

SYNTHÈSE GÉOGRAPHIQUE DE LA SÉCHERESSE DANS LES RÉGIONS OCÉANIQUES

Vincent Dubreuil

*Costel, URA 1687 du CNRS
Université de Rennes 2
6, avenue Gaston-Berger
35043 Rennes Cedex*

RÉSUMÉ

L'étude de la sécheresse dans les régions où l'agriculture reste une activité importante (France de l'Ouest) doit prendre en compte les conséquences de cet aléa climatique sur les productions. Ainsi, la sécheresse n'est-elle pas seulement une affaire de pluviométrie : sa gravité dépend également du type de culture pratiquée et donc de la « demande en eau ». La connaissance du bilan hydrique est ainsi une première étape, nécessaire mais insuffisante parce que ponctuelle.

Parallèlement, depuis quelques années, le suivi du couvert végétal peut être réalisé grâce aux images des satellites NOAA. Une étude synthétique de la sécheresse doit donc nécessairement combiner ces deux approches et juger de leur apport respectif en vue d'une cartographie des zones à risque. L'étude proposée ici montre l'intérêt de la démarche devant une situation régionale diverse, aussi bien en termes de climat que pour ce qui concerne l'utilisation du sol.

ABSTRACT Geographical synthesis of drought in the coastal areas

The consequences of droughts are still severe in areas where agriculture is an important activity. In the western part of France, for example, it is obvious that drought is not only a matter of rainfall. One should also consider the kind of crop and its phenology. A necessity of a geographical approach is to make the best assessment of the hydrological budget, but the spatial distribution of water stress in vegetation can only be known with remote sensing.

The possible range of vegetation has to be built up from several years of satellite images. A model of drought must combine these approaches and estimate their contributions. This study combines climate and soil usage for a diverse region.

« Il est rare qu'une année s'écoule sans que les divers moyens d'information actuels relatent les manifestations de la sécheresse en telle ou telle contrée du globe et les préjudices qui en découlent » (Dorize, 1983). L'étude de la sécheresse ne saurait donc être conçue par le géographe, fût-il climatologue, sans être replacée dans son environnement socio-économique. L'intérêt d'une étude climatique de la sécheresse ne doit pas occulter qu'avant toute chose, une sécheresse se traduit par un impact très concret, quoique sélectif, sur le rendement des productions agricoles (figure 1) ou par des problèmes d'approvisionnement en eau pour les

industries ou les particuliers. Cet impact sur le milieu et sur les hommes n'est pas seulement fonction de l'intensité du phénomène : il procède également du niveau de développement économique local, des liens tissés entre la société et l'espace régional qu'elle organise (Marchand, 1981) ; c'est donc un sujet de synthèse géographique régionale par excellence. Par là même, l'évolution des techniques et le changement des orientations agricoles amènent à prendre en compte la dimension historique du problème, dans la mesure où une même sécheresse (si tant est qu'un phénomène climatique puisse se renouveler) n'a pas les mêmes répercussions à l'heure actuelle que celles qu'elle pouvait avoir une décennie ou un siècle plus tôt.

Le problème, complexe, de la définition de la sécheresse n'est donc pas uniquement une affaire de pluviométrie, même si, à la base de tout, on trouve un certain déficit des précipitations. C'est la raison pour laquelle les méthodes classiques d'étude de la sécheresse permettent de cerner les limites du problème ; mais, seule, l'analyse plus globale du bilan de l'eau autorise une approche fine et rigoureuse du phénomène sur le plan temporel.

Ainsi, le cadre géographique régional retenu ici (Bretagne, Basse-Normandie, Pays de la Loire) présente une originalité d'ensemble : il s'agit de régions de climat tempéré océanique, réputées humides. Elles n'en possèdent pas moins une assez grande diversité paysagère et économique dont il est nécessaire de bien prendre conscience afin de mesurer les disparités régionales quant à l'impact et à la nature des sécheresses. Les méthodes d'analyse spatiale doivent donc être affinées grâce aux images des satellites NOAA dont la résolution spatiale et temporelle est compatible avec un suivi en temps réel de l'état du couvert végétal. En outre, l'importance de l'agriculture dans ces régions se prête bien à l'étude par télédétection.

Enfin, se pose le problème de la convergence des méthodes utilisées au cours de cette étude en vue d'une spatialisation des zones à risque. Les liens entre les données de télédétection et celles fournies par les bilans hydriques devront être étudiés. Puis, une fois définis les principes d'une cartographie de synthèse des problèmes de sécheresse dans la France de l'Ouest, c'est surtout la possibilité d'obtenir une image régionale détaillée de ces interactions spatiales qui justifiera l'utilisation des images satellitaires.

BILAN HYDRIQUE ET TÉLÉDÉTECTION : DEUX APPROCHES COMPLÉMENTAIRES

Les grandes sécheresses qui ont touché la France de l'Ouest depuis une cinquantaine d'années sont au nombre de cinq (figure 2a). Il peut s'agir d'années isolées, comme 1959 ou 1976, même si la climatologie des mois précédents a son importance. Mais des périodes plus longues et plus complexes ont également pu connaître des déficits pluviométriques importants : on pense ici à la séquence des années quarante pendant laquelle, plusieurs années durant, des totaux très faibles

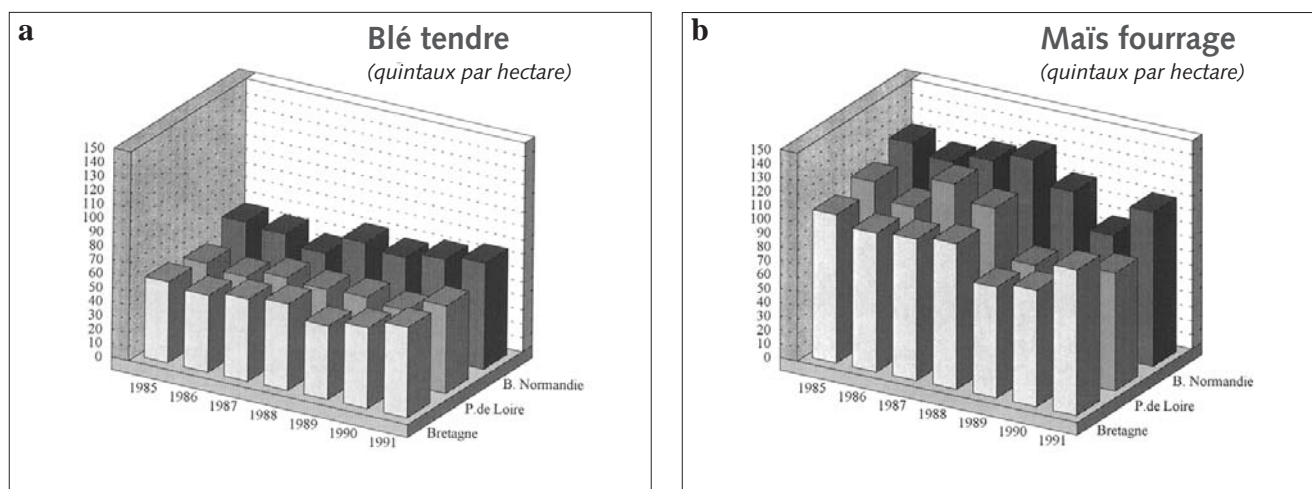
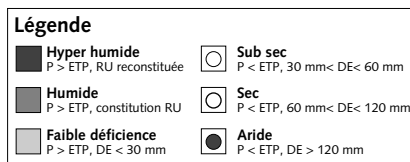
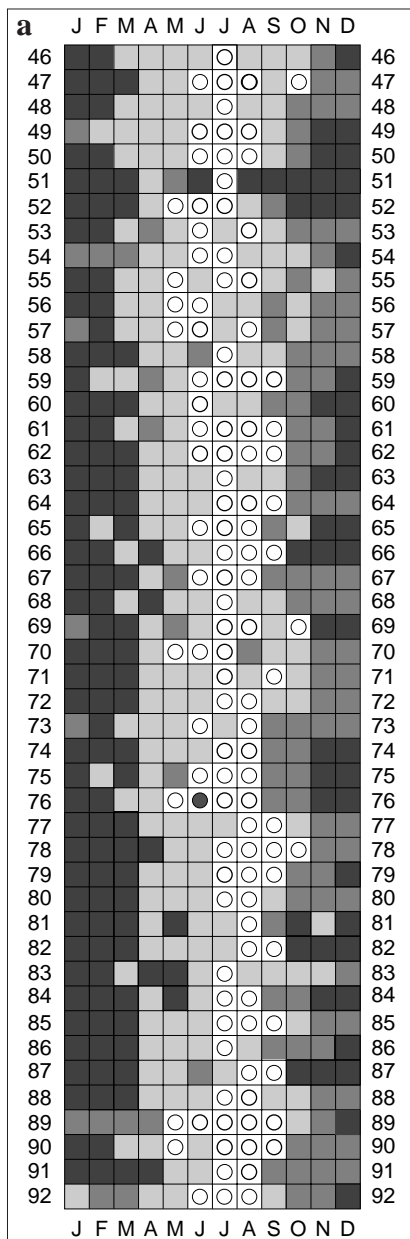


Figure 1 - Sécheresse et agriculture : rendements de quelques cultures dans la France de l'Ouest. La sensibilité des cultures à la sécheresse est loin d'être identique : lors des sécheresses de 1989 et 1990, les rendements en blé tendre (a) n'ont pratiquement pas été affectés alors que le maïs fourrage (b) a considérablement souffert.

Variabilité mensuelle de la déficience d'évaporation



ont été enregistrés. Il en va de même pour la période qui commence à la fin de l'année 1988 et qui prend toute son ampleur en 1989 et en 1990. Au-delà, ces épisodes majeurs ne doivent pas masquer des séquences, peu arrosées également, qui, sans connaître des déficits record, ont contribué à fragiliser l'agriculture régionale. La variabilité du phénomène mérite donc que l'on s'y attache en premier lieu.

L'approche mensuelle du bilan hydrique reste la plus couramment utilisée en climatologie. Si elle constitue une schématisation par rapport aux valeurs décennales, elle donne néanmoins un résumé souvent satisfaisant. Dans ce travail, on a choisi de s'intéresser aux sécheresses de type « agricole » qui provoquent une dégradation du couvert végétal suite à l'assèchement des sols pendant le printemps ou l'été. En fait, des sécheresses plus graves peuvent également résulter de déficits hivernaux (1989, 1990) impliquant que les réserves du sol n'ont pas le temps de se reconstituer. L'étude fréquentielle de la déficience d'évaporation mensuelle (qui intègre une réserve utile) permet, surtout, de souligner les risques potentiels de sécheresse et de les quantifier, ce qui n'est pas possible par le calcul des moyennes.

Rappelons que la **déficience d'évaporation (DE)** est une simple différence entre l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR), c'est-à-dire l'écart (en millimètres) entre l'exigence climatique en eau imposée aux plantes et la quantité d'eau qu'elles peuvent effectivement utiliser en puisant dans le sol. L'ETR est calculée par :

$$ETR = P + dRU$$

P étant la pluviométrie mensuelle et dRU représentant la décroissance de la réserve utile du sol, ou la part puisée dans celle-ci par la plante ; elle est calculée pour un mois m donné en soustrayant de la réserve utile du sol du mois précédent (m-1) la réserve du mois considéré, soit :

$$dRU (m) = RU (m-1) - RU (m)$$

L'état de la réserve utile pour le mois m est donné par la formule suivante :

$$RU (m) = RU_0 \exp [-a \sum_{<0} (P - ETP)]$$

RU₀ : état de la réserve utile du sol à la fin de la saison humide

a : constante, fonction de la réserve utile RU₀

∑ (P - ETP) : cumul des déficits pluviométriques.

Une progression arithmétique simple permet de définir quatre types principaux de mois déficients (Mounier, 1977) :

- DE < 30 mm : mois à faible déficience au cours duquel les réserves utiles commencent à être utilisées et la part du ruissellement superficiel diminue.
- 30 mm < DE < 60 mm : mois subsec : la baisse des réserves utiles s'accélère.
- 60 mm < DE < 120 mm : mois sec : valeurs faibles des réserves utiles (étiages des rivières).
- 120 mm < DE : mois aride : type de mois exceptionnel dans le domaine océanique. Arrêt de l'écoulement pour les petits cours d'eau.

Pour cette étude, la formule de l'ETP selon Turc (1961) a été retenue. Des résultats comparables ont par ailleurs été obtenus avec la formule de Penman (Dubreuil, 1994). La méthode développée par l'agronome français L. Turc nécessite de connaître pour chaque station l'apport énergétique solaire, la quantité globale incidente R_g et la température moyenne du mois ou de la décennie (concrètement, l'insolation et les températures T_a suffisent). ETP est alors donné par la formule :

$$ETP = (R_g + 50) \times [0,40 T_a / (T_a + 15)]$$

Les graphiques fréquentiels de bilan hydrique analogues à celui de la figure 2a ont ainsi été établis pour toutes les stations disponibles (une centaine dans les fichiers de la Direction interrégionale Ouest de Météo-France) et pour la période 1961-1990 en adoptant une réserve utile unique de 125 mm. Ce choix d'une réserve utile unique est réducteur car les sols ont, sur la zone étudiée, des capacités de rétention très variées.

Figure 2 - Bilan hydrique mensuel à Rennes Saint-Jacques (ETP Turc, RU = 125 mm) ; a - Évolution de 1946 à 1992.

Mais ces changements sont souvent très rapides dans l'espace (quelques dizaines de mètres) et donc peu compatibles avec l'échelle régionale retenue. En outre, c'est davantage la tendance régionale qui nous préoccupe ici.

Sur chacun de ces graphiques stationnels, les valeurs médianes (50 % de probabilité d'occurrence) ainsi que les quintiles inférieurs et supérieurs (fréquences de 20 % et 80 %) ont été relevés pour tous les mois. La valeur de ces paramètres est, en effet, communément utilisée en climatologie (étude des séries pluviométriques sur les cartes climatiques détaillées, par exemple). Pour ces seuils statistiques significatifs, on a donc totalisé sur l'année le nombre de mois secs et subsecs (cartes des figures 3 et 4).

La situation vis-à-vis de la subsécheresse (figure 3) apparaît contrastée. Plus d'une année sur deux, celle-ci n'existe pas dans le Cotentin, le Bocage normand, l'intérieur des Côtes-d'Armor, les monts d'Arrée et les Montagnes Noires. Une année sur cinq, ces régions comptent pourtant deux à trois mois subsecs. La variabilité de la sécheresse est ainsi soulignée, un déficit prononcé n'étant pas à exclure même pour ces régions assez bien arrosées en moyenne. Ailleurs, la subsécheresse concerne le plus souvent (médiane) deux à trois mois de l'année. Le Val de Loire et les côtes atlantiques du Morbihan à la Vendée sont particulièrement exposées : trois mois subsecs pour la valeur médiane et jusqu'à cinq mois subsecs dans 20 % des cas. Ces régions sont également les plus touchées par la sécheresse proprement dite.

Les cartes de la figure 4 soulignent à nouveau les contrastes climatiques régionaux de la France de l'Ouest. La sécheresse est rare (moins d'une année sur cinq) sur les sommets de Bretagne et de Normandie. Elle est une contrainte majeure en Anjou, sur le littoral du Morbihan, en Vendée (hauteurs de Gâtine exclues) et dans la partie occidentale de la Loire-Atlantique (un à deux mois secs une année sur deux). Partout ailleurs, la sécheresse est un phénomène moins fréquent. Mais la contrainte ne saurait être négligée, puisque, par exemple, les régions abritées sont proches de ce seuil de sécheresse annuelle (40 % des cas à Rennes) et surtout, une année sur cinq, la majeure partie des régions connaît deux mois secs. Le risque climatique est donc bien réel et peut atteindre, certaines années, sur une large frange atlantique, des niveaux tout à fait comparables au Sud-Ouest de la France, voire au Midi méditerranéen.

Ces données climatologiques fournissent donc les éléments préalables nécessaires à une spatialisation simplifiée des risques de sécheresse en termes de probabilité. Mais leur aspect ponctuel peut laisser le géographe « sur sa faim ». Les conditions climatiques locales se combinent, en effet, avec les besoins en eau et surtout avec les exigences des cultures. De plus, des sécheresses particulièrement intenses peuvent ne pas respecter la hiérarchie des régions à risque en termes de moyennes et affecter davantage telle région ou tel type de spéculation économique. Les données satellitaires doivent justement permettre une meilleure approche spatiale en confrontant les aspects climatiques des grandes sécheresses récentes aux données paysagères et agricoles.

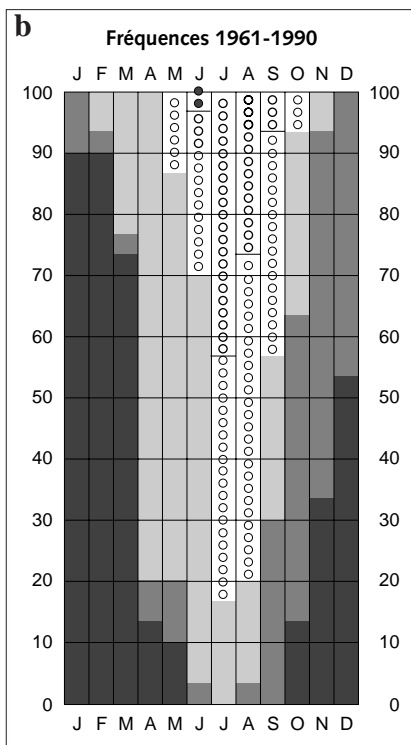


Figure 2 - Bilan hydrique mensuel à Rennes Saint-Jacques (ETP Turc, RU = 125 mm) ; b - Fréquences mensuelles (%) sur la période 1961-1990

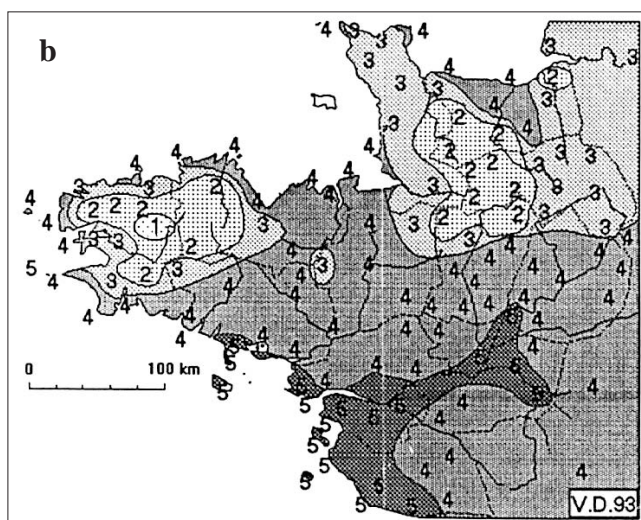
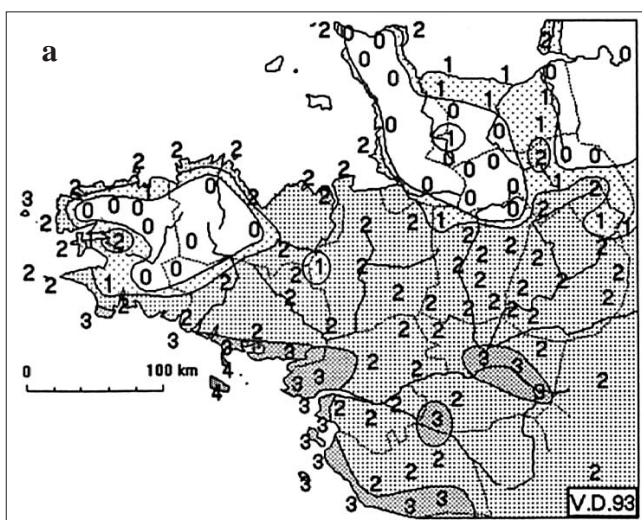


Figure 3 - Nombre de mois au moins subsecs par an sur la période 1961-1990 – Déficience d'évaporation > 30 mm – Valeurs médianes (a) et quintile supérieur (b).

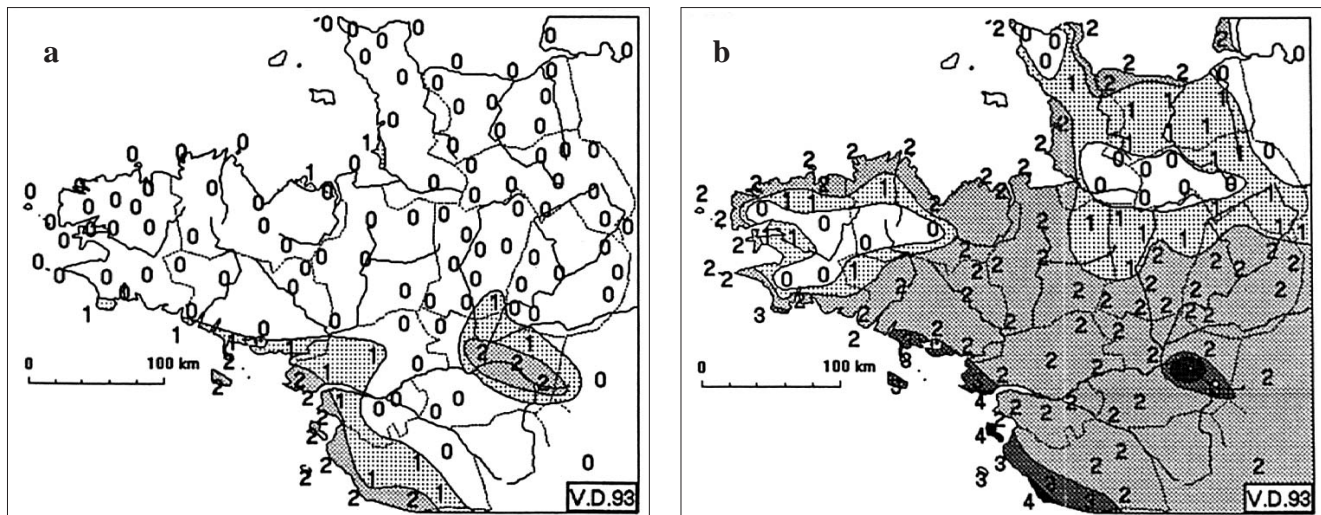


Figure 4 - Nombre de mois secs par an sur la période 1961-1990 – Déficience d'évaporation > 60 mm – Valeurs médianes (a) et quintile supérieur (b).

Télédétection et paysages ruraux

La cartographie des paysages à petite échelle s'est souvent heurtée à un nombre considérable d'obstacles : s'il est simple, quoique long et fastidieux, d'effectuer des cartes thématiques d'occupation du sol et des productions agricoles, il devient beaucoup plus complexe d'intégrer, en vue d'une synthèse régionale, la densité du bocage, la qualité des sols, l'humidité, tous ces éléments qui déterminent l'originalité paysagère d'une région et sa plus ou moins grande sensibilité à la sécheresse.

Depuis quelques décennies, des progrès substantiels ont été réalisés dans ce domaine grâce à la télédétection. L'inventaire systématique des cultures au niveau parcellaire peut ainsi être effectué au moyen de satellites à forte résolution spatiale (*Landsat T.M.*, *Spot*), mais à faible répétitivité (Hubert, 1989). En revanche, la prise en compte des données fournies par des satellites à faible résolution spatiale (un kilomètre environ), mais à forte répétitivité (un ou plusieurs passages par jour), permet d'opérer un suivi quasi quotidien du couvert végétal à l'échelle régionale (Mounier, 1990). Ainsi, les données fournies par les satellites NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) ont été utilisées afin d'effectuer, par exemple, une cartographie des biomes africains (Tucker et al., 1985). Plus récemment, une classification des types d'occupation du sol aux États-Unis a été proposée (Loveland et al., 1991) ainsi qu'une classification de la végétation sur la France et l'Espagne (Farki et Sairouni, 1991). Le plus souvent, c'est l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) qui est retenu :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

où PIR est la radiance mesurée par l'imageur AVHRR dans le proche infrarouge (canal 2) et R la radiance dans le rouge (canal 1).

Le principe de l'étude présentée ici (Dubreuil, 1994) consiste à choisir un nombre suffisant d'images couvrant la totalité de la saison végétative, de la fin de l'hiver à l'automne. Six indices de végétation NDVI échelonnés en 1990 ont ainsi été soumis à une analyse discriminante pas à pas, classification supervisée en fonction de dix-neuf échantillons (de 5 x 5 pixels) choisis comme représentatifs des types de paysages ruraux de la France de l'Ouest (figure 5). Le résultat de la classification est donc une image où chaque pixel est regroupé avec l'échantillon dont l'évolution temporelle du NDVI est la plus proche. L'intérêt géographique de la méthode est de fournir une cartographie des paysages ruraux en fonction de types reconnus et identifiés sur le terrain ou à partir de cartes classiques. Le choix de six NDVI de dates différentes permet de mettre l'accent sur l'évolution du comportement du couvert pendant une année sèche, alors qu'une classification sur six images d'une même date mais prises dans des longueurs d'ondes différentes soulignerait davantage des différences de comportement radiométrique.



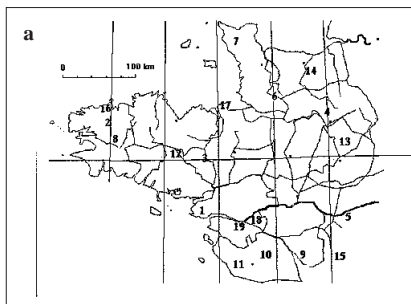


Figure 5 - Localisation (a) et définition (b) des types de paysages de la France de l'Ouest (échantillons retenus pour les classifications).

b	Localisation de l'échantillon représentatif	Type de paysage rural	Cultures dominantes
1	Grande Brière	Marais	
2	Monts d'Arrée	Landes	
3	Forêt de Paimpont	Forêt	
4	Forêt d'Ecouves	Forêt	
5	Forêt de Chinon	Forêt	
6	Sud-ouest de Vire	Bocage très dense	Prairies permanentes, cultures fourragères, élevage
7	Cotentin intérieur	Bocage dense	Prairies permanentes, cultures fourragères, élevage
8	Bassin de Châteauain	Bocage	Cultures fourragères, puis céréales
9	Sud de Bressuire	Gâtine vendéenne	Élevage, cultures fourragères
10	Nord-est de la Roche-sur-Yon	Bocage vendéen	Cultures fourragères, élevage, céréales
11	Ouest de la Roche-sur-Yon	Bocage à larges mailles	Cultures fourragères, élevage, céréales
12	Est de Pontivy	Campagne remembrée	Céréales dominantes
13	Sud-ouest de Marolles-lès-Braults	Champagne mancelle	Céréales dominantes
14	Sud-est de Caen	Openfield	Céréales
15	Nord-ouest de Poitiers	Openfield	Céréales
16	Léon littoral	Peu d'arbres	Cultures légumières
17	Clos-Poulet	Openfield littoral	Cultures légumières
18	Vallet (est de Nantes)	Vignoble	Vigne
19	Nantes	Bâti urbain dense	

La variété des paysages ruraux de l'Ouest de la France apparaît clairement sur la figure 6 et sur l'encart couleur page 85 : les zones de bocage laissent souvent la place aux forêts, openfields, vignobles et campagnes légumières. Les couleurs des classes 6 à 14 ont été choisies de manière à exprimer clairement les nuances entre les bocages les plus denses et humides (classes 6 et 7) et les campagnes (openfields) céréalières, souvent remembrées, des classes 12 à 14. La comparaison avec des cartes thématiques classiques montre la bonne correspondance des résultats avec la « réalité-terrain » géographique. Les régions de cultures spéciales, généralement de faible étendue, se dégagent également très nettement. Ainsi, les vignobles nantais et angevins sont assez précisément délimités (classe 18), mais aussi les régions littorales de cultures légumières (classes 16 et 17) : du Val-de-Saire au Léon en passant par Créances, le Clos-Poulet et le Trégor.

La démarche proposée ici permet donc une approche régionale fine des paysages ruraux de l'Ouest de la France, ce qui démontre tout son intérêt sur le plan géographique. Certes, cette méthode présente certaines limites en domaine océanique (problème des nuages et de la diffusion atmosphérique notamment), mais elle apparaît comme un moyen d'investigation exceptionnel pour le géographe comme pour le climatologue. Ainsi, l'impact de circonstances climatiques particulières comme la sécheresse de 1990 (trois mois secs consécutifs à Rennes, voir figure 2a) peut se lire au travers des différences internes propres au couvert végétal. Malgré tout, l'interprétation et l'explication de détail, particulièrement dans des régions à petit parcellaire, ne sont pas sans poser quelques problèmes du fait de la faible résolution spatiale des capteurs des satellites NOAA.

Liens entre données au sol et données des satellites NOAA



Les études de suivi de sécheresse de zones relativement homogènes sont possibles, comme l'ont montré Prosper-Laget et al. (1993) pour les forêts méditerranéennes : « la chute estivale des valeurs du NDVI, signal de stress hydrique, apparaît un certain temps après la diminution de la réserve, lorsque le déficit en eau agit sur le port des feuillages. » La concordance des résultats fournis par les méthodes de bilan hydrique et de suivi du NDVI incite donc à penser qu'une corrélation existe entre la valeur du NDVI et celle de la déficience d'évaporation. En théorie, une déficience d'évaporation élevée correspondrait à de faibles valeurs du NDVI, traduisant des phénomènes de sécheresse (Dubreuil, 1994). Mais, si la valeur de la DE a une signification stationnelle concrète, l'interprétation des NDVI est plus délicate.

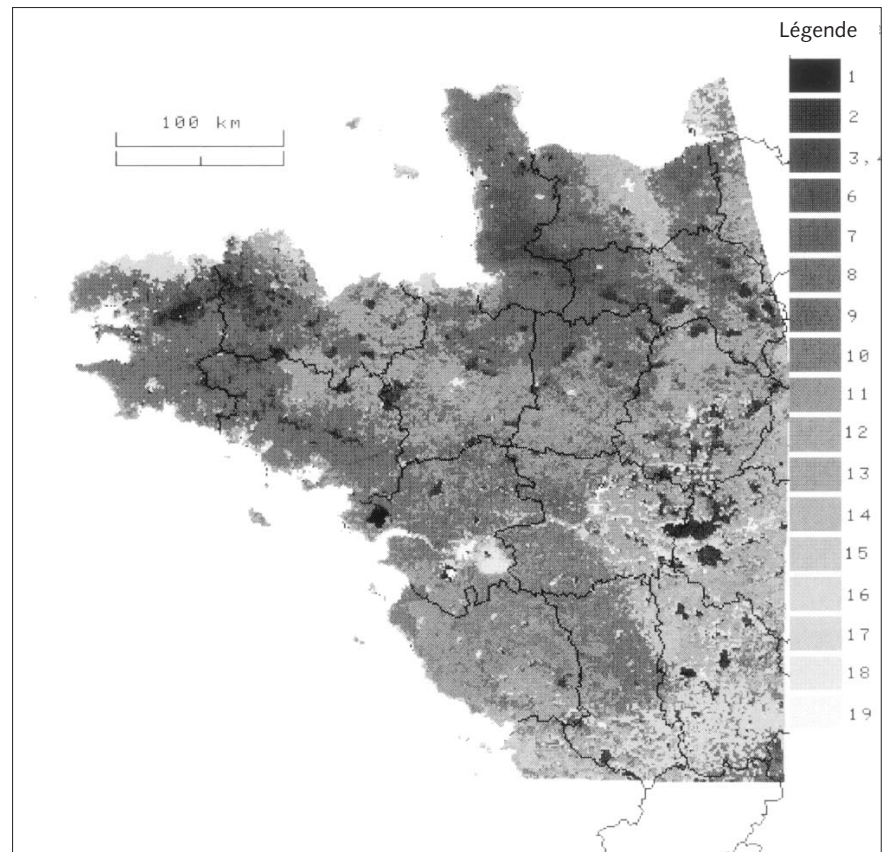


Figure 6 - Classification d'images NOAA (1990) montrant les paysages ruraux dans la France de l'Ouest sur six dates : 22-02, 31-03, 30-04, 27-05, 18-07 et 27-09. Traitement V. Dubreuil, Costel, Rennes ; Images NOAA Satmos, Lannion. Voir également l'encart couleur page 85.

Rappelons simplement que ces images ne peuvent pas être utilisées pour obtenir une valeur physique rigoureusement exacte, du fait des limites de l'outil. Cela dit, les contrastes régionaux et leur évolution chronologique relative constituent une information (qualitative) capitale, plus pertinente pour l'approche géographique que la précision absolue (quantitative) de la valeur du pixel. Mais la résolution spatiale de NOAA intègre le plus souvent un espace très hétérogène quant à la nature du couvert, ce qui rend délicate l'interprétation de la signification réelle du NDVI. Ces remarques justifient l'utilisation combinée des deux approches dans une perspective de cartographie de l'état du couvert végétal en période de sécheresse.

SYNTHÈSE RÉGIONALE DE LA SÉCHERESSE

Les facteurs géographiques favorables à la sécheresse

Les données fréquentielles de la première partie de ce travail (figures 3 et 4) montrent que trois facteurs géographiques interviennent dans le développement de la sécheresse climatique. En premier lieu, on trouve l'influence de la topographie, puis la plus ou moins grande proximité de l'océan et, enfin, l'effet de latitude. Ces trois paramètres, qui doivent être abordés en termes de gradient, n'ont pas partout la même traduction car ils se combinent entre eux et leur influence est plus ou moins sensible en fonction de l'activité agricole régionale.

Le rôle du relief est connu dans ses grandes lignes : une élévation de l'altitude se traduit par une baisse de la température et une augmentation de la hauteur d'eau précipitée. L'existence de reliefs, même modérés, suffit à créer dans les régions de l'Ouest une réelle diversité des conditions de sécheresse, les régions basses étant plus affectées que les hauteurs (Schulé, 1975). Sans les considérer de manière stricte et comme immuables, les isohypses 50 et 200 mètres constituent deux limites significatives dont le tracé correspond souvent à des limites paysagères définies par l'étude des images NOAA. La première valeur permet de délimiter les principales vallées fluviales et surtout les bassins relativement abrités de l'intérieur (régions de Caen, Rennes ou Angers). La seconde constitue la limite inférieure des régions où les déficits importants sont rares. Il s'agit dans ce



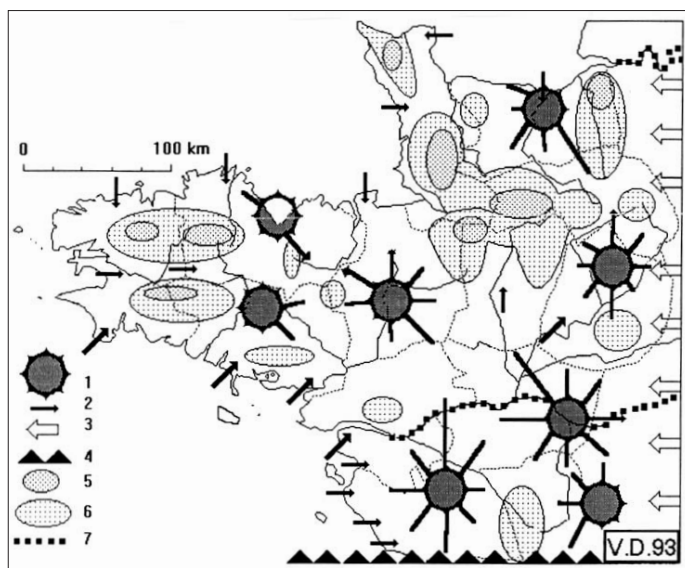


Figure 7 - Eléments de synthèse cartographique de la sécheresse dans la France de l'Ouest.

Pôles endogènes de diffusion de la sécheresse

1 - Bassins topographiques à dominante céréalière et de campagnes ouvertes et remembrées.

2 - Diffusion rayonnante de la sécheresse à partir des pôles par les dépressions topographiques. Également, extension de la sécheresse littorale vers l'intérieur des terres en fonction de l'occupation du sol et du relief.

Causes et mécanismes exogènes favorables à la sécheresse

(facteurs atténuant ou contrariant la circulation perturbée d'ouest)

3 - Influence « continentale » croissante vers l'est : diminution des précipitations hivernales et augmentation des températures estivales.

4 - Effet de latitude avec augmentation des températures estivales.

Môles et facteurs de résistance à la sécheresse

5 - Régions élevées, bocagères ou boisées. Régions très humides peu sujettes à la sécheresse.

6 - Régions humides (« océaniques types ») bocagères ou boisées. Déficiences élevées rares mais plus fréquentes que dans le cas 5 ; réserves utiles souvent importantes.

7 - Apport en eau allogène : cas spécifique des grandes vallées fluviales.

cas d'ensembles frais et humides qui peuvent être définis comme de véritables môles de résistance à la sécheresse. Cet élément est renforcé par une occupation du sol à dominante herbagère et bocagère. De plus, les forêts (ou les landes) jouent un rôle déterminant pour les altitudes supérieures, faiblement occupées et utilisées par l'homme. Il ne faut pas, pour autant, attribuer aux données hypsométriques un rôle disproportionné. Les facteurs d'exposition des versants sont également importants et les situations d'abri sont, on l'a vu, plus favorables au développement de la sécheresse.

Au-delà, la plus ou moins grande proximité de l'océan constitue un deuxième facteur décisif. Là aussi, le phénomène doit être abordé à plusieurs échelles. Les données de pluviométrie et de déficience montrent que le climat des stations littorales est souvent aussi sec que celui de régions de l'intérieur plus méridionales. L'imprécision de la mesure des pluies et leur sous-estimation en raison de vents plus forts sur la côte (qui inclinent la trajectoire de chute des gouttes de pluie) n'y est sans doute pas étrangère. Mais ce phénomène ne saurait expliquer à lui seul l'importance du déficit hydrique littoral. Ce dernier peut être mis en évidence en observant les images NOAA puisque les régions littorales y apparaissent souvent avec des indices de végétation plus faibles que l'intérieur.

Vers l'est, enfin, et pour des conditions topographiques identiques, le développement de la sécheresse peut s'aggraver avec la diminution des pluies d'hiver. Les types de temps anticycloniques d'alimentation continentale augmentent de Brest au Mans (Perron, 1990), favorisant le maintien d'un certain déficit pluviométrique automnal qui tend ainsi à retarder la phase de remplissage des réserves : elle est de plus en plus tardive de l'ouest vers l'est comme le montrent les situations de 1959 et de 1976. Il ne faut pas négliger, non plus, la fréquence plus forte de températures élevées pendant l'été au fur et à mesure que l'on gagne l'intérieur des terres. Certaines années, ce phénomène compense largement la recrudescence des pluies convectives sur le continent et accentue la sécheresse des régions de l'intérieur.

Mais l'augmentation des températures, qui aggrave le déficit pluviométrique, se marque principalement du nord au sud, donc par un effet de latitude. Le gradient latitudinal contribue à différencier, en termes de risque de sécheresse, les régions bocagères de l'Ouest. L'étude climatique prouve que les données de pluie, d'insolation et de température se combinent pour expliquer ce gradient nord-sud qui est la résultante de la translation vers le nord des régimes perturbés du front polaire, dont seules les extrémités méridionales, dégradées et peu actives, affectent le nord des régions étudiées ici. Au sud, en Vendée notamment, les risques sont bien supérieurs à ceux que connaissent le Bocage normand. Entre ces deux extrêmes régionaux, il existe une importante zone de battement où l'extension spatiale de la sécheresse est très variable selon les années ; le cas du département de la Mayenne est très révélateur à cet égard.



Les remarques qui précèdent peuvent être résumées sur un croquis (figure 7), prélude à une synthèse cartographique plus précise des zones à risque. La légende peut être construite en trois temps, distinguant en premier lieu les pôles de sécheresse de la France de l'Ouest, foyers endogènes où la sécheresse se manifeste de façon plus précoce qu'ailleurs et de manière plus intense. Il s'agit essentiellement des bassins topographiques de l'intérieur, dont seuls les principaux sont figurés ici. Les régions céréalières littorales ou sublittorales peuvent également être regroupées dans cette catégorie. Les flèches rayonnantes à partir de ces foyers de sécheresse symbolisent le développement préférentiel de la déficience le long des vallées abritées ou des dépressions. Les flèches isolées sur les côtes correspondent aux régions littorales où, soit aucun relief ne vient véritablement s'opposer à l'extension vers l'intérieur de la sécheresse littorale, soit l'orientation céréalière ou maraîchère contribue à diminuer la couverture végétale pendant l'été (NDVI faibles).

La deuxième partie de la légende concerne les deux mécanismes à l'origine du développement de la sécheresse dans la France de l'Ouest (le facteur topographique étant vu dans la première et la troisième parties). Il s'agit de données exogènes qui viennent accentuer le déficit, en aggravant le plus souvent la carence du flux perturbé d'ouest. Le premier facteur est l'éloignement par rapport à la mer, qu'il convient de définir plus comme une altération des caractéristiques du climat océanique que comme une « continentalité » du climat. Le second thème traité ici est celui de la latitude, qui engendre des sécheresses plus marquées au sud.

La troisième partie de la légende concerne les « îlots de résistance » à la diffusion de la sécheresse. Les principaux môles sont définis par les reliefs, surtout en Normandie. Il est possible de distinguer deux niveaux dans ces régions humides hyperocéaniques, celui des sommets boisés et celui des régions de bocage dense et humide. Enfin, le cas des grandes vallées fluviales de la Loire et de la Seine mérite d'être classé à part dans la mesure où il s'agit ici d'un apport d'eau allo-gène pouvant pallier les déficits locaux (irrigation).

Le croquis ainsi obtenu n'a qu'une valeur qualitative et pédagogique. Il hiérarchise les facteurs favorables ou défavorables à la sécheresse. Deux môles de résistance (Bretagne péninsulaire, Bocage normand) apparaissent. Entre ces deux ensembles assez homogènes, la variabilité de la sécheresse est plus importante dans le temps et dans l'espace. Elle est surtout dépendante de l'orientation agricole dominante qui peut atténuer ou, au contraire, aggraver ses effets. Il faut donc maintenant arriver à une approche plus fine de la sécheresse sur le plan cartographique et géographique.

La diversité des régions de l'Ouest face à la sécheresse : proposition de cartographie

L'essai de synthèse final, objectif majeur de cette étude, doit reprendre les principales idées et les résultats que ce travail a pu dégager, mais aussi mettre en évidence les rapports qui existent entre les données climatiques et les conditions régionales d'utilisation du sol. Il est donc plus simple de représenter ici la synthèse de ces résultats sous forme de tableau (tableau 1) dont les lignes constituent les types de régions. Les régions à dominante bocagère correspondent aux classes 2 à 8, les régions céréalières et d'openfields aux classes 9 à 12. Pour chacun de ces deux grands types de régions, le numéro croissant de la classe indique une sensibilité croissante vis-à-vis de la sécheresse. En colonne, le degré de sensibilité à la sécheresse est quantifié par la médiane (nombre de mois secs ou subsecs une année sur deux) et la variabilité du phénomène est abordée par la prise en compte du quintile supérieur (nombre de mois secs ou subsecs une année sur cinq). À chaque fois, des stations types, représentatives de chacun des cas envisagés, sont données en exemple.

Les lignes de ce tableau constituent donc la légende de la carte de synthèse de la figure 8. Les limites (simplifiées) de la figure 6 ont été reprises en regroupant certaines classes voisines (classes 13 et 14 de la figure 6, par exemple). En outre, les limites de la figure 8 intègrent les résultats des images issues des années 1985 à 1991 (impossibles à toutes reproduire ici). L'imagerie satellitale ne se limite donc pas à une cartographie des paysages ruraux. Elle est un support pour une interpolation spatiale des données climatiques ponctuelles (Mounier, 1990) et permet d'affiner géographiquement les résultats statistiques des figures 3 et 4. La figure 8 montre clairement que les régions bocagères de caractère véritablement



	Sec méd	Sec Q >	ssc méd	ssc Q >	FD méd	FD Q >	HH méd	HH Q <	DE moy	Stations types
1	Cas particulier des forêts									Paimpont
2	0	0	0	1	3	6	8	5	50	Brennilis, Coulouvray-Boisbenâtre
3	0	1	0	2	4	6	7	5	75	Cherbourg, Pontmain, Coray
4	0	1 - 2	1	3	5	7	5 - 6	4	100	Domfront, Rostrenen, Brest
5	0 - 1	2	2	4	6	7	4 - 5	3	125	Laval, Feins, Redon
6	1	2	2 - 3	4 - 5	6	7 - 8	4	4	150	Saint-Georges-des-Groseillers, Nort-sur-Erdre
7	1	2	3	4 - 5	6	7 - 8	4	3	175	Nantes, Cholet, Chantonay
8	1 - 2	2 - 3	3	5	6	8	4	3	200	Montoir-de-Bretagne, La Roche-sur-Yon
9	0 - 1	1 - 2	2 - 3	4 - 5	6	8	4 - 5	2	175	Ploermel, Rennes, Le Mans
10	1	1 - 2	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	3 - 4	2	175	Alençon, Angers, Tours
11	0 - 2	2 - 3	1 - 3	4	6	8	3 - 4	2	150	Caen, Chartres, Poitiers
12	0 - 1	2	2	4	6	7 - 8	4	1 - 3	175	Cancale, Bréhat, Barfleur
13	2	3 - 4	3 - 4	5	6	8	3 - 4	1 - 2	250	Belle-Île, L'île-d'Yeu
14	Espaces urbanisés									

Sec = nombre de mois secs par an
 ssc = nombre de mois au moins subsecs par an
 FD = nombre de mois au moins faiblement déficitaires par an
 HH = nombre de mois hyperhumides par an
 méd = médiane ; Q > = quintile supérieur ; Q < = quintile inférieur
 DE moy. = déficience d'évaporation moyenne annuelle (Turc) en millimètres

Tableau 1 - Définition des régions à risque vis-à-vis de la sécheresse dans la France de l'Ouest. Les numéros en ligne correspondent aux types des régions de la carte de la figure 8. Régions à dominante bocagère de 2 à 8 ; régions à dominante ouverte de 9 à 12. Classement des régions les plus humides vers les plus sèches de haut en bas.

océanique où la sécheresse est rare et limitée ne couvrent qu'une partie de la France de l'Ouest. Ces bocages humides types sont essentiellement représentés en Normandie (à l'exception des campagnes de Caen, d'Argentan, d'Alençon et du Perche). On les retrouve dans la moitié nord de la Mayenne, au nord-ouest de l'Ille-et-Vilaine et à l'ouest d'une ligne Saint-Brieuc - Vannes. En Vendée et dans les Deux-Sèvres, l'extension de ces types franchement océaniques est limitée aux hauteurs de Gâtine car, très vite, lorsque les altitudes sont plus modestes (en dessous de 200 mètres), les régions de bocage deviennent plus sensibles à la sécheresse.

Un deuxième grand ensemble géographique regroupe des régions où bocage et élevage dominant toujours, mais avec une proportion plus importante de cultures céréalières (blé) et surtout fourragères (maïs notamment). La différence essentielle avec les types précédents réside dans la probabilité plus forte de connaître des déficiences d'évaporation élevées. Ces régions connaissent souvent un mois sec (presque une année sur deux) et, une année sur cinq, on compte deux à trois mois secs, ou quatre à cinq mois au moins subsecs consécutifs. La sécheresse est donc dans ces régions un phénomène relativement normal et fréquent. Elle l'est d'autant plus que l'on se dirige vers le sud, pour culminer, dans les régions de l'Ouest, en Vendée. En cas d'années fortement déficitaires, que l'on ne peut qualifier d'exceptionnelles dans ces régions car leur fréquence est bien plus forte qu'au nord, la saison humide hivernale peut être abrégée de plusieurs mois comme en 1976 : la reconstitution des réserves n'étant pas assurée, le déficit peut se prolonger jusqu'à l'automne de l'année suivante, comme en 1989. Les sous-ensembles distingués ici n'ont qu'une signification relative visant à souligner que, selon les années, le maximum d'intensité de la sécheresse a pu se situer à tel ou tel endroit : Vendée en 1985 et en 1989, Loire-Atlantique en 1990. Les années les plus déficitaires peuvent repousser loin au nord la limite entre les différents ensembles (voir le cas du département de la Mayenne déjà évoqué).

Le troisième grand ensemble correspond aux régions dont les paysages sont plus ouverts (haies éparses des campagnes remembrées du centre Bretagne, openfields de l'est) et dont l'orientation agricole connaît une domination plus ou moins affirmée des céréales (blé notamment). Bien sûr, une grande variété existe, ce qu'essaie de montrer la subdivision en trois sous-types. Localement, comme dans la moitié sud de la Sarthe, les choses peuvent être plus complexes avec une



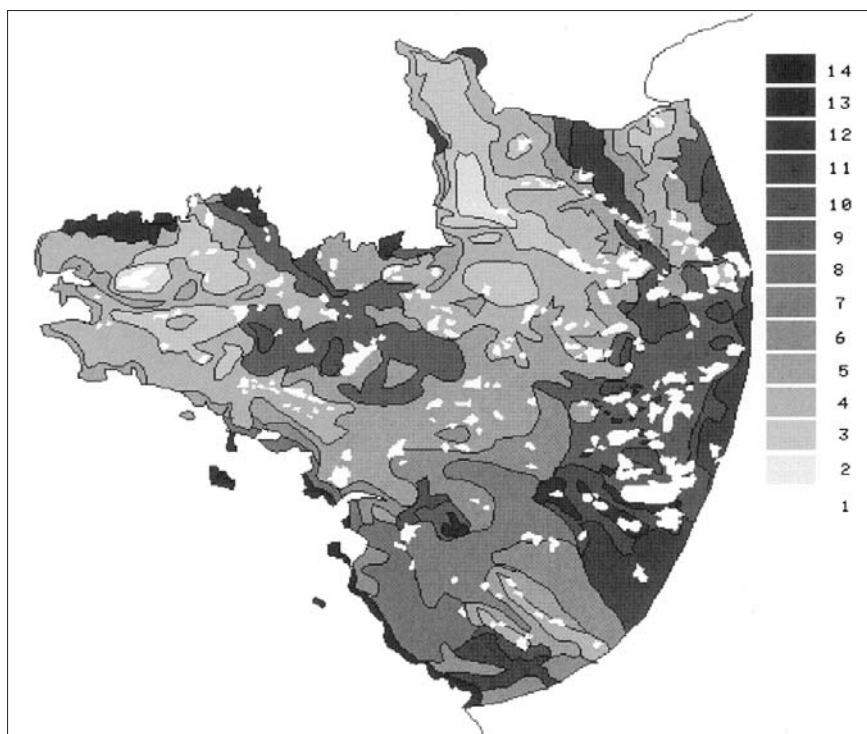


Figure 8 - Carte de synthèse des régions à risque vis-à-vis de la sécheresse dans la France de l'Ouest. Les chiffres de l'échelle des gris sont explicités dans le tableau 1. Voir également l'encart couleur page 85.

proportion plus forte de bois, de vergers et d'herbages. Mais ce qui importe du point de vue de la sécheresse, c'est que l'on a affaire ici à des régions souvent abritées (bassin de Rennes) ou déjà fortement éloignées de la mer (Saosnois, Baugeois). Les températures estivales sont donc déjà plus élevées, favorisant la culture du maïs par exemple, mais les précipitations restent faibles l'été et s'amenuisent considérablement l'hiver, favorisant cette fois la culture du blé. La sécheresse doit donc être abordée en tenant compte de la forte probabilité de ne pas connaître de reconstitution des réserves utiles du sol au cours de la saison froide (seulement deux mois hyperhumides une année sur cinq, soit moins qu'en Vendée). Parallèlement, un déficit grave est possible pendant l'été (un à deux mois secs une année sur deux), mais aussi au cours du printemps, comme en 1976 (Legrand, 1986), ou de l'automne, comme en 1959 ou en 1989 (cinq mois au moins subsecs une année sur cinq). Pour reprendre le cas de la culture du maïs fourrager, les conditions thermiques souvent favorables ne doivent donc pas occulter le déficit chronique des précipitations qui rend nécessaire, au moins une année sur deux, un apport en eau par irrigation.

Enfin, la légende distingue des cas particuliers de types d'occupation du sol (de taille plus réduite) dont les rapports avec la sécheresse sont spécifiques. Les forêts, tout d'abord, situées sur les reliefs, résistent bien à la sécheresse. Il convient cependant de ne pas négliger les risques d'incendies lors d'étés très chauds et secs (années 1976, 1989 et 1990).

Les régions viticoles du Val de Loire doivent être exclues des zones à risque en matière de sécheresse, ce phénomène climatique étant dans ce cas synonyme de bons rendements et de qualité des crus. En revanche, ce type de production est très sensible à la recrudescence des phénomènes orageux qui se développent souvent lors des années chaudes par convection à partir du sol. Dans ces régions, la principale contrainte climatique réside dans l'apparition de gelées printanières comme en 1991. Il en est de même pour les régions d'arboriculture fruitière de la Sarthe et de l'Anjou où les années sèches de 1989 et 1990 ont connu de meilleures récoltes que celles de 1991 et 1992 (Blondeau, 1992).

Les régions de cultures légumières des côtes de la Manche et de Bretagne ne souffrent pas de la sécheresse de manière aussi prononcée que les régions de l'intérieur. Si la déficience d'évaporation sur le littoral est en général très forte (pluies modérées, vents forts, mais températures maximales estivales atténuées), elle correspond souvent à la période creuse de la saison végétative, entre la récolte précédente et la levée de la suivante.



Enfin, la sécheresse est maximale sur les littoraux de la côte sud de la Bretagne, de Quiberon à Arzal, ainsi que sur le littoral de la Loire-Atlantique et de la Vendée. Les nuances subméditerranéennes sont très sensibles et la gravité des problèmes dus à la sécheresse concerne moins l'agriculture que la fourniture d'eau potable à la population estivale, attirée notamment par un fort ensoleillement.

Ce tableau serait incomplet s'il ne mentionnait pas les grands foyers urbains et industriels de consommation d'eau. Leur alimentation peut être locale, provenant de nappes, régionale (captage des eaux du Couesnon pour Rennes) ou dépendre du régime des fleuves et rivières. Dans ce dernier cas, les grandes villes du Val de Loire (de Tours à Nantes) constituent un exemple d'utilisation d'une eau venant de l'extérieur de la région étudiée ici, ce qui montre la dimension plus générale du problème de la sécheresse.

CONCLUSION

La sécheresse n'est pas une fatalité. C'est une réalité, même dans des régions océaniques aussi étroitement associées à l'idée de pluies persistantes comme la Bretagne ou la Normandie. L'histoire rappelle la dépendance, souvent tyrannique, des sociétés anciennes vis-à-vis des conditions climatiques, et notamment de la sécheresse. Il serait pourtant illusoire de penser que ces contraintes ont totalement disparu. « *Quoique les progrès techniques aient affranchi, dans une certaine mesure, les agriculteurs des contraintes naturelles, les techniciens de l'agriculture, on en conviendra, n'ont jamais tant scruté les sols et le climat [...]. C'est la preuve que le milieu naturel entre dans leurs calculs de rentabilité* » (Dufour, 1981). L'étude des grandes sécheresses récentes a permis de replacer le problème : si le risque n'existe pas chaque année dans les régions de l'Ouest, il ne saurait être étudié. La démarche scientifique, combinant l'approche climatique ponctuelle et détaillée et l'analyse spatiale au moyen des images des satellites NOAA, se révèle fructueuse car la gravité de la sécheresse, fonction du contexte socio-économique et géographique de l'espace où elle sévit, est ainsi prise en compte.

Sur le plan méthodologique, les données du bilan hydrique permettent de bien suivre le développement de la sécheresse, phénomène qui s'inscrit avant tout dans la durée, contrastant singulièrement avec les autres accidents climatiques plus « médiatiques ». Son intensité est également clairement mise en évidence. En considérant la question en termes de risque, ou de probabilité, on démontre la gravité potentielle du phénomène, non seulement au cours d'années exceptionnelles, mais aussi dans des proportions souvent méconnues : deux à trois mois secs pour le quintile supérieur dans la plupart des régions. Il est banal de dire, qu'en climatologie, la moyenne n'a guère de signification pratique. C'est particulièrement vrai pour la sécheresse dans la France de l'Ouest où la variabilité du phénomène est sa caractéristique seconde, après sa durée.

À la variabilité interannuelle du phénomène répond une grande disparité spatiale dans sa gravité et son occurrence. Les gradients en altitude, en latitude et en fonction de la plus ou moins grande proximité de l'océan sont évidents à la lumière des observations climatiques. L'étude plus fine que permettent les images de télédétection montrent une plus grande diversité des situations régionales et locales. De ce point de vue, les choix du type de satellite (NOAA) et de l'information (NDVI) se révèlent très adaptés à l'approche régionale choisie ici. Certes, d'autres méthodes d'investigation devraient être suivies pour valider ou infirmer les résultats comme le cumul des valeurs du NDVI par périodes. Une meilleure compréhension des mécanismes reliant le développement du couvert et les conditions climatiques serait également possible avec des emboîtements d'échelles : du régional au général avec utilisation des données *Météosat* (Justice et al., 1991) ou du régional au local avec les capteurs *Spot* ou *Landsat* (Gallo et Daughtry, 1987). L'apport combiné du NDVI et des données des canaux infrarouges thermiques de NOAA est aussi une piste de recherche intéressante (Whitehead et al., 1986).

Une telle approche, dans le cadre de la France océanique, montre ainsi une grande diversité des situations locales ; elle traduit la complexité des interactions entre les données physiques et les aspects humains. Au bout du compte, la sécheresse apparaît comme un formidable sujet de synthèse géographique et climatologique et sa cartographie est une étape décisive en vue d'une réflexion sur l'aménagement régional.



BIBLIOGRAPHIE

- Blondeau P., 1992 : L'avenir des vergers de la Sarthe. *Norois*, 39, 154, 131-144.
- Dubreuil V., 1994 : La sécheresse dans la France de l'Ouest : étude au moyen des bilans hydriques et des images des satellites NOAA-AVHRR. Thèse de doctorat de géographie, université de Haute-Bretagne, Rennes 2, 2 tomes, 381 et 550 p.
- Dufour J., 1981 : Agriculture et agriculteurs dans les campagnes mancelles : le devenir des régions agricoles. Thèse de doctorat d'État, Paris 1, 596 p.
- Dorize L., 1983 : La sécheresse : essai d'analyse climatologique. *Géographie et recherche à Saint-Cloud*, 47, 85-112.
- Farki B. et A. Sairouni, 1991 : Classification de la végétation sur la France et l'Espagne à l'aide de l'AVHRR de NOAA-11. Rapport de DEA, université de Toulouse III, École nationale de la météorologie, CMS Lannion, 61 p.
- Gallo K. P. et C. S. T. Daughtry, 1987 : Differences in vegetation indices for simulated Landsat-MSS and TM, NOAA9-AVHRR and SPOT-1 sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, 23, 3, 439-452.
- Hubert L., 1989 : Potentialités et limites de l'imagerie satellitaire pour une cartographie dynamique de l'occupation du sol en Bretagne. Thèse de doctorat de géographie, université de Haute-Bretagne, Rennes 2.
- Justice C. O., G. Dugdale, J. R. G. Townshend, A. S. Narracott et M. Kumar, 1991 : Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 6, 1349-1368.
- Legrand L., 1986 : Caractérisation des paysages agraires en Bretagne par données satellitaires Landsat : mise en évidence des zones à risque vis-à-vis de la sécheresse. Thèse de doctorat de géographie, université de Haute-Bretagne, Rennes, 277 p.
- Loveland T. R., J. W. Merchant, D. O. Ohlen et J. F. Brown, 1991 : Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U.S. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57, 11, 1453-1463.
- Marchand J.-P., 1981 : Climatologie, science humaine ? *Informatique et sciences humaines*, 48, 43-57.
- Mounier J., 1977 : Aspects et fréquences de la sécheresse en Bretagne. *Revue de géographie de Lyon*, 2, 167-176.
- Mounier J., 1990 : Cartographie des risques naturels par l'image satellite. Publication de l'Association internationale de climatologie, vol. 3, colloque « Satellites et climatologie », Lannion, Rennes, juin 1990, 83-89.
- Perron G., 1990 : Types de temps et ensoleillement en climat océanique : une méthode de climatologie appliquée à la Bretagne. Thèse de doctorat de géographie, université de Haute-Bretagne, Rennes 2, 312 p.
- Prosper-Laget V., A. Douguedroit et J.-P. Guinot, 1993 : Évaluation par télédétection satellitaire de la sécheresse du sol en région forestière méditerranéenne. Publication de l'Association internationale de climatologie, vol. 6, colloque « La sécheresse en Méditerranée et dans les pays environnants », université de Thessaloniki, 142-150.
- Schulé C., 1975 : Contribution à l'étude géographique des sécheresses : exemple du bassin de la Maine. R. G. de l'Est, Nancy, 1-2, 113-129.
- Turc L., 1961 : Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Annales agronomiques*, 1, 13-49.
- Tucker C. J., J. R. G. Townshend et T. E. Goff, 1985 : Africa land-cover classification using satellite data. *Science*, 227, 4685, 369-375.
- Whitehead V. S., W. R. Johnson et J. A. Boatright, 1986 : Vegetation assessment using a combination of visible, near-I.R., and thermal-I.R. AVHRR data. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, GE-24, 1, 107-112.

