

Le régime hydrique des sols d'Europe, basé sur des données pédologiques et climatologiques courantes

Principes et approche méthodologique

W.H. VERHEYE⁽¹⁾

RESUME

Le bilan hydrique du sol constitue un facteur déterminant dans l'évaluation du potentiel agricole des terres. Il dépend en premier lieu d'une combinaison de conditions physiographiques, climatologiques et pédologiques, liées à la consommation en eau du couvert végétal.

Au niveau européen où, suite à la nouvelle politique agricole du CEE, d'importantes modifications sont à prévoir dans l'extension des cultures, la connaissance du régime hydrique des sols peut contribuer de manière décisive aux choix des nouvelles orientations agricoles. Dans ce contexte européen, cet article présente une méthodologie de travail et une réflexion de synthèse permettant de définir de manière quantitative les principaux régimes hydriques des sols d'Europe, et ceci à partir des données disponibles à une petite échelle.

Ces régimes hydriques ont été évalués pour les sols à drainage libre à partir d'un simple bilan d'eau qui tient compte de la pluviométrie (P), de l'évapotranspiration potentielle calculée par la méthode Penman modifiée (ETP) et de la réserve utile maximale du sol (Ru). Pour le cas des sols hydromorphes et/ou de dépression l'impact de la nappe d'eau et du ruissellement par voie latérale a également été pris en considération.

Les bas-fonds et dépressions du paysage ont un régime hydrique qui est influencé avant tout par la présence d'une nappe souterraine à plus ou moins grande profondeur. Dans les parties hautes du paysage et sur les terres exondées l'humidité du sol est surtout déterminée par le régime pluviométrique, lié à la capacité de stockage en eau du profil, et par la consommation d'eau du couvert végétal.

MOTS CLEFS : Régime hydrique - Eau utile - Sols d'Europe.

SOIL MOISTURE REGIMES IN EUROPE, BASED ON CURRENT PEDOLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL DATA : PRINCIPLES AND METHODOLOGICAL APPROACH

The moisture balance of a soil is a major determinant in both the pedo-genetic evolution and its potential for crop production. It depends mainly on a combination of physiographical, climatological and soil factors, as well as on the water consumptive use of the plant cover.

At the European level where, as a result of the new agricultural policy within the EC, important modifications in the current land use pattern may be expected, a good knowledge of the soil moisture balance may be of a paramount importance in the selection of new crops and/or in the reclamation and improvement of land.

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

For evaluation and decision-making at an overall European level it is however necessary that moisture regimes, in terms of definition and extension, be characterized on the basis of uniform and completely standardized, resp. correlated information. This article presents a methodology to achieve this goal.

A proper quantification of those regimes, defining both the length of time that moisture is available and the amount of water present in the rootzone requires however a minimal set of reliable data, which are not always directly available. Hence, a synthetic reflexion is needed to collect and interpret such information or to derive it from indirect sources.

The lower parts of the landscape and the depressions have a moisture regime which is largely affected by the presence of a groundwater table at shallow depth ; those areas may be identified as having a complete or partial, resp. temporary hydromorphic soil moisture regime. On the higher parts of the landscape soils have a free drainage and the available plant moisture depends largely on the combined effects of rainfall (P) in terms of amount and distribution over the year — in particular the length of time that rainfall exceeds half the (Penman calculated) potential evapotranspiration (ETP) — and of the moisture holding capacity (Ru) of the rootzone. Based on the relative importance of those variables a series of non-hydromorphic moisture regimes can be differentiated in France. Those include in particular (1) a year-round humid regime, which can subsequently be subdivided on the occurrence of more (perhumid) or less than 250 days per year (humid s.s.) with a full soil water saturation, (2) a pseudoxeric regime, with a weak moisture deficit over less than 2 months and a soil moisture saturation over more or less than 200 days per year, (two subunits), and finally (3) a xeric regime with 3 different sub-regimes (identified as weakly, typical and strongly xeric) depending on the length (in days) of the soil moisture stress.

INTRODUCTION

L'état d'humidité d'un profil est une donnée importante qui, à la fois affecte la pédogénèse et détermine l'aptitude culturale du sol. La présence et le libre mouvement d'eau dans le sol durant une plus ou moins longue période de l'année gouvernent les processus de dissolution et de lessivage dans la zone d'altération et conditionnent l'état physico-chimique et nutritif du profil. L'humidité disponible et l'équilibre air-eau dans la zone racinaire interviennent également dans le développement de la plante et tout excès, dans un sens ou dans l'autre, nuit à la croissance végétative et à la productivité des cultures.

Une bonne connaissance du bilan hydrique des sols s'impose donc comme une condition préalable pour évaluer de manière réaliste le potentiel agricole des terres. Ceci prend d'autant plus d'importance qu'à l'heure actuelle, aussi bien au niveau national qu'europpéen, il est devenu classique de comparer différents scénarios d'utilisation de terre, notamment pour remédier aux surproductions agricoles au sein de la Communauté Européenne (EC, 1985). Ainsi, l'étude du rôle et de l'impact des paramètres qui affectent cette productivité est d'une importance primordiale. Le régime hydrique des sols, qui englobe à la fois des critères pédologiques et climatiques, peut alors être considéré comme un des paramètres-clés à cet égard.

L'objectif de cet article est de présenter une méthodologie de travail qui permette de définir et d'évaluer la nature et l'extension des principaux régimes hydriques des sols en Europe, tout en utilisant les critères et paramètres disponibles, et forcément standardisés sur l'ensemble de la Commu-

nauté européenne. Cette étude est en effet basée sur les données de la Carte des Sols des Pays de la CEE à l'échelle 1/1 000 000 (EC, 1985) et d'une Banque de données agroclimatologiques préparée par l'auteur. Il est dans notre intention d'étendre ces travaux à l'ensemble des 12 pays de la Communauté Européenne et de préparer des cartes à petite échelle qui, même si elles ne fournissent pas toujours tous les détails, ont toutefois le grand avantage de présenter une vue d'ensemble et/ou de fournir un document de synthèse qui, par la suite, peut être employé comme base pour les futures planifications au niveau généralisé de la Communauté Européenne.

En développant la méthodologie proposée dans ce premier article, différents exemples seront présentés qui s'appliquent aux conditions spécifiques de la France. Une deuxième contribution qui fera suite à cette introduction théorique, traitera de manière plus approfondie les régimes hydriques des sols de France. Le choix de la France comme territoire-pilote a été volontaire car, si ce pays inclut à la fois une importante variabilité de sols et de climats, il dispose également de nombreux résultats de recherche dans le domaine de l'agropédologie et de l'agriculture irriguée. C'est ainsi que, pour ce cas spécifique, notre étude constitue en quelque sorte une suite aux travaux antérieurs de l'INRA sur l'identification et la cartographie des sols affectés par l'hydromorphie et sur les réserves en eau des sols de France (MORI, 1982).

I. FACTEURS INFLUENÇANT LE BILAN HYDRIQUE DU SOL

Les vides du sol sont remplis d'air ou d'eau, et l'importance de l'une ou l'autre composante détermine l'état d'humidité du profil. Un sol est agronomiquement humide s'il contient de l'eau disponible, c'est-à-dire retenue avec une tension inférieure à 15 bars, considérée comme la succion maximale que les plantes peuvent exercer pour retirer cette eau du milieu radiculaire. Cet état d'humidité n'est pas statique mais évolue dans le temps, et le régime hydrique qui reflète cette situation évolutive dépend alors d'une combinaison de facteurs physiographiques, climatiques et pédologiques, ainsi que de la consommation effective en eau de la végétation.

A) FACTEURS PHYSIOGRAPHIQUES

L'impact de la physiographie ne peut être séparé des contextes climatiques et pédologiques. Compte tenu de la position du sol dans le paysage, trois situations peuvent se présenter :

Le premier cas concerne les bas-fonds et dépressions humides où, suite à la présence d'une nappe d'eau à faible profondeur, le profil est complètement saturé en eau durant la plus grande partie de l'année. Ce type de sols hydromorphes, qui est impropre au développement d'une végétation mésophyte, s'identifie sur la carte pédologique au niveau le plus haut de la classification et incorpore notamment les Gleysols, Solonchaks et Histosols (EC, 1985). A cet égard, il est à rappeler que les Solonchaks de la Carte des Sols d'Europe sont constitués pour plus de 70 % de sols hydromorphes, et que les Solonchaks Orthiques mieux drainés situés dans le delta du Rhône ont été considérés comme des inclusions.

Un deuxième groupe de sols caractérise les zones de bas fonds et terres associées où la nappe d'eau, située à moyenne profondeur, ne contribue qu'en partie à l'humidité de la zone radiculaire par l'intermédiaire de la capillarité. D'ailleurs, à la suite de leur position souvent basse dans le paysage, ces sols récoltent, en plus de la pluviométrie enregistrée, une quantité non négligeable d'eau de ruissellement provenant des terres environnantes. Ce groupe couvre

des sols classés comme Fluvisols dans les basses plaines, ainsi que la plupart des terres identifiées comme Cambisols, Luvisols et Podzols gleyiques sur substrats peu perméables (EC, 1985).

Le troisième cas, par ailleurs le plus fréquent, concerne les paysages couverts par des sols à drainage libre, où le régime hydrique du profil est complètement dépendant des conditions climatiques environnantes et plus particulièrement de la hauteur et de la distribution des pluies.

Si dans ces conditions on peut considérer que sur les pentes faibles et moyennes (0-8 %) la perte d'eau par ruissellement en surface est relativement faible, il est indéniable que sur des pentes supérieures cette perte est beaucoup plus importante, où elle dépend alors également de la couverture végétale. Vu la complexité du phénomène, il est toutefois difficile, voire même impossible (tout au moins à l'échelle qui nous concerne) d'avancer une estimation réaliste sur cette quantité d'eau de pluie non-utile au sol dans ces paysages accidentés. De ce fait, nous avons procédé à une évaluation indirecte en omettant d'une part de réduire la pluviométrie par un facteur de ruissellement peu adéquat, mais en accentuant d'autre part la faible capacité de stockage d'eau de ces sols de pente. Cette hypothèse de travail est basée sur la constatation que, en général, les sols à pente supérieure à 8 % constituent des unités à profondeur limitée et/ou graveleuses, ayant une capacité de stockage d'eau réduite. Cette approche s'associe aux idées développées par MOKADEM et al. (1988) pour l'évaluation de la réserve en eau utile de certains sols des Ardennes belges.

B) FACTEURS CLIMATIQUES

Les conditions climatiques, et plus particulièrement la hauteur et la nature des pluies, constituent l'élément dominant affectant le régime hydrique des sols à drainage libre. La pluviométrie enregistrée ne correspond toutefois pas nécessairement à la quantité d'eau utile pour la plante ou le sol. En effet, l'eau d'une averse tombant sur une surface couverte par une végétation ne pénètre qu'en partie dans le sol. A part l'eau perdue par ruissellement (voir ci-dessus), une certaine fraction de la pluie est directement évaporée, tandis qu'une autre partie est consommée par la plante. La quantité d'eau retenue dans la zone racinaire jusqu'à saturation complète correspond alors à la totalité de la pluie enregistrée (P), diminuée par l'évapotranspiration (ET ; c'est-à-dire : évapotranspiration directe + consommation d'eau par la plante) et par la perte de ruissellement (R). Compte tenu de l'hypothèse émise dans le chapitre précédent ce dernier facteur n'a pas été pris en considération ($R = 0$) pour ce travail.

Etant donné que les enregistrements pluviométriques généralement employés pour les travaux à petite échelle (cf. les différents bulletins climatologiques des Services Météorologiques Nationaux se présentent sous forme de moyennes mensuelles, il n'est nullement possible de prendre en compte l'évaporation directe après chaque pluie. En outre, il est difficile, voire même utopique, de vouloir évaluer dans le détail l'importance de la transpiration d'un couvert végétal si variable et à densité si inégale, surtout à l'échelle du travail concerné ici. Pour trouver une solution à ce problème, nous avons fait appel au principe de l'évapotranspiration potentielle (ETP), évaluée à partir de paramètres physiques. Ainsi, nous avons d'abord calculé une valeur ETP valable pour l'ensemble d'une zone climatique — et considérée comme l'évapotranspiration de référence (ET₀) — puis, nous l'avons ajustée aux conditions spécifiques de la végétation par l'introduction d'un facteur de culture (kc).

Il n'est pas dans notre intention de rentrer dans la discussion sur les modes de calcul de l'ETP. Il existe différentes méthodes (PENMAN, 1948 ; BLANEY et CRIDDLE, 1950 ; THORNTH-WAITE et MATHER, 1955 ; TURC, 1961) plus ou moins adaptées aux conditions spécifiques de la zone pour laquelle elles ont été développées, mais rarement applicables à une échelle plus générale.

En plus, les résultats sont souvent assez variables et difficiles à corrélérer, comme il a été démontré par les études comparatives de BRIGGS (1983) et VERHEYE (non publié).

Par souci d'uniformité et inspiré par les travaux de la FAO dans le cadre du projet des zones agro-écologiques (FAO, 1978), nous avons opté pour la méthode Penman, modifiée dans le sens proposé par DOORENBOS et PRUITT (FAO, 1977) d'une part et par FRERE et POPOV (FAO, 1979) d'autre part. L'équation de calcul pour la détermination de l'évapotranspiration de référence ETo prend alors la forme :

$$ETo = c [W.Rn + (1 - W) . f(u) . (ea-ed)] \quad (1)$$

où c est le facteur de compensation entre les conditions atmosphériques de jour et de nuit ;

W le facteur d'ajustement lié à la température ;

Rn le rayonnement net, exprimé en mm d'évapotranspiration par jour ;

$f(u)$ la fonction liée à l'effet du vent ;

$(ea-ed)$ la différence entre la pression de vapeur saturante à la température moyenne et la pression de vapeur ambiante, exprimées en mbar.

Le rayonnement net Rn correspond (2) à la différence entre les rayonnements nets d'ondes courtes (Rns) et d'ondes longues (Rnl). Converti en unités de chaleur il peut être exprimé en mm d'évapotranspiration par jour. De plus, la valeur Rns peut être obtenue par la formule (3) :

$$Rn = Rns - Rnl \quad (2)$$

$$Rns = (1 - \alpha) Rs \quad (3)$$

où α correspond à la réflexion de la surface. Cette valeur varie avec la couverture du sol et est de l'ordre de 25 % pour la plupart des cultures. On peut donc considérer que $(1 - \alpha) = 0,75$.

Le rayonnement solaire Rs peut être obtenu à partir de la radiation extra-terrestre (Ra), exprimée en mm d'évapotranspiration par jour, corrigée par l'importance et la durée de l'ensoleillement. Pour des raisons théoriques et à partir de données expérimentales DOORENBOS et PRUITT (1977) ont proposé la formule (4) :

$$Rs = (a + b n/N) : Ra \quad (4)$$

où n/N correspond au nombre d'heures d'ensoleillement enregistré par jour (n) par rapport au nombre maximal et théorique (N), et $a = 0,25$ et $b = 0,50$.

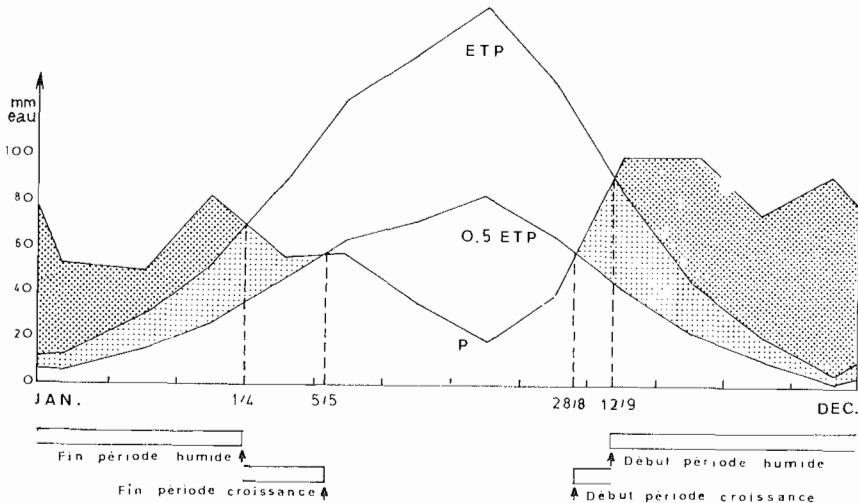
Si l'ETP calculée constitue une mesure chiffrée et une valeur de référence pour la quantité d'eau (maximale) qui pourrait être consommée, soit par l'activité de la végétation, soit par évaporation directe, cette valeur varie par contre durant la saison en fonction de la nature, de la densité et de l'activité des plantes. Elle doit donc être corrigée par un coefficient kc lié aux cultures, qui peut varier entre 0,25 et 0,60 pour les périodes de germination et de maturation, et entre 0,50 et 1,20 — exceptionnellement davantage — pour les périodes de développement maximal des cultures les plus exigeantes en eau.

En considérant une valeur kc de l'ordre de 0,50 — ce qui veut dire que les besoins en eau de la plante sont au minimum de 50 % de l'évapotranspiration potentielle (calculée) — on peut admettre que sous certaines conditions de températures non-limitantes (voir ci-après) la période de croissance correspond au temps (en jours) où la pluviométrie est égale ou supérieure à $0,50 \times ETP$. A l'intérieur de cette période et en fonction de l'importance de la pluviométrie, on peut distinguer une période nettement humide, durant laquelle P est égale ou supérieure à ETP . Cette période de croissance, et plus particulièrement son aspect agrohydrologique, ainsi définie sur des critères purement climatiques, peut par la suite être ajustée en fonction de la capacité de stockage d'eau de la zone racinaire du sol (voir ci-après).

A partir de ces considérations et sous forme d'exemple, nous avons successivement pu déterminer pour quelques 400 stations en Europe, dont environ 80 situées en France (1), l'évapotranspiration de référence ETP = ETo (2), la consommation en eau théorique de la végétation, correspondant à 0,5 ETP, et (3) le début, la fin et la longueur des périodes de croissance (P égale ou supérieure à 0,5 ETP) et humides (P supérieure à ETP) telles que définies par la FAO (1978).

D'après cette méthode, une telle période de croissance (fig. 1) se compose alors dans le contexte français et européen d'un temps préhumide de germination ($P \geq 0,5$ ETP), suivi d'une période nettement humide ($P > ETP$), où l'excès d'eau n'est pas seulement utilisé à profit par les plantes en plein développement végétatif, mais sert également à remplir la réserve d'eau du sol, et

MONTPELLIER
 Lat. 43° 35' N
 Long. 3° 58' E
 Altid. 5 m



Critères climatiques :

Pmm	54	50	83	57	58	36	20	40	102	101	76	94
ETPmm	13	31	52	89	125	144	165	133	86	46	21	6
0,5 ETPmm	7	16	26	45	63	72	83	67	43	23	11	3
P-ETP	41	19	31	—	—	—	—	—	16	56	55	88

Critères climatiques et pédologiques :

RU 75 mm	75	75	75	43	+	—	—	—	16	72	75	75
RU 125 mm	125	125	125	93	26	+/-	—	—	16	72	125	125
RU 175 mm	175	175	175	143	76	+	—	—	16	72	127	125

Figure 1 : Bilan hydrique, période de croissance basée sur des valeurs Pmm (pluviométrie), ETPmm et 0,5 ETPmm (évapotranspiration potentielle), et régime hydrique des sols avec une réserve utile maximale (RU) de respectivement 75, 125 et 175 mm dans la région de Montpellier, France.

Moisture balance, growing period characteristics based on Pmm (rainfall), ETPmm and 0.5 ETPmm (potential evapotranspiration), and soil moisture regime for soils with a water storage capacity of resp. 75, 125 and 175 mm in the Montpellier area, France.

enfin d'une période de fin de saison ($ETP > P > 0,5 ETP$), durant laquelle dès que la température le permet, les plantes annuelles passent à la floraison, puis à la maturation avec des exigences en eau plus limitées.

Comme il vient d'être mentionné ci-dessus, une définition correcte de la période de croissance végétale, sensu FAO (1978), exige également la prise en compte du facteur température. Dans le cas de Montpellier (fig. 1) la température hivernale moyenne descend rarement en dessous de 5°C, ce qui fait que la période de dormance pour les plantes supérieures y est relativement réduite. Cette situation est complètement différente quand on se dirige vers des latitudes nord ou en montagne où, à cause des basses températures d'hiver, l'interruption de croissance devient nettement plus importante. Ce facteur température n'intervient toutefois pas dans notre approche des régimes hydriques, mais doit inévitablement être pris en compte au moment où la liaison est établie avec le calendrier agricole.

La figure 2 délimite d'une manière schématique les principaux ensembles climatiques en France, établis à partir des critères de pluviométrie et d'évapotranspiration potentielle mensuelles, calculés pour quelques 80 stations climatiques. On y observe successivement :

1) Une zone perhumide, caractérisée par un excès pluviométrique ($P > 0,5 ETP$) sur l'ensemble de l'année, et avec une période humide sensu FAO ($P > ETP$) d'au moins 200 jours. Cette unité englobe le nord de la Bretagne et de la

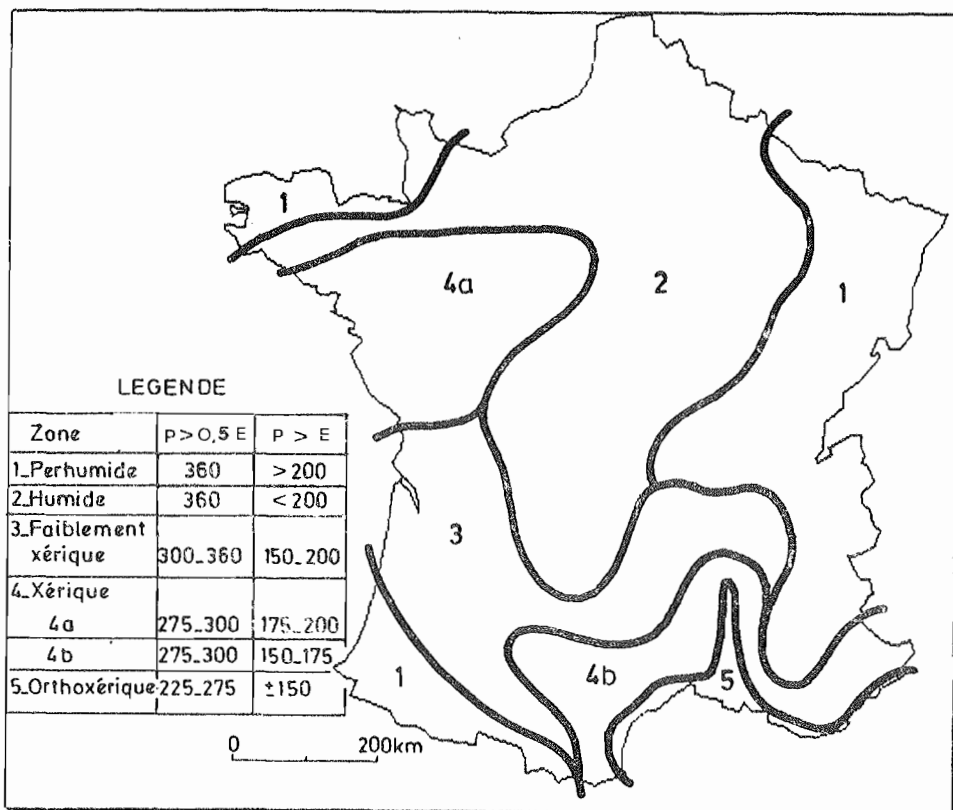


Figure 2 : Les grands ensembles climatiques de France, établis à partir des critères de pluviométrie (P) et d'évapotranspiration potentielle ($E = ETP$). Les valeurs chiffrées sont exprimées en jours
Major climatic units of France based on rainfall (P) and potential exapotranspiration criteria ($E = ETP$).

Normandie (stations-types Best et Dinard), la zone des Landes (Mont-de-Marsan) et les Pyrénées (Pau), ainsi que les massifs alpins, pré-alpins et vosgiens (Besançon, Embrun).

2) Une zone humide, caractérisée également par un excès pluviométrique ($P \geq 0,5$ ETP) sur l'ensemble de l'année, mais avec une période humide ($P > \text{ETP}$) de moins de 200 jours. Dans cette vaste zone qui couvre la plus grande partie du nord et du centre du pays (stations-types de Beauvais, Auxerre, Limoges,...) il existe un réel risque de déficit hydrique même peu marqué ; dans la plupart des cas, ce déficit peut être couvert toutefois par la réserve en eau stockée dans le sol.

3) Une zone faiblement xérique, où l'excès pluviométrique ($P \geq 0,5$ ETP) est de l'ordre de 300 à 360 jours par an, avec une saison humide ($P > \text{ETP}$) de 150 à 200 jours. Cette unité couvre le centre-sud de la France, à l'exception des zones d'altitude et des régions sous influence méditerranéenne (stations-types Cognac, Bordeaux, Millau,...). Même si le déficit hydrique dans cette zone reste faible, il est rare qu'il puisse être couvert par la réserve d'eau stockée dans le sol.

4) Une zone xérique à déficit hydrique d'au moins deux mois et/ou nettement marqué ($P \geq 0,5$ ETP : 275 à 300 jours) et comprenant d'une part le sud de la Bretagne, la Basse-Loire et la Vendée, où la période humide est de l'ordre de 175-200 jours, et d'autre part la Provence, les Alpes Maritimes et la région de l'Aude et du Tarn, où cette période humide n'est que de 150 à 175 jours.

5) Enfin, une région nettement ortho-xérique, couvrant le Bas-Rhône et les côtes méditerranéennes (stations-types Montpellier, Marseille-Marignane,...) où le déficit pluviométrique d'été est très accusé ($P \geq 0,5$ ETP de l'ordre de 225 à 275 jours), avec une période humide de l'ordre de 150 jours seulement).

C) FACTEURS PÉDOLOGIQUES

S'il est évident que le climat détermine en grande partie l'approvisionnement en eau du profil, il est également vrai qu'en période intermédiaire de déficit pluviométrique ou à la fin de la période humide (correspondant à la date du 1^{er} avril dans le cas de la figure 1) le régime hydrique du sol est sensiblement influencé par les conditions hydrodynamiques et, plus particulièrement par la capacité de rétention en eau et par la vitesse d'infiltration dans la zone racinaire.

Ces deux paramètres peuvent être mesurés de manière assez correcte (valeurs pF au point de flétrissement et à la capacité au champ ; mesures d'infiltration par la méthode des doubles anneaux, méthode Hénin au laboratoire,...) et s'avèrent être en bonne relation avec la texture de l'horizon correspondant. La figure 3 indique la réserve en eau utile pour les différentes classes de texture basées sur des observations du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (d'après MORI, 1982, adaptée).

Une revue critique de ces valeurs et leur comparaison avec des données semblables en provenance de Belgique (HARTMANN, 1975) d'une part, et de France, Angleterre et Etats-Unis (JAMAGNE et al., 1977 ; HALL et al., 1977 ; RAWLS et al., 1982 ; in : KING et DAROUSSIN, 1989) d'autre part, fait apparaître qu'à 10 % près, la plupart de ces valeurs coïncident assez bien. L'étude de KING et DAROUSSIN (1989) a plus particulièrement montré que, dans l'ensemble, les valeurs américaines sont quelque peu plus faibles que les données anglaises et/ou françaises, quoique pour les sols argileux, les valeurs françaises soient de nouveau supérieures. Une corrélation plus exacte restera toujours difficile à obtenir pour la simple raison que dans les différents pays pris en considération, les méthodes d'analyse (aussi bien pour les mesures pF que pour la granulométrie), ainsi que la définition des classes texturales ne sont pas semblables (AMERIJKX et VERHEYE, 1984). De plus, les facteurs secondaires

qui ont une influence sur la capacité de stockage du sol — notamment la densité apparente, la teneur en humus et la nature des argiles — ne sont que rarement validés. Pour cette raison, de nombreux auteurs se contentent d'estimer la teneur en eau du sol à partir de formules mathématiques, établies sur la base de relations statistiques avec la densité apparente, la texture et la teneur en humus (JAMISON et KROTH, 1958 ; SALTER et al., 1966 ; HUSZ, 1967 ; GUPTA et LARSON, 1979). Compte tenu de ces considérations et vu l'échelle de notre étude, il nous paraît légitime de nous en tenir à ces données générales.

La sommation de la réserve en eau utile de chaque horizon sur l'ensemble de l'épaisseur racinaire permet alors de définir pour chaque unité de la Carte CEE sa capacité de stockage pour l'eau. Il est évident que pour des travaux à plus grande échelle, ces chiffres doivent être précisés en fonction des caractéristiques spécifiques de structure, minéralogie et teneur en matière organique.

Pour les besoins de notre étude, la zone racinaire a été limitée à 1,20 m ou au contact lithique si celui-ci se présente à plus faible profondeur. Trois classes de profondeur ont ainsi été retenues (ces dernières peuvent être dérivées de la légende de la carte, correspondant respectivement à 0-50 cm, 50-100 cm et plus de 100 cm). La combinaison de ces 3 groupes de profondeurs avec les 5 classes texturales de la Carte CEE permet alors d'évaluer la réserve utile d'eau selon le schéma présenté dans le tableau 1. Signalons à cet égard que les valeurs du tableau I ont été obtenues à partir des données de la figure 3, moyennant quelques légères modifications pour l'évaluation de la réserve utile des sols à textures fines et très fines. Pour cet exercice, nous avons tenu compte des valeurs spécifiques pour la densité apparente d'une couche humifère plus

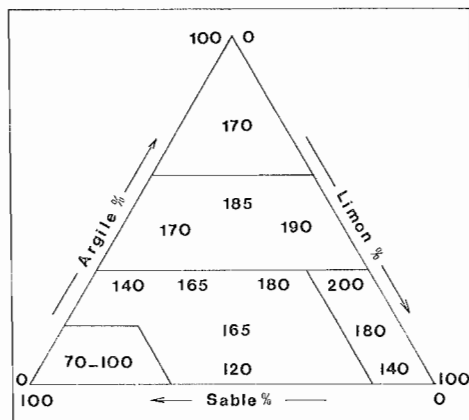


Figure 3 : Réserve en eau utile en mm d'eau par mètre d'épaisseur de sol (d'après le Service de Cartographie des Sols de l'Aisne, MORI, 1982, et adaptations).

Available moisture content, expressed in mm water per m of soil (after the Service de Cartographie des Sols de l'Aisne, MORI, 1982, modified).

Texture	Capacité de stockage (en mm) d'eau pour une épaisseur de :			
	0-50 cm	50-100 cm	100 cm	+
Sableuse	30	60	85	
Moyenne	50	100	150	
Moyenne à fine	70	130	190	
Fine	80	120	170	
Très fine	80	120	150	

Pour les phases graveleuses et/ou caillouteuses, les chiffres sont réduits de 50 %.

Tableau I :

Estimation de la réserve en eau utile (mm) du sol en fonction de la texture, de la densité apparente et de la profondeur du sol.

Available moisture content (mm) estimation according to texture, bulk density and soil depth.

ou moins importante en surface, et du fait que souvent le développement racinaire est nettement plus important dans les parties supérieures du profil.

Vu l'échelle des documents de base et le faible détail qu'ils présentent dans certains domaines, il n'a évidemment pas été possible de considérer séparément les caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sols cartographiés avec, en plus, leurs phases de profondeur. C'est ainsi qu'un regroupement a été effectué en 4 grandes classes :

— les sols à faible réserve en eau utile (moins de 75 mm), comprenant essentiellement les unités peu profondes et à textures sableuse et moyenne ;

— les sols à réserve utile moyenne (75 à 125 mm d'eau), correspondant d'une part aux unités argileuses peu et moyennement profondes et/ou graveleuses et d'autre part aux sols de texture équilibrée moyennement profonds ;

— les sols à bonne réserve en eau (125 à 175 mm), caractérisant surtout les sols profonds à texture moyenne, fine et très fine ;

— et les sols à très bonne réserve en eau (plus de 175 mm), regroupant les terres limono-argileuses profondes.

Les figures 4 et 5 indiquent la nature de l'information qui peut ainsi être obtenue en se basant sur les critères et la méthodologie décrite ci-dessus. On y distingue les principaux ensembles à rétention en eau comparable, tels que présentés sur la carte de MORI (1982). Les faibles discordances existantes sont alors généralement liées à l'échelle de la carte qui ne permet pas toujours de délimiter les zones à faible extension ou de dégager les vallées alluviales, soit

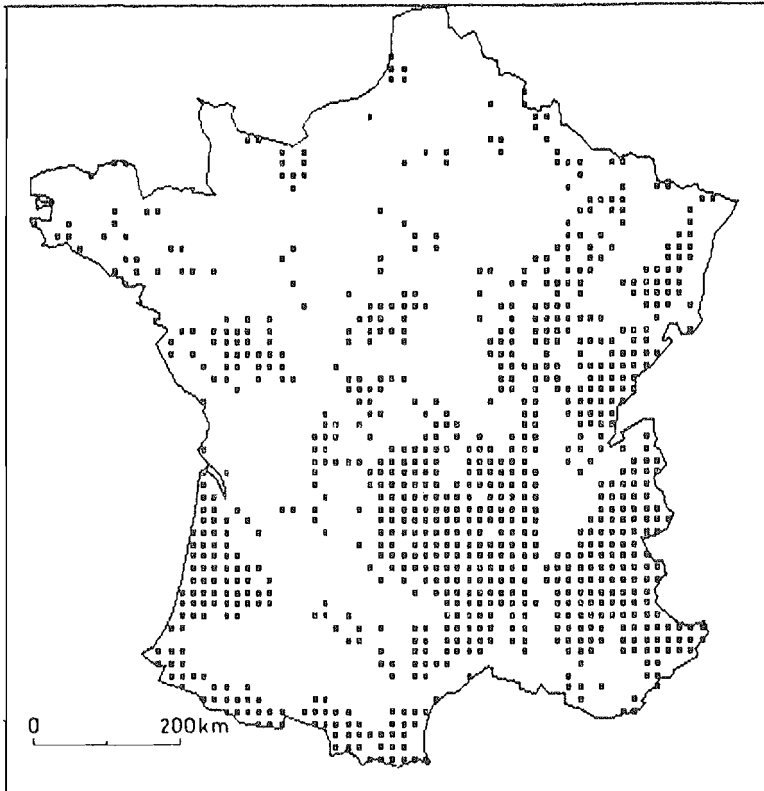


Figure 4 : Distribution géographique des sols à capacité de stockage inférieure à 75 mm, basée sur les données de la Carte des Sols de la CEE (EC, 1985).
Geographical distribution of soils with a water storage capacity of less than 75 mm, based on data from the EC Soil Map (EC, 1985).

à la composition complexe des unités cartographiques qui, sur la Carte CEE au 1/1 000 000, sont des associations de sols plus ou moins hétérogènes. En plus, il est à noter que la légende de ce document CEE n'indique que la texture des 30 cm superficiels du profil, ce qui fait que pour une évaluation réaliste de la réserve en eau utile, il a été nécessaire de reconstituer le profil complet à partir des données de la classification. Ce n'est qu'à ce moment qu'on a pu calculer pour chaque unité cartographique l'intervalle des réserves en eau utile maximale qui s'adapte le mieux aux conditions spécifiques des sols compris dans l'association. Dans la réalité, une telle opération se traduit par un calcul de la capacité de stockage du sol dominant, suivi d'une adaptation vers le haut ou le bas de 50 mm au maximum en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des sols associés.

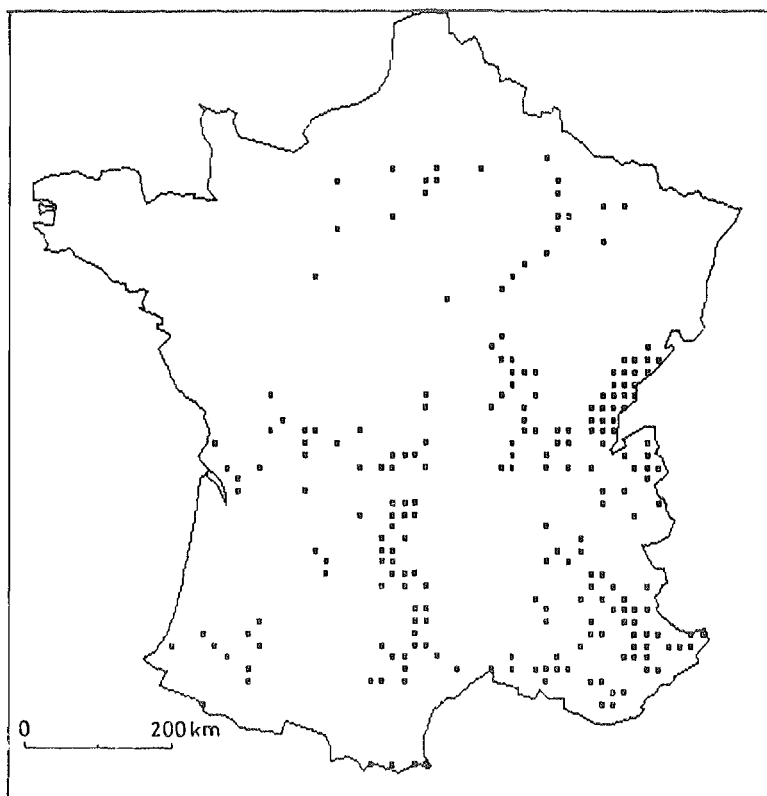


Figure 5 : Distribution géographique des sols à capacité de stockage comprise entre 75 et 125 mm, basée sur les données de la Carte des Sols de la CEE (EC, 1985).

Geographical distribution of soils with a water storage capacity between 75 and 125 mm, based on data from the EC Soil Map (EC, 1985).

II. APPROCHE METHODOLOGIQUE

La combinaison des paramètres physiographiques pédologiques et climatologiques permet de définir de manière quantitative les différents régimes hydriques des sols. Ceux-ci sont alors caractérisés d'une part par la longueur du temps durant laquelle la zone racinaire contient de l'eau disponible ($P \geq 0,5$ ETP sur base de l'hypothèse de travail établie ci-dessus) et d'autre part par l'impor-

tance de la période humide ($P > ETP$) durant laquelle la réserve en eau est accumulée et/ou la saturation est atteinte. Une telle opération est toujours assez complexe à cause du nombre de paramètres impliqués et des surfaces à couvrir. De ce fait, elle ne peut être effectuée qu'à l'aide d'un ordinateur, exigeant alors une méthodologie stricte et logique.

C'est ainsi qu'au départ, il a été nécessaire de constituer une banque de données, comprenant les paramètres qui ont un impact sur la définition et la différenciation du produit final, c'est-à-dire le régime hydrique du sol. Dans le cas de notre étude, nous avons opté pour un système de stockage et de représentation graphique par points, faisant partie d'un réseau de mailles à distance de 15×15 km. Pour l'exemple de la France, ceci correspond à un réseau d'environ 2 500 points, couvrant chacun au maximum 225 km².

Outre le fait qu'un tel système exige une mémoire relativement modeste — permettant alors l'utilisation d'un ordinateur du type PC — il a surtout l'avantage de sortir à la fin des documents de nature schématique, évitant ainsi à l'utilisateur non-averti la fausse impression d'un trop grand détail, qui va souvent de pair avec une représentation cartographique classique et qui, de toute façon, ne peut jamais être obtenue à ce niveau d'échelle.

Pour chaque point ainsi défini, l'information suivante a été introduite :

— le numéro de l'association de la Carte des Sols CEE, telle que définie dans la légende (312 unités) ;

— le sigle de la légende de la dite carte, comprenant dans l'ordre : (1) la caractérisation pédogénétique et la classification du sol dominant de l'association (51 variantes), (2) la texture de la zone superficielle (30 cm) du sol dominant de l'association, comprenant les 5 classes reprises dans le tableau I et (3) la pente dominante de l'association (4 classes) ;

— la présence éventuelle d'une phase graveleuse, lithique, saline,... telle qu'elle est mentionnée directement sur la carte (8 variantes) ;

— la nature du régime climatique tel qu'il est défini pour la France dans la figure 2 (6 variables).

L'information ainsi introduite dans la banque permet d'une part de sortir directement les renseignements voulus en évaluant leur importance au point de vue de l'extension géographique (exemple : la pente ou la texture de surface) et d'autre part de réaliser une combinaison raisonnée de différents paramètres. La caractérisation et la différenciation des régimes hydriques du sol est un exemple-type d'une telle combinaison établie sur le principe d'un rappel sélectif de données selon la séquence suivante :

1) les sols classés comme Gleysols, Solonchaks et Histosols sur la Carte des Sols CEE, et indépendamment de tout autre critère, sont considérés comme des unités hydromorphes qui sont plus ou moins saturées en eau sur l'ensemble de l'année.

2) les autres sols alluviaux et colluviaux, classés comme Fluvisols sur la Carte CEE, ainsi que les variantes gleyiques des Cambisols, Luvisols, Podzols, Podzoluisols et Vertisols, et indépendamment de tout autre critère, correspondent à des terroirs à hydromorphie partielle et/ou temporaire.

3) les sols non repris dans la sélection précédente ont un drainage libre, et leur état hydrique est alors en premier lieu déterminé par le régime pluviométrique de la région dans laquelle ils se situent. A ce moment entre en compte le facteur climatique, tel qu'il est défini dans la figure 2. L'interprétation des propriétés hydrodynamiques du sol (réserve en eau utile) dans leur contexte climatique permet ensuite de procéder à la différenciation ultérieure selon le schéma suivant :

3.1. Tous les sols de la zone climatique 1 (fig. 2), à l'exception de ceux qui ont une capacité de stockage d'eau inférieure à 75 mm, ainsi que les sols de la zone 2 ayant une réserve en eau utile de plus de 125 mm, sont caractérisés par un régime hydrique du type perhumide (= humide sur l'ensemble de

l'année avec $P \geq 0,5$ ETP ; en plus, ces profils accusent un état de presque saturation ($P + \text{eau stockée} > \text{ETP}$) sur au moins 250 jours par an.

3.2. Tous les autres sols des zones climatiques 1 et 2 de la figure 2 se classent dans un régime hydrique de sols semblable à celui défini sous 3.1., à l'exception du fait qu'ils sont en presque saturation en eau ($P + \text{eau stockée} > \text{ETP}$) sur 200 à 250 jours.

3.3. Les sols situés dans la zone climatique 3 de la figure 2 mais qui ont une capacité de stockage d'eau supérieure à 125 mm, se groupent dans un régime hydrique de sol de type pseudo-xérique, défini par un déficit hydrique léger et/ou peu marqué sur 2 mois au maximum ($P + \text{eau stockée} > 0,5$ ETP sur 300 à 360 jours) ; de plus, ces sols conservent un état de presque saturation en eau ($P + \text{eau stockée} \geq \text{ETP}$) pendant au moins 200 jours par an.

3.4. Une légère variante de l'unité précédente, notamment en ce qui concerne la longueur de la période de presque saturation ($P + \text{eau stockée} > \text{ETP}$) qui, ici, est inférieure à 200 jours, est constituée par les autres sols de la zone climatique 3.

3.5. Les sols à régime hydrique nettement xérique se situent dans les unités climatologiques 4 et 5 de la figure 2 ; ils peuvent ultérieurement être différenciés en fonction de la capacité de stockage d'eau de la zone racinaire :

— Sous-unité 1 : terres de la zone climatique 4a (fig. 2) ayant une capacité de stockage d'eau supérieure à 125 mm (régime xérique atténué) ;

— Sous-unité 2 : terres de la zone climatique 4a (fig. 2) avec une capacité de stockage d'eau inférieure à 125 mm, ainsi que les terres de l'unité climatique 4b, tout au moins dans la mesure où ils ont une réserve utile maximale d'au minimum 75 mm (régime xérique typique) ;

— Sous-unité 3 : les autres terres des unités climatologiques 4b et 5 (régime xérique accentué).

Ces différents régimes hydriques ont une influence directe sur la nature et la productivité du système agricole. Extrapolé sur l'ensemble de l'Europe, leur étude et leur différenciation peuvent ainsi servir de base à une meilleure planification agricole à l'échelle des pays de la Communauté Européenne. Une discussion plus approfondie de la délimitation de ces zones et de leurs caractéristiques, plus particulièrement en France, sera présentée dans le deuxième volet de cette étude.

Reçu pour publication : Mai 1988

Accepté pour publication : Mai 1989

BIBLIOGRAPHIE

- AMERIJKX J., VERHEYE W.**, 1984. — Fractions minérales et classification de la texture du sol. *Pédologie*, 34 : 319-329.
- BLANEY H.F., CRIDDLE W.D.**, 1905. — Determining water requirements in areas from climatological and irrigation data, USDA, Tech. Paper 96, 48 p.
- BRIGGS D.J.**, 1983. — Biomass potential of the European Community, Report Environ., and Consumer Protect. Serv. Europ. Comm. Sheffield Univ., UK, 59 p.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O.**, 1977. — Crop water requirements. FAO Irrig., and Drain. Paper, 24, FAO Rome 144 p.
- E.C.**, 1985. — Perspectives for the common agricultural policy : The green paper of the Commission Pub. Agric. Inform. Serv., Eur. Comm. Commission, Brussels, 62 p.

- E.C.**, 1985. — Soil map of Europe at scale 1/1 000 000, with explanatory text. Publ. Agric. Div. European Comm. Brussels.
- FAO**, 1978. — Report on the agro-ecological zones project. Vol. 1 : Methodology and results for Africa. World Soil Res. Rep., 48, AGLS, FAO, Rome.
- FRERE M. POPOV G.F.**, 1979. — Agrometeorological crop monitoring and forecasting. FAO Plant Prod. and Protect. Paper 17, FAO, Rome, 63 p.
- GUPTA S.C., LARSON W.E.** 1979. — Estimating soil water retention characteristics from particle-size distribution, organic matter percent and bulk density. Water Res. Research, 15 (6) : 1633-1635.
- HALL D.G.M., REEVE M.J., THOMASSON A.J., WRIGHT V.F.**, 1977 — Water retention porosity and density of field soils. Soil Survey, Techn. Monogr. 9, Rothamsted Exper. Stat., UK, 75 p.
- HARTMANN R.**, 1975. — De vochtcharacteristieken van Pleistocene afzettingen in de Vlaamse vallei. Mededel Landbouwfak., Gent, 406-420.
- HUSZ G.**, 1967. — Determination of the pF curve from texture, using multiple regressions. Zeitschr. Pflanzenernaehr., Bodenk, 116 : 115-125.
- JAMAGNE M., BETREMIEUX R., BEGON J.C., MORI A.**, 1977. — Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols, BTI : 324-325.
- JAMISON V.C., KROTH E.M.**, 1958. — Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. Soil Sci. Soc. Proceed., 22 : 189-192.
- KING D., DAROUSSIN J.**, 1989. — Test for estimating the available soil moisture reserve using the European Community soil map on the scale of 1/1 000 000. Proceed EC Sympos, Computeriz, Land Data, Wageningen, Nov. 1988.
- MOKADEM A., LEJEUNE J.L., DAUTREBANDE S.**, 1988. — Analyse d'images satellites en agro-hydrologie : Approche d'étude du stress hydrique par l'utilisation du canal thermique Tm, Pedologie, 38 (3).
- MORI A.**, 1982. — Cartes des sols affectés par l'hydromorphie et des réserves en eau du sol. Publ. Inra, Serv. Etude Sols et Carte Pedol de France, Paris, 54 p.
- PENMAN H.L.**, 1948. — Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceed. Roy. Soc., London, Ser. A, 193 : 120-146.
- RAWLS W.J., BRAKENSIEK D.L., SAXTON K.E.**, 1982. — Estimation of soil water properties. Trans. ASEA, 1316-1320.
- SALTER P.J., BERRY G., WILLIAMS G.B.**, 1966. — The influence of texture on the moisture characteristics of soils. 3 : Quantitative relationships between particle-size, compaction and available water capacity. J. Soil Sci., 17 : 93-98.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R.**, 1955. — The water balance, Pub. in Climatology, Centerton, N.Y. USA.
- TURC L.** 1961. — Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agron., 12 : 13-50.