *et al.*, 1983). C'est ainsi qu'on a pu constater qu'en zone méditerranéenne, où le régime hydrique est plus important que l'évolution des températures, le semis du blé d'hiver commence dans la quinzaine qui suit le début de la période caractérisée par $P > 0,5$ ETP en automne, et que le début de la moisson de ce même blé se situe 15-20 jours après la fin de l'état humide (ou le début du temps de déficit hydrique) dans la région ; ces dates correspondent respectivement au 20-30 juin dans la zone méditerranéenne à régime paraxérique. Cette corrélation avec la période de croissance ne peut évidemment s'étendre en montagne ou dans les parties nord du pays à cause de l'intervention du facteur température.

Le tableau II indique le début, la durée (en jours) et la fin de la période où le sol est humide, c'est-à-dire où la somme $P + RU$ est supérieure à 0,5 ETP pour les différents types de sols autour de quelques stations-type en France.

Tableau II : Début et longueur (en jours) et fin de la période de l'année où le sol est humide ($P + RU > 0,5$ ETP) dans les différents sols autour de quelques stations-types de France.

Start, length (in days) and end of period in the year during the soil is humid $P + RU > 0,5$ ETP in the soils around some reference stations in France.

Station et régime climatique*	Période où $P + RU > 0,5$ ETP			Type de régime hydrique du sol
	Début	Fin	Longueur (j)	
BESANÇON (Perhumide)	Continue avec peu de périodes intermédiaires sèches			Humide incomplet (risque de pér. sèches) Humide continu id. id.
		(F)**	360-	
		(M)	360	
		(MG)	360	
		(G)	360	
METZ (Humide)	Continue avec périodes intermédiaires sèches			Humide incomplet (risque de pér. sèches) Humide continu id.
		(F)	360-	
		(M)	360-	
		(MG)	360	
		(G)	360	
AGEN (Faiblement xérique)	17/8	(F)=28/6	311	Paraxérique acc. id
		(M)=7/7	320	id
		(MG)17/6	330	Parxérique att. id.
		(G)=25/6	325	id.
NANTES (Xérique atténué)	5/8	(F)=1/6	295	Xérique modal id.
		(M)=10/6	305	id.
		(MG)17/6	315	Xérique atténué id
		(G)=25/6	325	id
CARCASSONNE (Xérique)	29/8	(F)=8/6	280	Xérique accentué id
		(M)=17/6	289	id
		(MG)23/6	296	Xérique modal id
		(G)=30/6	302	id
MONTPELLIER (Orthoxérique)	26/8	(F)=1/5	244	Xérique accentué id
		(M)=8/5	252	id
		(MG)15/5	259	id
		(G)=22/5	267	id

(*) Pour le régime climatique concerné, se référer au tableau I.

(**) F = sols à faible réserve utile (RU) : - 75 mm ; M = sols à RU moyenne : 75 à 125 mm ; MG = sols à RU importante : 125-175 mm ; G = sols à RU très importante : 175 mm+.

CONCLUSION

En conclusion, on peut admettre que la méthodologie développée et appliquée à la France, donne des résultats globalement satisfaisants quant à la différenciation des régimes hydriques des sols d'Europe ; combinée avec des paramètres de température et d'insolation, elle pourrait constituer un outil réaliste pour déterminer ultérieurement la période de croissance et l'extension des différentes cultures.

Reçu pour publication : Août 1988

Accepté pour publication : Avril 1990

BIBLIOGRAPHIE

- ATLAS DE FRANCE (s.d.). – Régions florales : Etages et zones de végétation, planche 27. Edit. Comité Nat. Géogr., Paris.
- ATLAS DE FRANCE (s.d.). – Tapis végétal, planches 31 à 34. Edit. Comité Nat. Géogr., Paris.
- BROCHET P. et GERBIER N., 1968. – L'évapotranspiration : Aspects agrométéorologiques. Evaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. *Monogr. Météorol. Natl*, n° 65, 67 p.
- BROCHET P., GERBIER N. et BEDEL J., 1975. – Contribution à l'étude agrométéorologique du maïs : application à la prévision des phases phénologiques et des rendements. *Monogr. Météorol. Natl*, n°95, 66p.
- BROCHET P., BROCHET N. et REMOIS P., 1977. – Etude agrométéorologique du blé tendre d'hiver. *Monogr. Météorol. Natl*, n°101, 79p.
- CASPAR P., 1965. – La sécheresse de l'année 1963-64. *L'Eau*, vol. 50 (10), 12 p.
- CASPAR P. et DUCLAY J., 1964. – Bilans hydrologiques pour 27 bassins français. *Monogr. Météorol. Natl*, n° 49, 34 p.
- CHOISNEL E., GERBIER N., FAUCHERES J. et HUYGUE B., 1983. – Les besoins en eau de la betterave sucrière : variabilité climatique. Note Techn. Direct. Météor., Boulogne-Billancourt, 38p.
- DE PAUW E., 1989. – *Models of the climatic growing period. An inquiry into concepts, analysis and applications in regional agricultural planning*. Thèse Doct., Univ. Gand (Belgique), 450 p.
- DOORENBOS J. & PRUITT W.O., 1977. – *Crop Water requirements*. FAO Irrig. and Drainage Paper 24, FAO Rome, 144 p.
- DOORENBOS J. & KASSAM A. H., 1979. – *Yield response to water*. FAO Irrig. and Drainage Paper 33, FAO Rome, 193 p.
- E.C., 1985. – Soil map of Europe at scale 1/1 000 000 with explanatory text. Publ. Agric. Divis., Europ. Comm. Brussels, 124 p.
- EMBERGER L., 1955. – Une classification géobotanique des climats. *Rec. Trav. Laborat. Bot., Géol., Zool., Fac. Sci., Montpellier, sér. Bot.*, 37 p.
- FAO, 1978. – *Report on the agro-ecological zones project Vol. 1 : Methodology and results for Africa*. World Soil Res. Report 48, FAO Rome, 158 p.
- FONTAINE P., 1962. – La sécheresse de l'été 1962 : Aspects hydrométéorologiques. *L'Eau*, 49 (12).
- FRERE M. & POPOV G. F., 1979. – *Agrometeorological crop monitoring and forecasting*. FAO, Plant Production and Protection paper 17, FAO Rome, 64 p.

- GARNIER M., 1967. – Climatologie de la France : Sélection des données statistiques. *Mem. Météorol. Natl.*, n° 50, 490 p.
- GERBIER N. et REMOIS P., 1977. – Influence du climat sur la qualité et la production en vin de Champagne. *Monogr. Météorol. Natl*, n° 106, 45 p.
- GOUJON G., 1932. – Les relations entre la végétation française et le climat. *Mémorial Office Nat. Météor. France*, n° 23, 186 p.
- LANDSBERG H.E., 1970. – *World survey of climatology. Vol 5 : Climates of Northern and Western Europe*. Elsevier Publ. N. York, 253 p.
- PENMAN H.L., 1948. – Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. r. Soc. London*, ser. A, 193, 120-146.
- PRUITT W.O., 1960. – Relation of consumptive use of water to climate. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, 3 (1), 9-13.
- TURC L., 1961. – Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.*, 12, 13-50.
- VERHEYE W.H., 1989. – Le régime hydrique des sols d'Europe, basé sur des données pédologiques et climatologiques. 1 : Principes et approche méthodologique. *Sci. du Sol*, 27 (2), 117-130.
- WRIGHT J.L. & JENSEN M.E., 1972. – Peak water requirements of crops in Southern Idaho. *J. Irrig. and Drain. Div. ASCE*, 96, 193-201.

