

## CARACTERISATION ET EVOLUTION DU CLIMAT

### QUELLES CONSEQUENCES POUR LA VEGETATION FORESTIERE ?

- REGION PAYS DE LA LOIRE -





## SOMMAIRE

---

<b>RESUME .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>1. LES CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT RÉGIONAL. ....</b>	<b>7</b>
1.1. LES PRÉCIPITATIONS. ....	7
1.1.1. LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DE LA MOITIE NORD DE LA FRANCE.....	7
1.1.2. LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DE LA REGION DES PAYS DE LA LOIRE. ....	8
1.1.3. DISTRIBUTION SPATIALE DES PRECIPITATIONS. ....	10
1.2. LES TEMPÉRATURES. ....	12
1.2.1. LA REPARTITION DES TEMPERATURES DE LA MOITIE NORD DE LA FRANCE.....	12
1.2.2. DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPERATURES SUR LA REGION DES PAYS DE LA LOIRE. ....	13
1.2.3. DISTRIBUTION DES TEMPERATURES EN SAISON DE VEGETATION. ....	15
1.3. L'ENSOLEILLEMENT. ....	15
1.4. LES VENTS.....	16
1.5. SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT RÉGIONAL. ....	16
<b>2. ÉVOLUTION DU CLIMAT RÉGIONAL.....</b>	<b>19</b>
2.1. ÉVOLUTION PASSÉE DU CLIMAT. ....	19
2.1.1. LES TEMPERATURES. ....	19
2.1.2. LES PRECIPITATIONS.....	21
2.1.3. LES EVENEMENTS EXCEPTIONNELS.....	22
2.2. TENDANCE ÉVOLUTIVE FUTURE. ....	22
2.2.1. EVOLUTION DU CLIMAT MONDIAL. ....	22
2.2.2. LES TENDANCES EVOLUTIVES DU CLIMAT REGIONAL.....	24
<b>3. LE DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF, INDICATEUR CLIMATIQUE POUR LA VÉGÉTATION FORESTIÈRE.....</b>	<b>26</b>
3.1. INTÉRÊTS DU DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF. ....	26
3.2. MÉTHODE DE CALCUL DU DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF.....	26
3.3. DÉTERMINATION DU DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF (DHR) POUR LA RÉGION. ....	27
3.3.1. DEFICIT HYDRIQUE RELATIF ANNUEL.....	27
3.3.2. DEFICIT HYDRIQUE RELATIF POUR LA SAISON DE VEGETATION.....	29
<b>4. RÔLES ET DÉTERMINATION DE LA RÉSERVE UTILE EN EAU DU SOL. ....</b>	<b>33</b>
4.1. DEFINITION DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.....	33
4.2. ROLE DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.....	33
4.3. CALCUL DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.....	33
4.4. INTERETS DE LA DETERMINATION DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.....	35
<b>5. EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES RÉGIONALES..</b>	<b>37</b>
5.1. DES EXIGENCES PROPRES A CHAQUE ESSENCE.....	37
5.2. EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES RÉGIONALES.....	37
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>42</b>
<b>LISTE DES CARTES, GRAPHIQUES, TABLEAUX ET FIGURES .....</b>	<b>44</b>

## RESUME

---

Dans un contexte de changement climatique mondial, l'étude du climat régional et de son évolution apparaît indispensable à l'appréhension des menaces qui pèsent sur la biodiversité régionale.

Le climat régional se caractérise par un régime pluviométrique de type océanique, présentant toutefois des variantes : régime océanique typique pour les départements côtiers, régime océanique à tendance altérée pour la Sarthe, la Mayenne et le Maine-et-Loire.

Globalement, la Vendée, la Sarthe et la Mayenne apparaissent comme les départements les plus arrosés, alors que le Maine-et-Loire est le département le plus sec de la région.

Toutefois, la distribution spatiale des précipitations est hétérogène : les contreforts des collines vendéennes et le nord de la Mayenne présentent des précipitations annuelles supérieures à 1000 mm, alors que la région angevine, le Saumurois et les zones côtières ne reçoivent guère plus de 500 à 600 mm par an.

A l'échelon régional, la distribution des températures se caractérise par un gradient latitudinal de l'ordre de 3°C, allant de 12,5°C au sud-ouest, à 9, 5°C au nord-est de la région.

En période estivale, les secteurs les plus chauds sont la région Angevine et le Saumurois, le sud-ouest vendéen et le nord-est du Pays Nantais. Les températures sont moins élevées le long des côtes.

D'après de nombreuses études et notamment les recherches du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat), le réchauffement climatique est bien une réalité. Différents scénarii ont été élaborés afin d'évaluer son intensité. Les hypothèses retenues sont plausibles, mais susceptibles d'évolution en fonction de l'état des connaissances.

Cette tendance évolutive définie à des échelles mondiales et nationales donne des indications trop imprécises pour être utilisables au niveau régional.

Toutefois, l'étude des données météorologiques régionales récoltées ces 30 dernières années (depuis 1977) fait apparaître une augmentation des moyennes des températures maximales en période estivale de l'ordre de 0,8°C par décennie. La pluviométrie, quant à elle, est restée relativement stable pendant cette même période.

L'étude des conséquences de cette évolution climatique régionale sur la végétation forestière passe par le choix d'un indicateur pertinent. Le déficit hydrique relatif (DHR) semble approprié ; il quantifie les capacités d'un sol à subvenir ou non aux besoins hydriques des plantes en fonctions des conditions climatiques locales.

Le DHR est particulièrement accentué (> 25%) pour la région angevine et le Saumurois (vallée de la Loire) et les côtes du département de la Loire-Atlantique et du sud vendéen. Par opposition, le DHR apparaît faible (< 15%) au nord des départements de la Mayenne et de la Sarthe, ainsi qu'aux environs de la ville de La Roche-sur-Yon.

La connaissance des exigences climatiques des principales essences forestières de la région (chênes pédonculés et rouvres, pin maritime, châtaignier, pin sylvestre, hêtre) permet d'appréhender leur adaptation aux conditions climatiques locales. Cependant, elles ne peuvent expliquer à elles seules la répartition des essences forestières sur un territoire donné.

Chaque essence forestière se caractérise par des exigences qui lui sont propres : topographiques (exposition, altitude), climatiques (précipitations, températures, hygrométrie de l'air, gelées, vent...), pédologiques (acidité, alimentation en eau, compacité du sol, texture...) et contribuent à l'organisation de leur distribution spatiale à l'échelle des territoires.

Bien que le principal facteur limitant la présence de ces essences soit la pluviométrie, celles-ci, à la faveur de micro-habitats favorables, peuvent toutefois être retrouvées en dehors de leurs zones climatiques.

## INTRODUCTION

---

Si les avis des experts ont longtemps été divergents sur les changements climatiques mondiaux à venir, un certain consensus semble aujourd'hui se dégager sur le fait que les prochaines décennies pourraient être marquées par des modifications sensibles des régimes de précipitations et de températures.

La grande longévité des arbres et la relative stabilité dans le temps des écosystèmes forestiers, en dehors de toute agression exceptionnelle (incendie, tempête...), réduisent d'autant leurs capacités à s'adapter aux modifications brutales des conditions du milieu et des facteurs extérieurs.

Le temps de réaction souvent pluriannuel des arbres à tout changement fait que, dans un contexte de modification du climat mondial, il est urgent d'anticiper les risques induits. La fréquence des sécheresses estivales et l'augmentation des précipitations hivernales pourraient avoir de graves conséquences sur la pérennité des écosystèmes forestiers de notre région.

Il est déjà notable au sud de notre région que le chêne pédonculé, très fortement représenté dans nos forêts, mais aussi dans le bocage, subit de plein fouet les sécheresses estivales et les fortes chaleurs (notamment depuis 2003). La Vendée et le sud du Maine-et-Loire sont particulièrement affectés.

L'étude des précipitations ne permet pas d'expliquer à elle seule ce phénomène. C'est bien l'étude de la combinaison des précipitations (et leur répartition), des températures et des réserves en eau utile des différents types de sols en relation avec l'autécologie des essences qui peut expliquer la réaction des végétaux aux changements climatiques.

Cette connaissance des risques est d'autant plus importante qu'il faut dès aujourd'hui l'intégrer dans les réflexions préalables aux opérations sylvicoles de plantation, de reconstitution et de gestion des peuplements.

L'objectif de cette étude est de préciser les caractéristiques spatio-temporelles du climat de la région des Pays de la Loire et permettre une meilleure mise en relation de ces données avec les dépérissements forestiers constatés.

L'approfondissement de ces connaissances doit nous conduire à une approche des zones à risques climatiques pour les principales essences régionales. Couplées aux données stationnelles, et notamment au calcul de la réserve utile en eau des sols, ces informations seront de précieux outils de diagnostic pour la gestion des boisements existants ou à créer.

## **LES CARACTERISTIQUES DU CLIMAT REGIONAL**



## 1. LES CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT RÉGIONAL.

---

Afin de caractériser le climat régional, quatre paramètres sont considérés :

- les précipitations,
- les températures,
- l'ensoleillement,
- les vents.

Ces éléments permettent d'apprécier les besoins climatiques de la végétation et ainsi d'étudier son évolution dans un contexte de changement climatique annoncé.

Pour caractériser le climat actuel de notre région, cette étude utilise les données météorologiques des 30 dernières années (1971-2000). Il s'agit des valeurs moyennes trentenaires mensuelles et annuelles des températures et des précipitations, recueillies sur les stations Météo-France de la région. Leur traitement par la méthode Aurélhy (spatialisation par interpolation en une grille de points à maille de 1 km) permet une représentation cartographique sur les Pays de la Loire.

Pour ce qui concerne l'ensoleillement et les vents, en l'absence de données suffisantes récoltées régionalement sur une longue période avec la même méthode, ce sont des cartes à l'échelle nationale qui ont été utilisées afin de compléter cette étude. Leur manque de précision à l'échelle régionale nous invite à la plus grande prudence quant à leur interprétation.

### 1.1. LES PRÉCIPITATIONS.

#### 1.1.1. LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DE LA MOITIE NORD DE LA FRANCE.

Les valeurs utilisées sont les moyennes des hauteurs de précipitations mensuelles et annuelles pour la période 1971-2000. Les précipitations mensuelles permettent d'apprécier le régime pluviométrique (et d'estimer un éventuel déficit estival).

Différents types de régimes pluviométriques ont été identifiés pour la moitié nord de la France (GILBERT J., FRANC A., 1997). Ils se différencient par la répartition des niveaux de précipitations mensuels. Ils peuvent être classés en 4 grandes catégories :

- les régimes océaniques caractérisés par des pluies abondantes en automne et en hiver et de moindre importance au printemps et en été,
- les régimes océaniques altérés : pluies assez bien réparties tout au long de l'année avec un léger excédent hivernal ou printanier,
- les régimes continentaux altérés, présentant des pluies un peu plus abondantes en été qu'en hiver,
- les régimes continentaux caractérisés par des pluies nettement plus abondantes en été qu'en hiver.

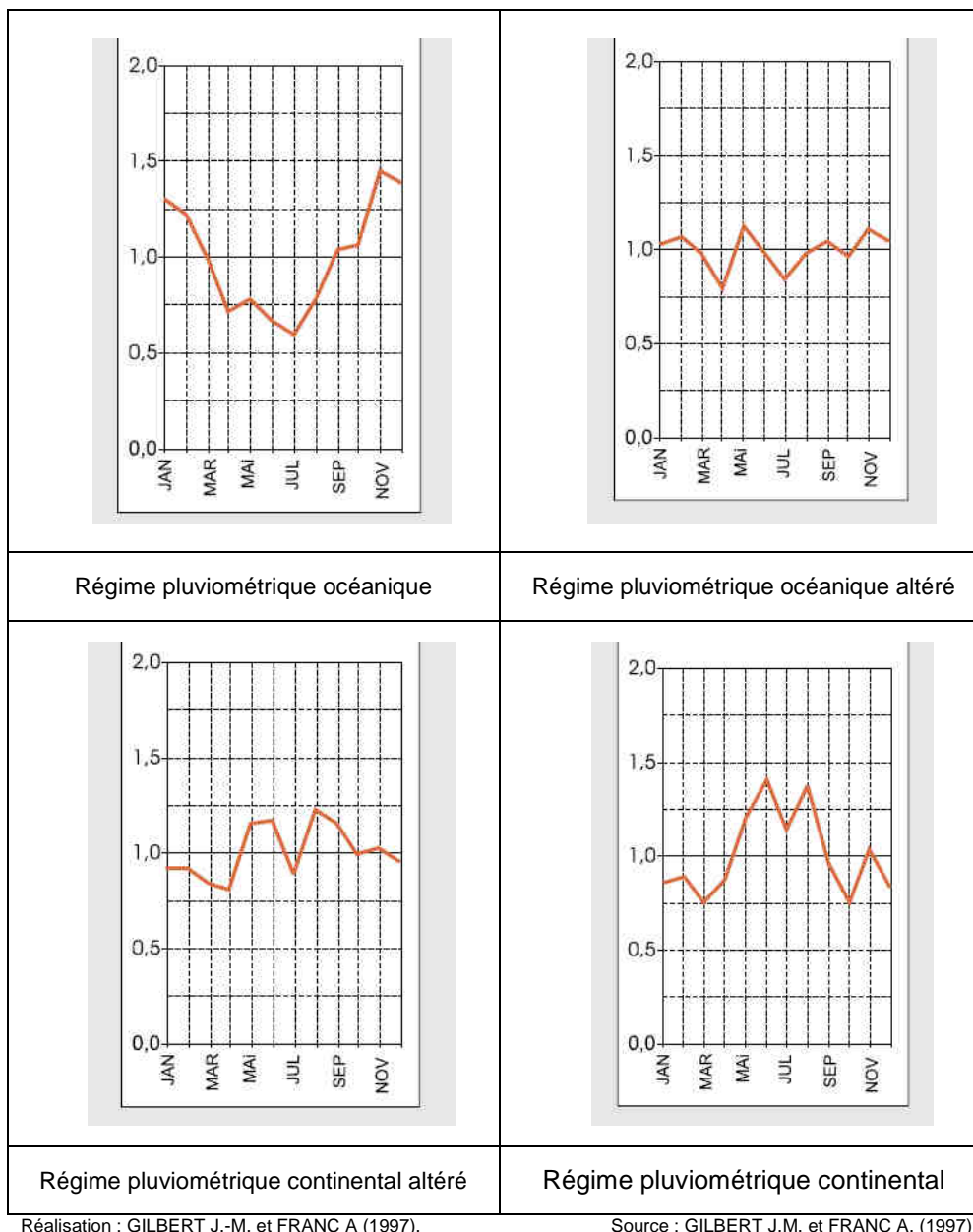


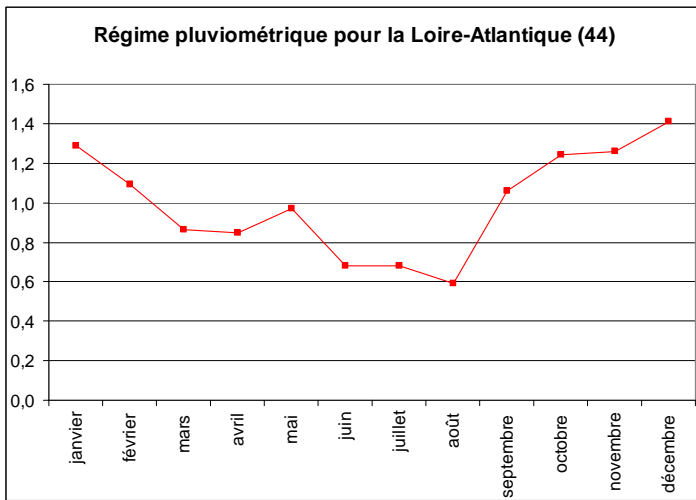
Figure 1 – Régimes pluviométriques de la moitié nord de la France.

Ces régimes se répartissent sur la moitié nord de la France selon la longitude des points considérés, allant du climat océanique à l'ouest au climat continental à l'est.

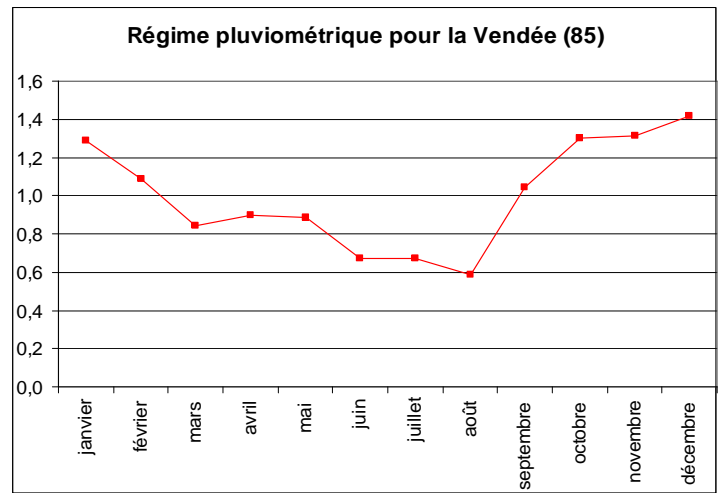
### 1.1.2. LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DE LA REGION DES PAYS DE LA LOIRE.

La région des Pays de la Loire, située à l'ouest, est principalement soumise aux influences océaniques. La comparaison des régimes pluviométriques décrits ci-dessus avec ceux pour les départements de la région nous permet de distinguer :

- un régime océanique pour les départements de la Vendée et de la Loire-Atlantique,
- un régime océanique altéré pour la Sarthe, la Mayenne et le Maine-et-Loire.

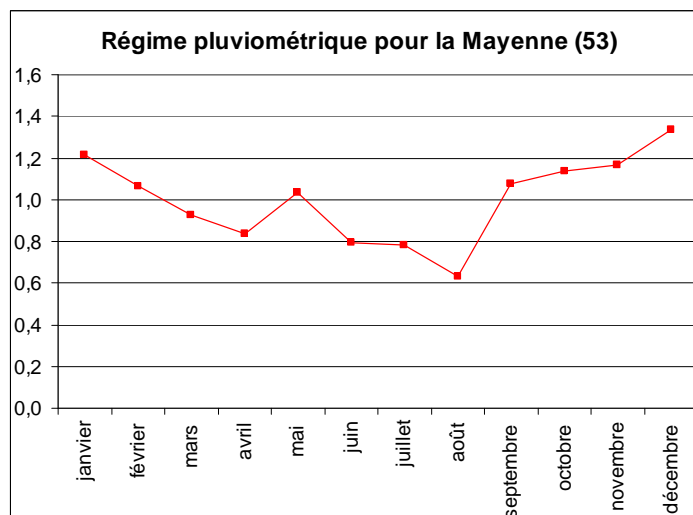
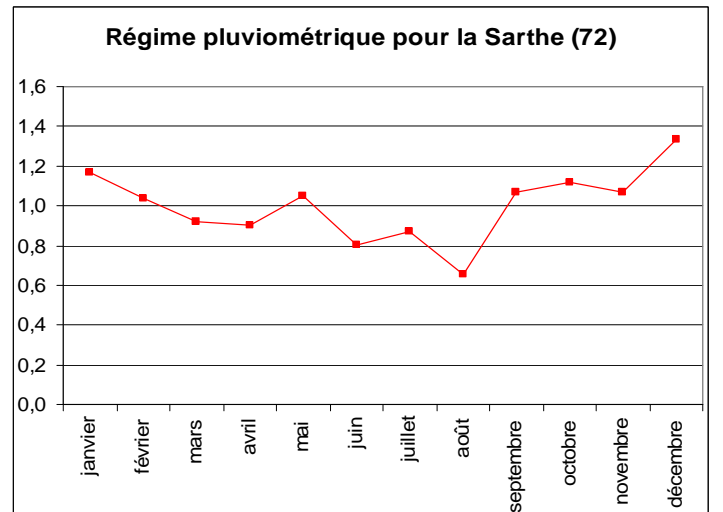
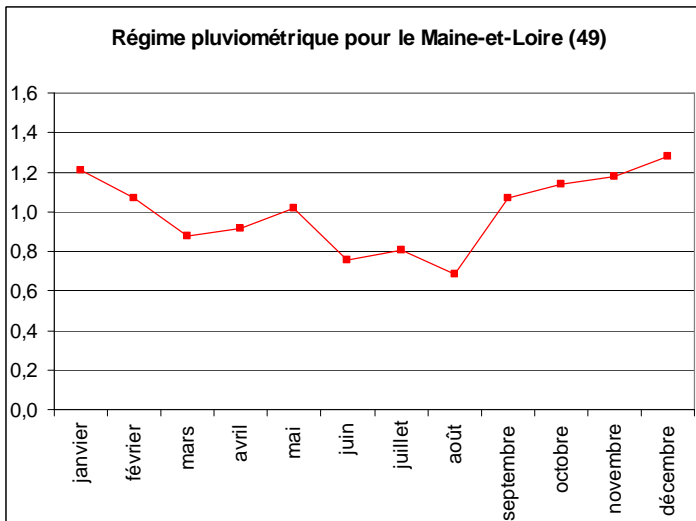


Réalisation : Sylvain Loyer (CRPF PDL), 2008.



Source : MétéoFrance – Aurélihy.

Graphiques 1 et 2 – Régime pluviométrique océanique (Vendée et Loire-Atlantique).



Réalisation : Sylvain Loyer (CRPF PDL), 2008. Source : MétéoFrance – Aurélihy.

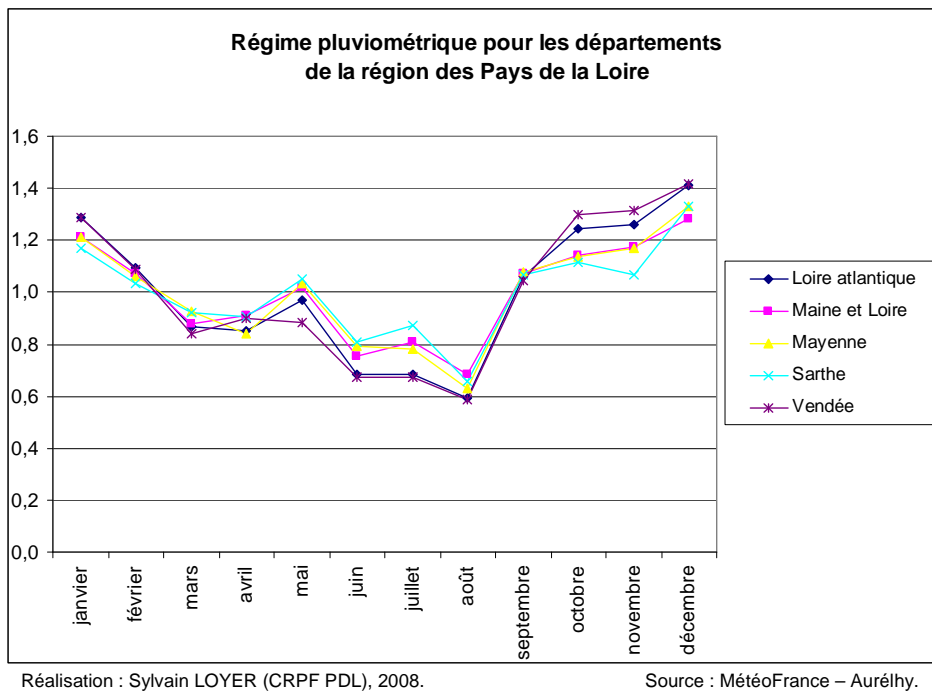
Graphiques 3, 4 et 5 – Régime pluviométrique océanique altéré (Sarthe, Mayenne et Maine-et-Loire).

A noter toutefois que le découpage départemental cache parfois des disparités territoriales notamment marquées en ce qui concerne la Mayenne. Le nord du département, plus arrosé, bénéficie

d'entrées maritimes en provenance de la Manche lui conférant ainsi un climat de type océanique (influences normandes), alors que le reste du département est plus de type océanique altéré.

Le climat régional se caractérise donc par un régime pluviométrique à dominante océanique, présentant toutefois des variantes assez ténues : régime océanique typique pour les départements côtiers et le nord de la Mayenne, régime océanique à tendance altéré pour la Sarthe, le Maine-et-Loire et le reste de la Mayenne.

Les pluies sont généralement plus abondantes en automne et en hiver qu'au printemps et en été, même si ce phénomène a tendance à s'atténuer en s'éloignant de la côte (l'influence océanique se fait moins ressentir à l'est).



Graphique 6 – Régimes pluviométriques pour les départements de la région des Pays de la Loire.

Si l'étude des régimes pluviométriques permet de classer le territoire régional en 2 catégories, cette scission ne reflète en rien le volume des précipitations annuelles.

Bien qu'appartenant à des régimes quelque peu différents, la Vendée, la Sarthe et la Mayenne apparaissent comme les départements les plus arrosés. Avec 840 mm/an, la Vendée arrive même en tête de ce palmarès. Malgré une pluviométrie moyenne annuelle plus faible que la Vendée, la Sarthe et la Mayenne disposent d'un volume d'eau supérieur en été.

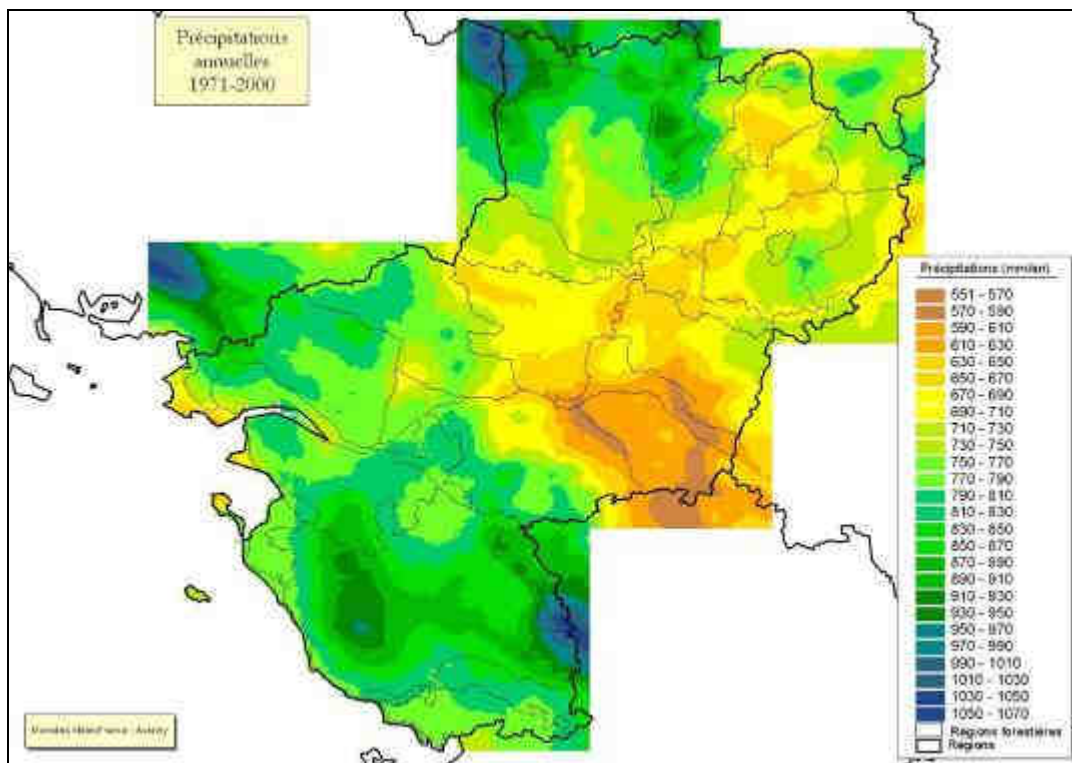
Le Maine-et-Loire, quant à lui, est de très loin le département le plus sec de la région avec seulement 680 mm/an.

A volumes de précipitations annuelles égaux, le climat océanique est moins favorable à la végétation que le climat océanique altéré. En effet, ce dernier présente une meilleure répartition de la pluviométrie tout au long de l'année - période estivale incluse - et assure donc une meilleure alimentation en eau en période de végétation.

### 1.1.3. DISTRIBUTION SPATIALE DES PRECIPITATIONS.

La distribution spatiale des précipitations permet de juger de leur hétérogénéité. Bien que la moyenne des précipitations départementales soit comprise entre 600 et 800 mm par an, certains secteurs sont beaucoup plus arrosés que d'autres.

Le secteur des collines vendéennes présente des précipitations supérieures à 1000 mm, alors que la région angevine doit se contenter d'une pluviométrie plus basse comprise entre 500 à 600 mm par an.



Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy.

Carte 1 – *Distribution spatiale des précipitations annuelles (en mm) sur la période 1971-2000 en Pays de la Loire.*

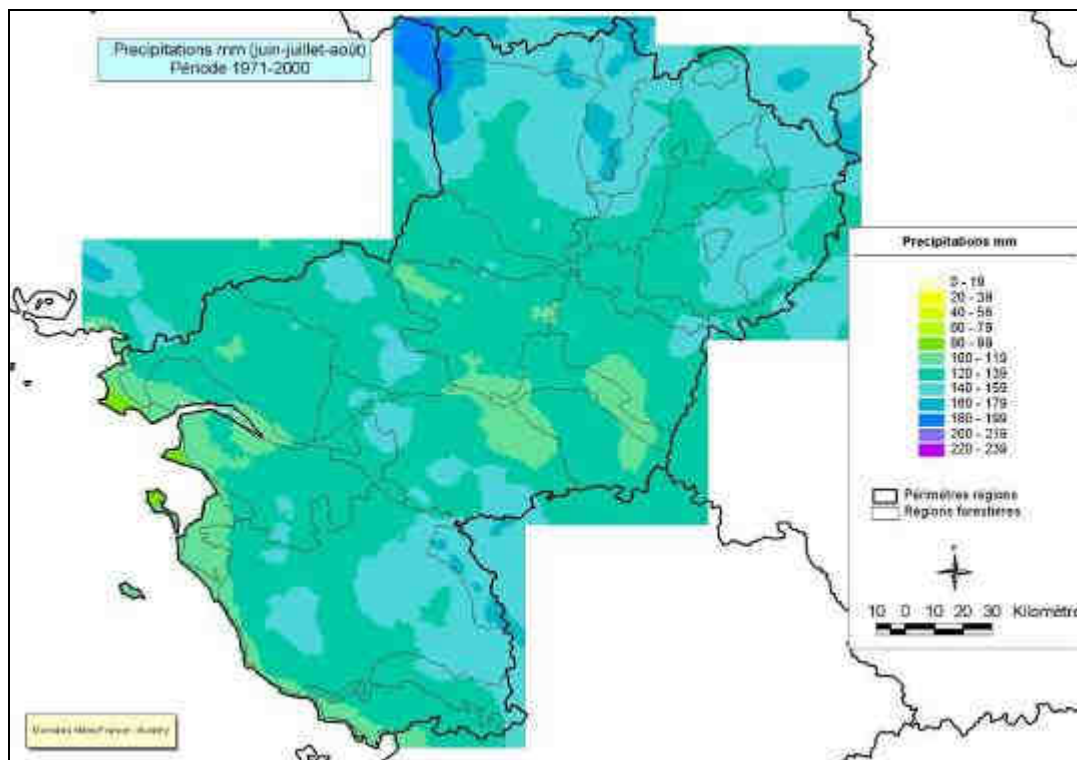
Cette différence peut s'expliquer par la topographie. Les collines vendéennes sont les premiers reliefs rencontrés par les perturbations océaniques ; elles constituent donc une véritable barrière pour les pluies venant de l'ouest. Les secteurs Angevin et du Saumurois situés à l'arrière, à « l'abri » des collines vendéennes, sont ainsi beaucoup moins arrosés.

Le nord de la Mayenne présente aussi une pluviométrie plus importante. Les influences des climats Breton et Normand prédominent dans ce secteur.

Les bandes côtières (Loire-Atlantique essentiellement) présentent de faibles précipitations (600 mm/an), alors que le nord de ce département montre une pluviométrie légèrement plus élevée (700-800 mm/an). Ici aussi, l'influence du Massif armoricain, et du climat qui lui est associé, peut expliquer ce phénomène.

Cette distribution spatiale hétérogène des précipitations annuelles moyennes est comparable sur la période estivale : les précipitations sont de moindre importance le long des côtes et dans les secteurs Angevin et du Saumurois.

En été, le nord de la Sarthe et de la Mayenne, ainsi que les collines vendéennes présentent des précipitations plus élevées (150 à 180 mm).



Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy.

Carte 2 – *Distribution spatiale des précipitations estivales en mm (juin, juillet, août) sur la période 1971-2000 en Pays de la Loire.*

Sur le reste du territoire régional, ces faibles précipitations en période estivale ont des conséquences non négligeables sur le développement des espèces forestières et de la flore associée. Leur impact est d'autant plus important lorsque d'autres facteurs aggravants, tels que des températures élevées par exemple, viennent renforcer ce déficit hydrique.

## 1.2. LES TEMPÉRATURES.

### 1.2.1. LA REPARTITION DES TEMPERATURES DE LA MOITIE NORD DE LA FRANCE.

Comme pour la pluviométrie, les données utilisées pour les températures sont les moyennes mensuelles et annuelles sur la période 1971-2000.

L'étude menée par (GILBERT J., FRANC A., 1997) nous renseigne sur la répartition des températures au cours d'une année dans la moitié nord de la France.

L'analyse statistique des températures moyennes mensuelles recueillies au cours des 30 dernières années sur 64 postes météorologiques bien réparties au nord d'une ligne La Rochelle - Besançon permet d'évaluer leur variabilité intrinsèque.

Une corrélation est mise en évidence pour la moyenne des températures d'octobre à mars et une autre pour la moyenne des températures d'avril à septembre. Les 12 températures mensuelles moyennes peuvent ainsi être synthétisées par deux grandeurs indépendantes : la moyenne des températures d'octobre à mars et la moyenne des températures d'avril à septembre.

Cette constatation est d'autant plus intéressante que ces deux pas de temps correspondent à deux stades physiologiques distincts pour la végétation : le repos végétatif pour la période allant d'octobre à mars et la saison de végétation pour celle allant d'avril à septembre.

Dans cette étude, les températures d'avril à septembre, et notamment les mois de juin, juillet et août, nous intéressent tout particulièrement.

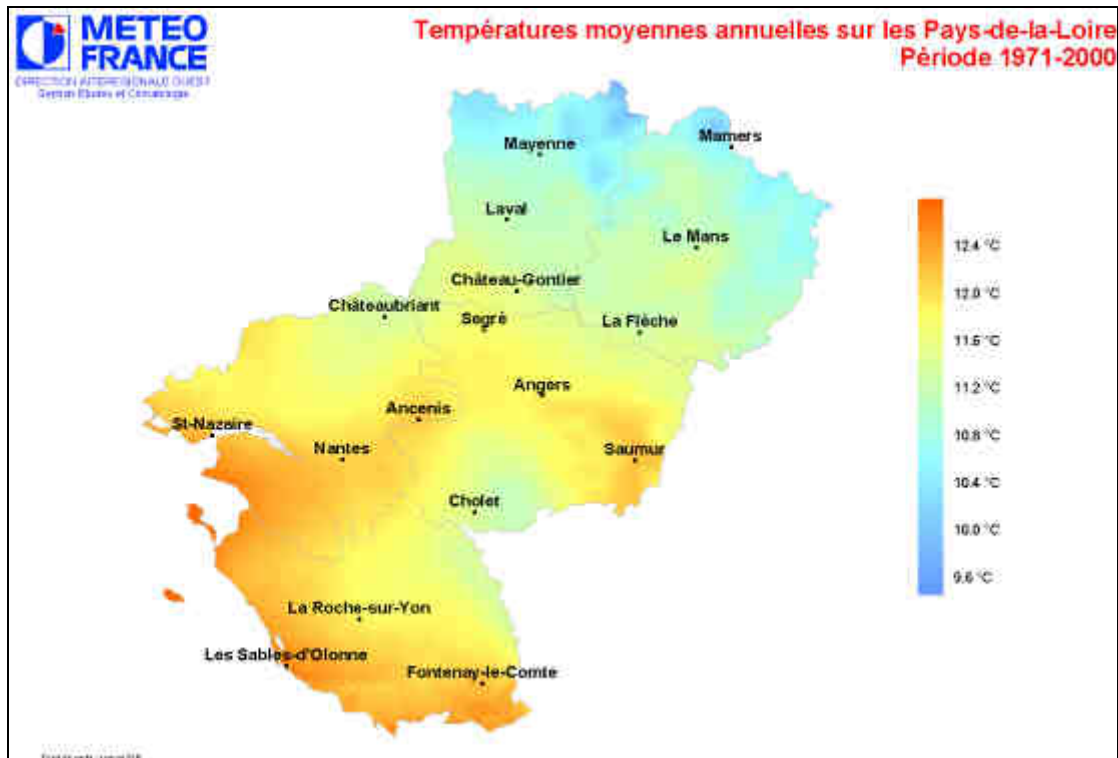
Si la longitude semble déterminante dans la répartition de la pluviométrie et des températures en période de repos végétatif, la latitude paraît déterminante pour la distribution des températures en période de végétation. Ainsi, le croisement de ces deux principaux facteurs en période de végétation

nous offre une multitude de combinaisons qui conditionnent la répartition et le développement des espèces.

### 1.2.2. DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPERATURES SUR LA REGION DES PAYS DE LA LOIRE.

Contrairement aux précipitations, la distribution spatiale des températures moyennes annuelles est homogène à l'échelle du territoire. Le climat régional est caractérisé par un gradient des températures allant du sud-ouest vendéen chaud, au nord-est sarthois plus frais (gradient latitudinal).

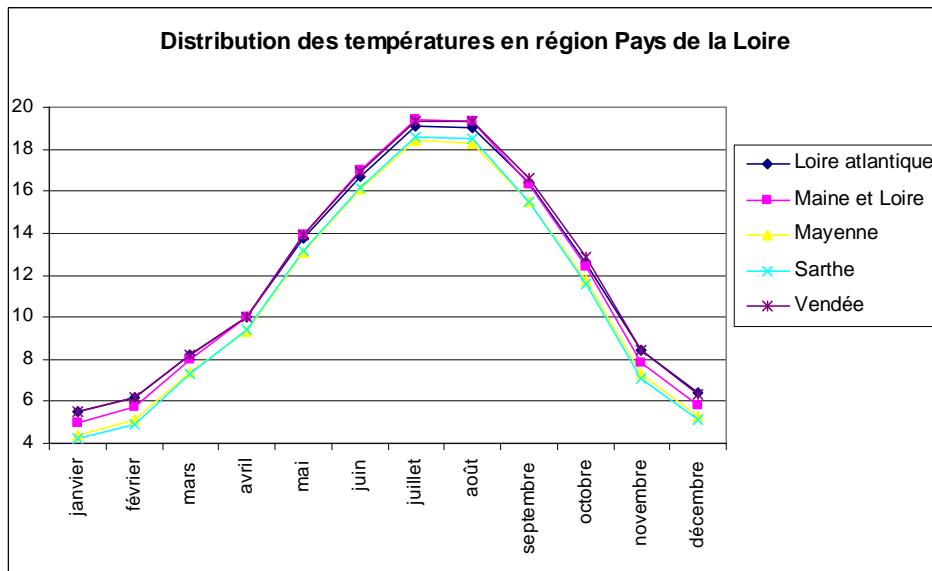
Le différentiel des températures moyennes annuelles entre le sud-ouest et le nord-est est de l'ordre de 3°C passant de 12,5°C à 9,5°C.



Réalisation : MétéoFrance.

Carte 3 – Températures moyennes annuelles sur les Pays de la Loire (période 1971-2000).

Par rapport aux autres départements de la région, le climat de la Sarthe et de la Mayenne présente une variante légèrement plus continentale, qui se traduit par une amplitude thermique un peu plus marquée.

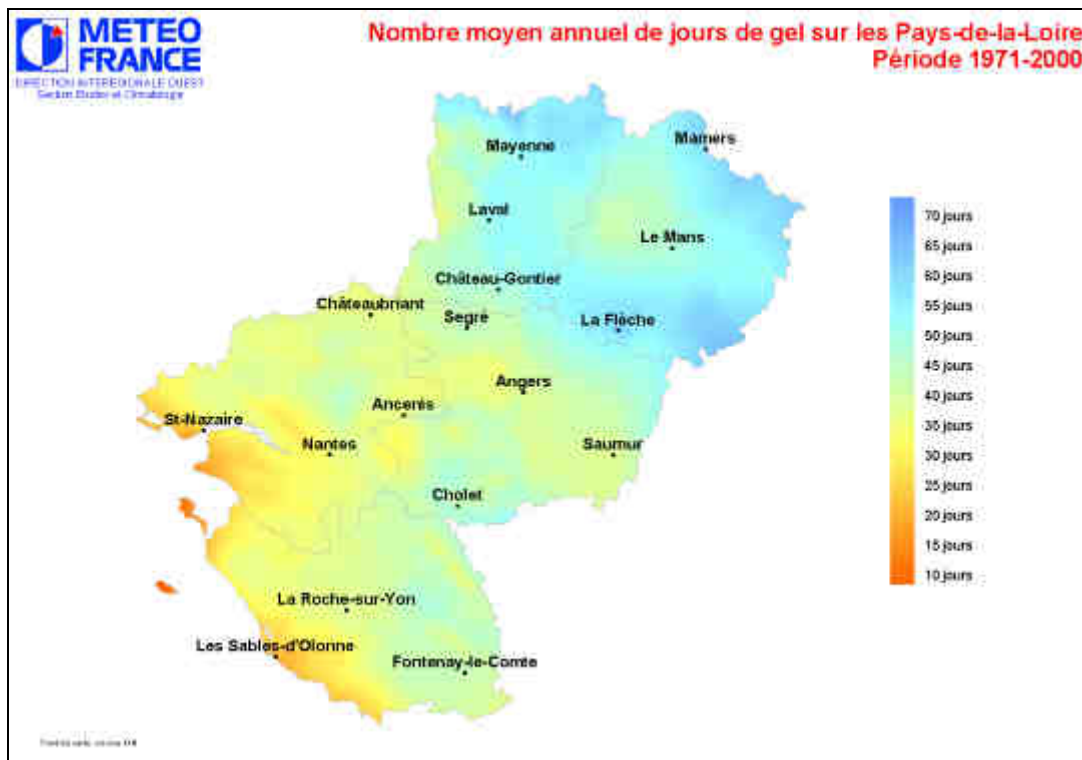


Réalisation : Sylvain LOYER (CRPF PDL), 2008.

Source : MétéoFrance – Auréthy.

Graphique 7 – Distribution des températures en région Pays de la Loire.

Le nombre de jours de gel (température inférieure à 0°C) est plus important à l'intérieur des terres (environ 70 jours en moyenne à l'est de la région) que sur le littoral (environ 10 jours en moyenne), du fait de la tendance océanique des départements littoraux.



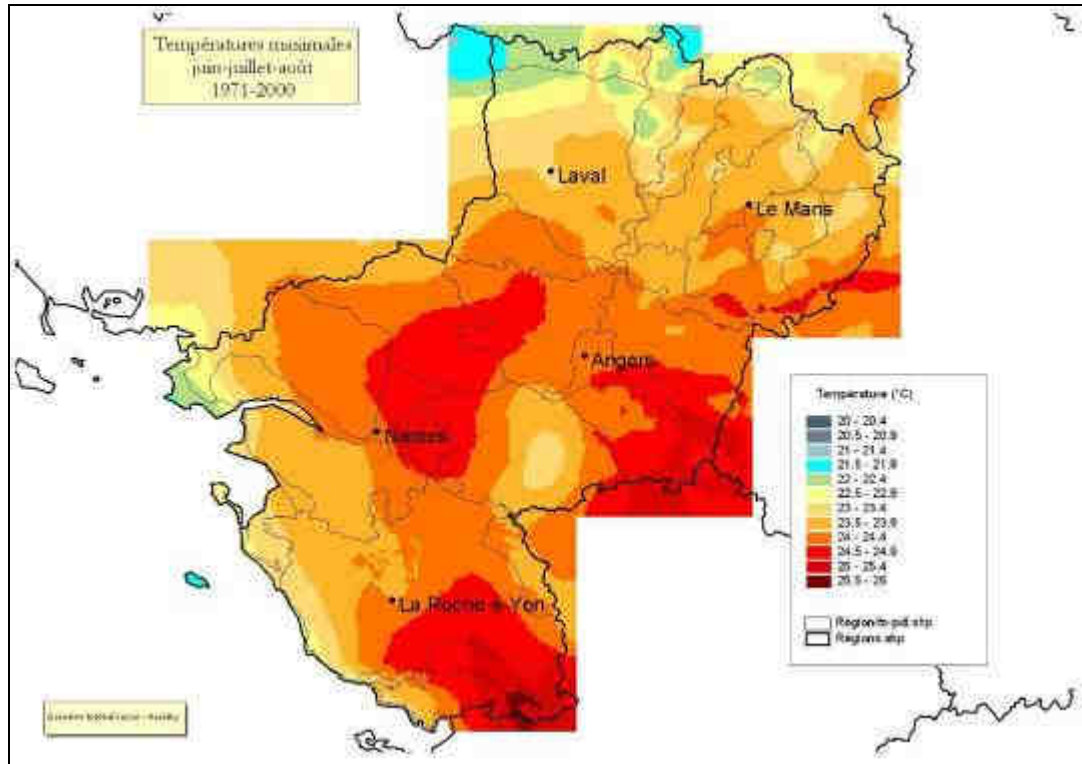
Réalisation : MétéoFrance.

Carte 4 – Nombre moyen annuel de jours de gel sur les Pays de la Loire (période 1971-2000).

Les gelées se produisent généralement entre novembre et mars, bien que des gelées tardives (avril) ou précoces (octobre) peuvent subvenir, en particulier à l'intérieur des terres.

### 1.2.3. DISTRIBUTION DES TEMPERATURES EN SAISON DE VEGETATION.

La répartition des températures pour les mois de juin, juillet et août montre que la région angevine, le sud-ouest vendéen et le nord-est de la région nantaise sont les endroits les plus chauds de la région (moyenne des températures maximales estivales : 25°C environ), contrairement au nord de la région (nord de la Sarthe et de la Mayenne), qui montre des températures estivales moins élevées (22°C).



Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy.

Carte 5 – Distribution des températures maximales estivales (juin, juillet, août) sur la période 1971-2000 en Pays de la Loire.

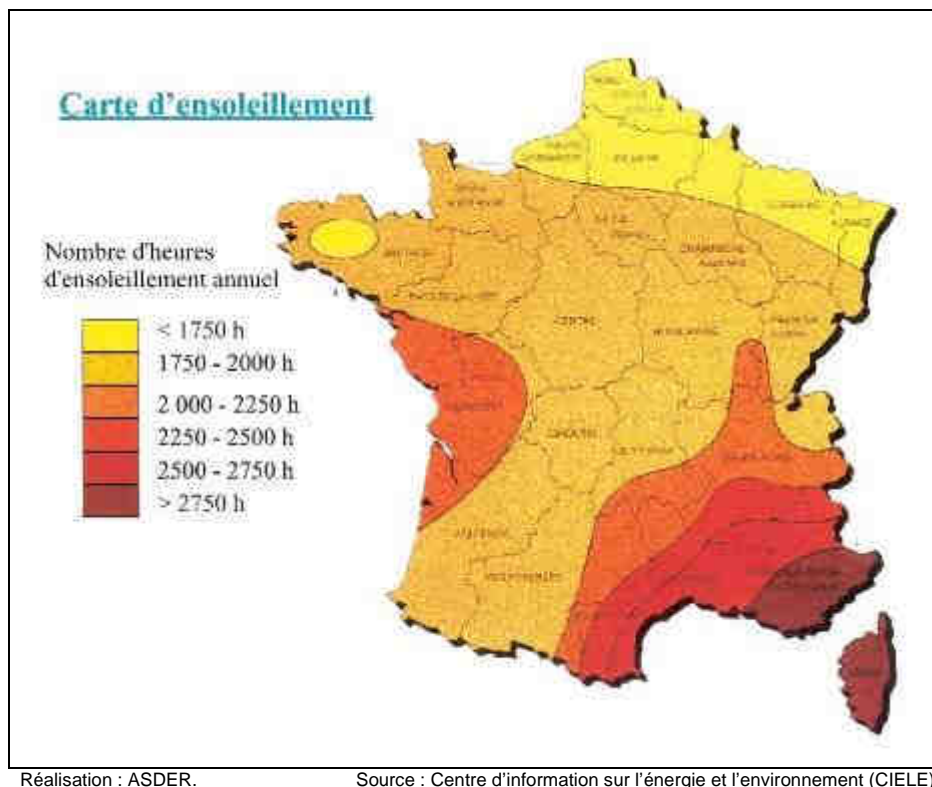
Les températures sont également moins importantes le long des côtes, notamment au nord de la Loire-Atlantique. L'influence des brises marines en été peut expliquer l'atténuation des fortes chaleurs le long des côtes.

En été, les secteurs les plus chauds (ex : région angevine, Saumurois, Sud Vendée...) coïncident avec les secteurs les moins arrosés. Les facteurs défavorables à la croissance des végétaux s'accumulent.

### 1.3. L'ENSOLEILLEMENT.

Comme annoncé en préambule, les données concernant les radiations solaires sont insuffisantes pour permettre une étude précise de ce facteur à l'échelle régionale. Seules des grandes tendances se dessinent.

Le département de la Vendée et une petite partie sud de la Loire-Atlantique bénéficient d'un nombre annuel d'heures d'ensoleillement plus important que le reste de la région : 2000 à 2250 heures/an, contre 1750 à 2000 heures/an.



Carte 6 – Carte d'ensoleillement de la France.

Ainsi, Les Sables d'Olonne (Vendée) bénéficie de 2100 heures de soleil par an, Nantes et Angers d'environ 2000 heures/an et Le Mans de 1850 heures d'ensoleillement annuel.

L'ensoleillement important du littoral vendéen (2000-2250 heures /an) est équivalent à celui de Carcassonne et il est supérieur à celui de Bordeaux et de Biarritz. Cette durée d'ensoleillement, plus importante sur le littoral et la Vendée qu'à l'intérieur des terres, est de nature à aggraver le déficit hydrique des zones les moins arrosées du territoire vendéen.

#### 1.4. LES VENTS.

Les vents de sud-ouest à ouest prédominent une grande partie de l'année. Sur la côte, les tempêtes sont fréquentes en hiver. La vitesse moyenne des vents en région des Pays de la Loire est généralement comprise entre 6,5 et 7,5 m/s. En été, les brises marines atténuent les fortes chaleurs.

Les vents marins d'ouest apportent les précipitations, mais balayent également les dépressions. Ces vents sont de moindre importance à l'intérieur des terres.

Des événements exceptionnels comme la tempête de 1999 ou de 1987 peuvent occasionner de nombreux dégâts. Les orages ont généralement lieu en période estivale (15 jours d'orage par an en moyenne).

#### 1.5. SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT RÉGIONAL.

L'étude des données météorologiques sur la période 1971-2000 (précipitations, températures), ainsi que des paramètres comme l'ensoleillement et les vents, nous renseignent sur les caractéristiques du climat en région Pays de la Loire.

Le climat est défini par un régime pluviométrique de type océanique, présentant toutefois des variantes : régime océanique typique pour les départements côtiers, régime océanique à tendance altéré pour la Sarthe, la Mayenne et le Maine-et-Loire. De par la répartition annuelle de la pluviométrie, qui présente un déficit estival, le climat océanique est moins favorable à la végétation que le climat océanique altéré.

En moyenne, la Vendée, la Sarthe et la Mayenne apparaissent comme les départements les plus arrosés, alors que le Maine-et-Loire est, de très loin, le département le plus sec de la région.

La distribution spatiale des précipitations est très hétérogène : les contreforts des collines vendéennes et le nord de la Mayenne présentent des précipitations annuelles supérieures à 1000 mm, alors que la région angevine, le Saumurois et les zones côtières ne reçoivent guère plus de 500 à 600 mm par an.

Le climat régional est caractérisé par un gradient latitudinal des températures de l'ordre de 3°C, allant de 12,5°C au sud-ouest, à 9,5°C au nord-est de la région.

En période estivale, les secteurs les plus chauds sont la région Angevine et le Saumurois, le sud-ouest vendéen et le nord-est du Pays Nantais. Les températures sont moins importantes le long des côtes.

Malgré une pluviométrie annuelle élevée, et si nous exceptons les collines vendéennes et le sud-est du département, la Vendée accumule les handicaps avec un climat océanique marqué (faible pluviométrie en période estivale), un fort ensoleillement et la persistance de vents forts à modérés.

Même si ces derniers facteurs semblent moins prégnants, le Maine-et-Loire est, notamment pour sa partie centrale, le département qui semble le plus affecté par le manque d'eau disponible en période estivale (faible pluviométrie estivale et fortes chaleurs).

## **EVOLUTION DU CLIMAT REGIONAL**



## 2. ÉVOLUTION DU CLIMAT RÉGIONAL.

---

Dans un contexte de changement climatique mondial annoncé (cf. dernier rapport du GIEC), il semble pertinent de s'intéresser aux tendances évolutives du climat régional.

Avant de succomber à toute tentation de prospectives sur l'évolution du climat de la région des Pays de la Loire pour les décennies à venir, il paraît sain de s'intéresser à son évolution passée en s'appuyant sur les relevés météorologiques de ces 30 dernières années. Une analyse détaillée des variations de ces données climatiques sur la période 1977-2006 va nous permettre de dessiner les grandes tendances évolutives du climat régional.

A partir de ces tendances, il nous sera alors permis d'esquisser une évolution probable des conditions climatiques régionales en restant d'une très grande prudence quant à leur utilisation.

### 2.1. ÉVOLUTION PASSÉE DU CLIMAT.

Comme nous l'avons vu précédemment, ce sont principalement les données climatiques centrées sur la période de végétation qui nous intéressent et qui semblent les plus pertinentes, soit la période d'avril à septembre et plus particulièrement les mois de juin, juillet et août. Sous nos climats, ce sont elles qui conditionnent la présence et la croissance des végétaux.

Nous avons donc tout naturellement choisi d'analyser les tendances évolutives des températures et des précipitations des mois d'été. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés à l'évolution des moyennes des températures maximales et des moyennes de précipitation sur des pas de temps de 10 ans pour les périodes 1977-1986, 1987-1996 et 1997-2006.

Bien que les données climatiques auxquelles nous ayons eu accès pour analyser l'évolution du climat régional sur les 30 dernières années soient somme toute réduites, des tendances s'affichent toutefois très nettement.

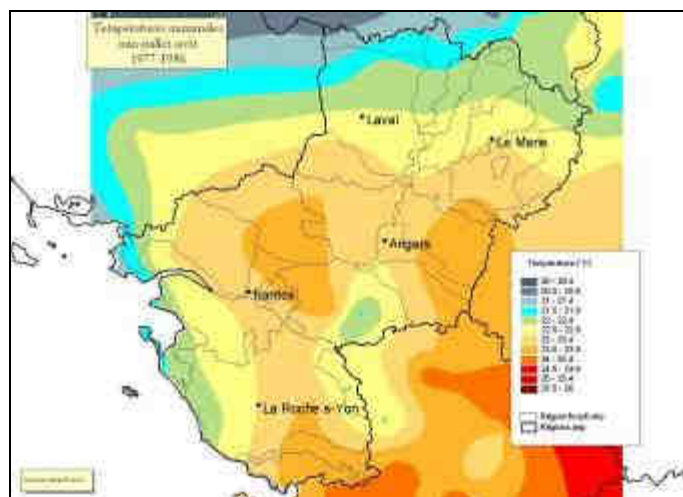
#### 2.1.1. LES TEMPERATURES.

L'évolution des moyennes des températures maximales depuis 1977 montre une constante augmentation, de l'ordre de 2,5°C, soit environ 0,8 °C tous les 10 ans.

Cette progression affecte tous les secteurs de la région et de manière assez uniforme ; les zones les plus chaudes pour la période 1977-1986 restent les plus chaudes pour la période 1997-2006. Elles se situent à l'est du Pays Nantais, au sud de la Vendée avec une progression jusqu'au nord-est de la Roche-sur-Yon et le sud-est du Maine-et-Loire centré sur le Saumurois.

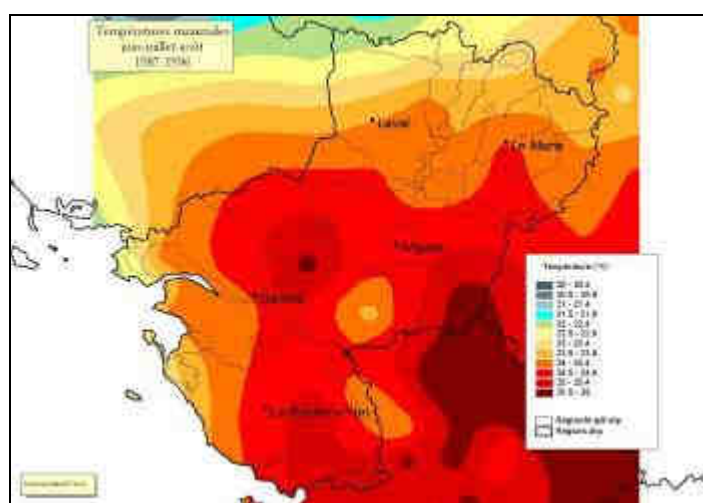
D'un point de vue général, nous observons une « poussée » des températures venant du sud-est se déplaçant vers le nord-ouest, se heurtant à la Bretagne qui semble mieux résister à cette vague de chaleur.

Ce constat est préoccupant pour la végétation. Outre les extrêmes de température qui peuvent avoir de très lourdes conséquences sur la survie de certaines espèces (brûlures d'écorces et de feuillage...), l'augmentation généralisée des températures estivales peut être préjudiciable au bon développement de la végétation ; les fortes chaleurs entraînant une augmentation des besoins en eau des plantes et une moindre disponibilité de l'eau dans le sol.



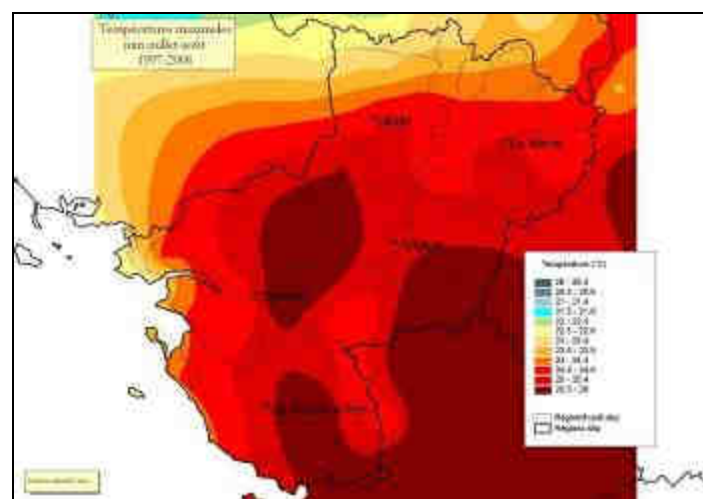
Réalisation : C. BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy, 2008.



Réalisation : C. BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy, 2008.



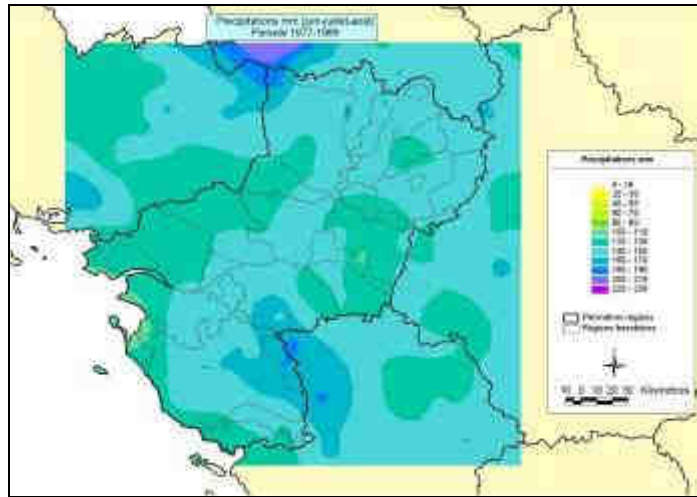
Réalisation : C. BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy, 2008.

Cartes 7, 8 et 9 – Évolution des températures maximales estivales (juin, juillet, août)  
sur la période 1997-2006 en Pays de la Loire.

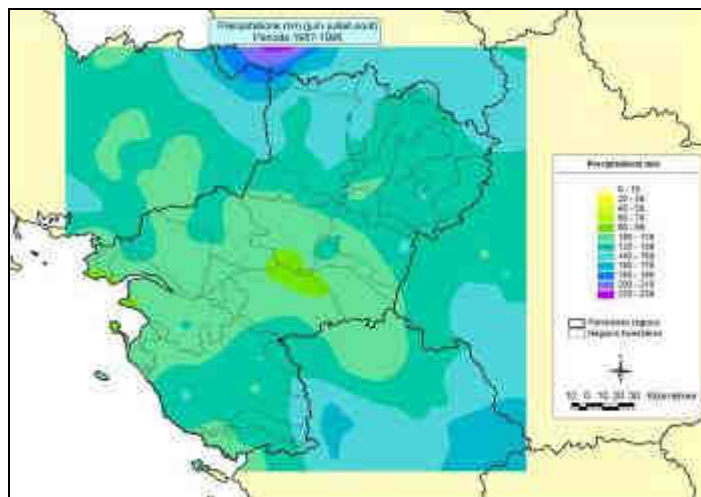
### 2.1.2. LES PRECIPITATIONS.

Contrairement aux températures, les précipitations moyennes estivales sur ces 30 dernières années présentent une relative stabilité. Tout au plus, pourrions-nous dire que la décennie la plus sèche en période estivale a été 1987-1996 et la plus humide 1997-2006. Ces différences ne sont toutefois pas significatives.



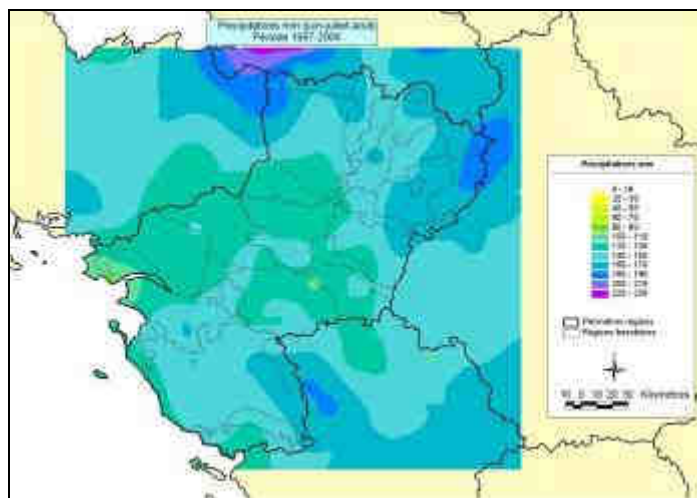
Réalisation : C. BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy, 2008.



Réalisation : C. BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy, 2008.



Réalisation : C. BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy, 2008.

Cartes 10, 11 et 12 – Évolution des précipitations estivales (juin, juillet, août) en mm sur la période 1997-2006 en Pays de la Loire.

Il ne semble pas y avoir de corrélation entre l'augmentation des températures estivales et la pluviométrie.

La superposition des cartes des températures et des précipitations fait ressortir très nettement une zone qui semble accumuler les handicaps ; il s'agit du sud-est du Maine-et-Loire, et notamment le Saumurois. C'est un secteur chaud et sec en période de végétation et le phénomène tend à s'accroître. Dans une moindre mesure, le sud Vendée est aussi concerné par cette tendance.

### **2.1.3. LES EVENEMENTS EXCEPTIONNELS.**

Sur les 30 dernières années, des événements exceptionnels sont également à noter :

- sécheresses de 1976, 1996 et 2003,
- hivers rudes de 1962-63,
- tempêtes de 1987 et 1999.

Il ne paraît toutefois pas possible de relier la fréquence de ces événements, qui restent exceptionnels, à l'évolution du climat. Ils ne semblent ni plus ni moins fréquents que par un passé plus lointain.

## **2.2. TENDANCE ÉVOLUTIVE FUTURE.**

L'évolution du climat régional depuis 1977 montre un réchauffement significatif. Dans un contexte de changement climatique mondial, cette évolution pourrait être amenée à se poursuivre. Il semble toutefois difficile d'indiquer avec précision quels pourraient être ces changements, ne serait-ce que dans un proche avenir, à l'échelle régionale.

### **2.2.1. EVOLUTION DU CLIMAT MONDIAL.**

D'après de nombreuses études et notamment les recherches du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat), le réchauffement climatique (augmentation de la température moyenne de la planète au niveau du sol) est bien une réalité.

Les causes seraient à rechercher dans l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane...), gaz atmosphérique en hausse constante depuis le début de la révolution industrielle.

La communauté scientifique confirme ce phénomène et en attribue la cause aux activités humaines. Si la planète a déjà subi de nombreuses reprises des variations de climat avec alternance de périodes froides (notamment glaciations) et de périodes de réchauffement, la particularité de ce changement en cours est sa brutalité sans commune mesure avec les évolutions « naturelles » déjà subies.

Différents scénarii ont été élaborés par le GIEC afin d'évaluer son intensité. Ils s'appuient sur l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et permettent d'étudier, à l'aide de modèles, l'impact sur les températures et les précipitations.

Sept scénarii ont été considérés, dont :

- le scénario B2, qui propose une croissance quasi linéaire de la concentration des gaz à effet de serre, conduisant à son doublement en 2100 par rapport à la concentration préindustrielle qui était de 280 p.p.m.v.,
- le scénario A2, proposant une croissance de type exponentiel, avec triplement en 2100 de la concentration des gaz à effet de serre par rapport à la valeur préindustrielle.

Les conséquences sur les conditions climatiques ne sont pas homogènes à la surface du globe. Ce réchauffement ne sera pas ressenti de la même manière en Afrique, en Amérique du Nord ou en Asie.

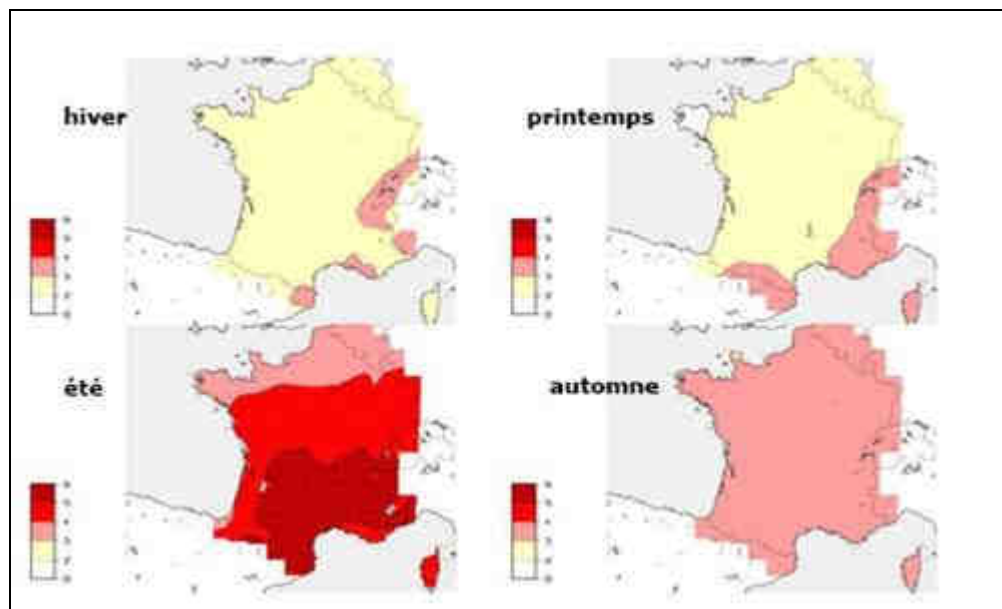
Selon les scénarii, en France, d'ici 2100, nous assisterions à une augmentation des températures, surtout en période estivale, de :

- 1,2 à 3,2°C selon le scénario B2,
- 1,4 à 5,2°C selon le scénario A2.

Les autres conséquences pourraient être :

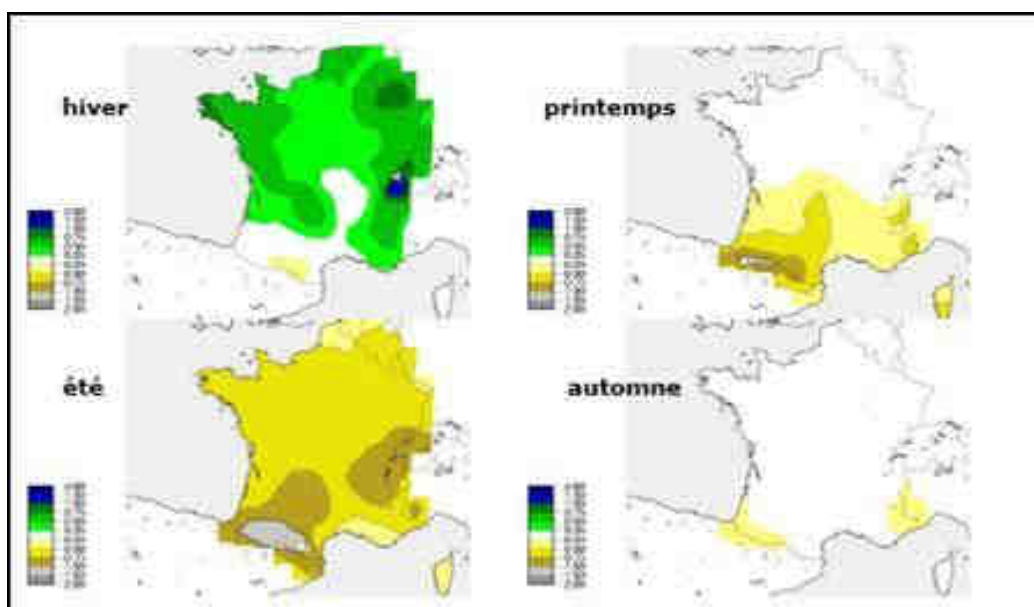
- une augmentation des précipitations hivernales (+20% par rapport aux précipitations actuelles pour le scénario B2),
- une diminution des précipitations estivales (la diminution apparaît plus forte dans le scénario A2 que dans le scénario B2),
- des périodes de sécheresse plus fréquentes.

Ainsi, pour le scénario A2 (le plus pessimiste), nous obtenons les cartes suivantes pour la France :



Source : Greenfact.

Carte 13 – Différence de températures (°C) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les quatre saisons en France (Scénario A2 du GIEC).



Source : Greenfact.

Carte 14 – Différence de précipitations (mm/jour) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les quatre saisons en France (Scénario A2 du GIEC).

Cependant, ce ne sont encore que des tendances et de nombreux facteurs peuvent intervenir sur un tel phénomène (effet du Gulf Stream, évolution de la démographie mondiale, évolution des activités humaines relâchant des gaz à effet de serre...). Il faut donc prendre ces résultats avec une extrême prudence.

Les hypothèses élaborées sont plausibles, mais susceptibles d'évolution en fonction de l'état des connaissances. D'autre part, cette tendance évolutive est élaborée à l'échelle mondiale, voire nationale, et ne donne que des indications trop imprécises pour être utilisables au niveau régional.

### **2.2.2. LES TENDANCES EVOLUTIVES DU CLIMAT REGIONAL.**

Des incertitudes existent concernant l'évolution du climat régional. Le réchauffement climatique mondial semble se confirmer, mais, sur un territoire plus restreint comme la région, les modifications du climat sont difficilement prévisibles.

Si nous nous plaçons dans le cadre d'une progression linéaire du type de celle que nous venons de subir au cours de la seconde moitié du siècle dernier, une augmentation de 0,8°C tous les 10 ans des moyennes des températures maximales estivales nous conduirait alors à des températures estivales très élevées à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle. De telles températures auraient alors des conséquences sur la végétation locale dépassant l'imagination. Nous touchons là les limites d'une telle extrapolation qui devient difficilement concevable, bien qu'en la matière le pire ne soit jamais à exclure. D'autres facteurs pourraient toutefois venir contrer cette progression constante et limiter ses effets. Nous voyons bien ici combien il serait hasardeux de se lancer dans une telle prospective sur l'évolution du climat à l'échelon régional. En la matière tout et son contraire pourraient être dits.

Il ne faut toutefois pas minimiser l'impact du changement climatique sur la biodiversité régionale qui, quoiqu'il en soit, sera affectée ; nous en ignorons cependant ses conséquences réelles.

Tout au plus, dans l'état actuel de nos connaissances, la recherche d'un indicateur permettant d'étudier l'influence du climat actuel (et futur) sur la végétation forestière peut-elle s'avérer indispensable à l'étude des conséquences du réchauffement climatique sur cette végétation.

## **LE DEFICIT HYDRIQUE RELATIF, INDICATEUR CLIMATIQUE POUR LA VEGETATION FORESTIERE**



### 3. LE DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF, INDICATEUR CLIMATIQUE POUR LA VÉGÉTATION FORESTIÈRE.

Comme nous avons pu le constater précédemment, le climat passé de la région des Pays de la Loire a évolué et montre un réchauffement (augmentation moyenne de 0,8°C des températures maximales estivales chaque décennie).

Dans un contexte de réchauffement du climat mondial annoncé, l'étude des conséquences de cette évolution climatique régionale sur la végétation forestière passe par le choix d'un indicateur pertinent.

#### 3.1. INTÉRÊTS DU DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF.

Le principal facteur limitant pour les arbres est la sécheresse estivale. Le stress hydrique, dont peuvent souffrir alors les arbres, est le résultat d'un déséquilibre entre deux termes qui sont :

- les besoins en eau qui augmentent avec la température, l'ensoleillement et la vitesse du vent,
- et l'eau disponible qui dépend des précipitations durant la saison de végétation et du stock d'eau accumulé dans les horizons supérieurs du sol durant l'hiver.

Si l'évolution constatée des conditions climatiques régionales sur les 30 dernières années se poursuit, cela contribuerait à une augmentation significative de ce déficit hydrique.

L'augmentation du stress hydrique reste donc un des principaux effets à attendre et à craindre du changement climatique. Les deux principales conséquences pourraient être la réduction de l'accroissement en volume des essences forestières et, dans certaines conditions, le dépérissement des peuplements.

Les arbres et la flore forestière associée pourraient être affectés par un déficit d'alimentation en eau et, par la suite, en éléments nutritifs. Ce phénomène pourrait conduire certaines espèces autochtones inadaptées à des dépérissements allant jusqu'à la mort. Le chêne pédonculé semble déjà affecté dans certaines petites régions forestières des Pays de la Loire.

Il est donc important d'évaluer le déficit hydrique actuel sur les différents secteurs de la région, afin de pouvoir appréhender son évolution future, en cas de réchauffement climatique. Un bilan hydrique est donc nécessaire.

#### 3.2. MÉTHODE DE CALCUL DU DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF.

Le bilan hydrique est un calcul qui chiffre sur un intervalle de temps donné, en fonction de certaines caractéristiques et hypothèses de fonctionnement, les entrées et pertes d'eau d'un système.

Pour ce type de calcul, nous avons retenu parmi les nombreux modèles celui de **Thornthwaite** (Thornthwaite, 1948) car c'est un modèle simple pour lequel nous disposons des données nécessaires : précipitations et températures au pas de temps mensuel.

Ce modèle considère un système sol-plante. Pour un mois ( $m$ ) donné, les apports en eau sont constitués par les précipitations ( $p_m$ ) du mois. La demande potentielle de la plante est traduite par le calcul de l'évapotranspiration potentielle ( $ETP_m$ ).

Pour satisfaire ses besoins en eau, la plante utilise tout d'abord les précipitations du mois. Si les précipitations du mois suffisent, il n'y a pas de déficit hydrique et l'évapotranspiration réelle d'eau par la plante ( $ETR_m$ ) est égale à l' $ETP_m$ . Si les précipitations du mois ne sont pas suffisantes, la plante prélève une certaine quantité d'eau dans le sol qui constitue un réservoir dont la contenance est initialisée au maximum ( $RU_{max}$ ) en début de calcul. Dans ce cas, il y a déficit hydrique et la transpiration d'eau par la plante ( $ETR_m$ ) est égale à la somme des précipitations du mois ( $p_m$ ) et de ce qui est prélevé durant le mois dans le réservoir.

Lorsque la période de déficit climatique est terminée, les excédents d'eau non transpirés par la plante servent tout d'abord à reconstituer le réservoir en eau du sol, puis fournissent un excédent appelé écoulement.

Ce calcul initialisé en janvier (avec une  $R_{Umax}$ ) et réalisé sur l'année fournit des valeurs d'ETP et d'ETR mensuelles qu'il est possible d'utiliser pour déterminer un indice caractérisant le déficit hydrique relatif subi par la plante (déficit hydrique relatif  $DHR = ((ETP - ETR) / ETP)$ ).

Pour la région des Pays de la Loire, la  $R_U$  des sols peut varier entre 50 mm ( $R_U$  faible pour un sol superficiel ou/et à dominante sableuse) à 150 mm ( $R_U$  moyenne pour les sols profonds, avec une texture à dominante limono-argileuse).

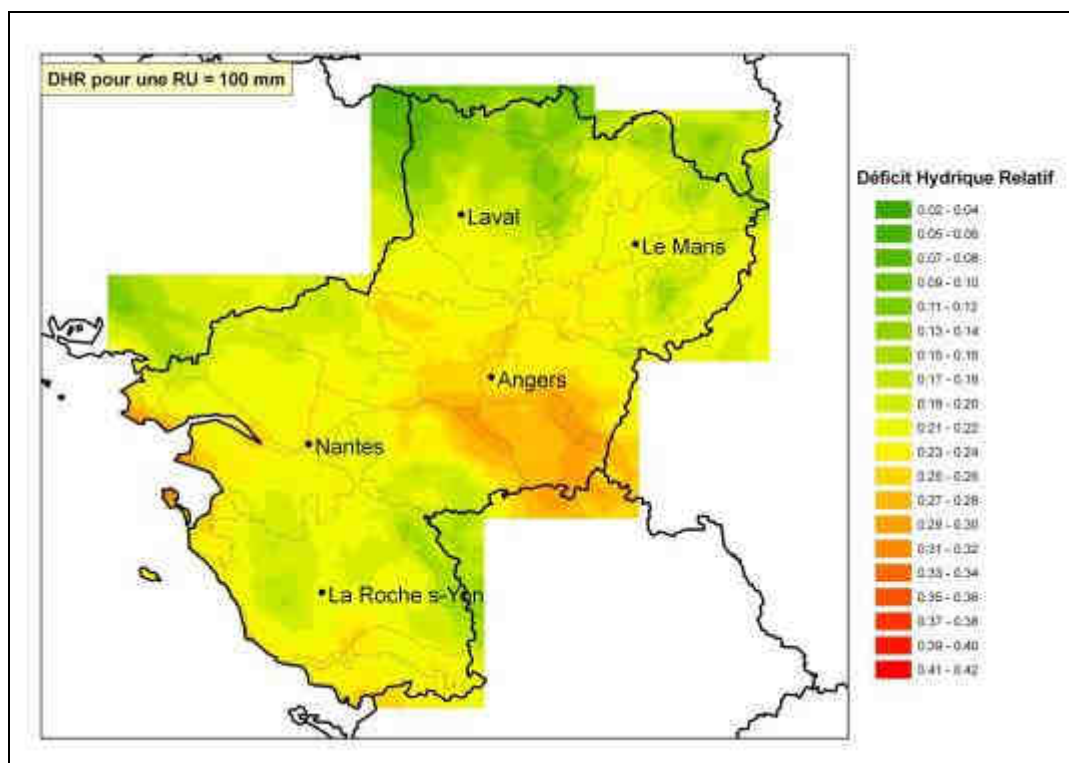
Des cartes du déficit hydrique relatif ont donc pu être réalisées pour la région selon ces 3 valeurs de la  $R_{Umax}$  à l'aide des données météorologiques sur la période 1971-2000 (températures et précipitations moyennes mensuelles et annuelles).

Il apparaît également pertinent d'évaluer ce déficit pour la saison de végétation, c'est-à-dire pour les mois d'avril à septembre, car cette période peut faire l'objet d'une sécheresse estivale, qui se traduit généralement par un déficit hydrique pour la végétation. Des cartes du DHR pour la saison de végétation ont aussi été élaborées.

### 3.3. DÉTERMINATION DU DÉFICIT HYDRIQUE RELATIF (DHR) POUR LA RÉGION.

#### 3.3.1. DEFICIT HYDRIQUE RELATIF ANNUEL.

Le déficit hydrique relatif annuel actuel (avec une  $R_{Umax}$  initiale de 100m) varie de 5 à 30% sur l'ensemble de la région et il présente une distribution hétérogène (en moyenne, le DHR est d'environ 18-20%).



Carte 15 – Déficit hydrique relatif (DHR) annuel pour les Pays de la Loire avec une réserve utile ( $R_U$ ) du sol de 100 mm.

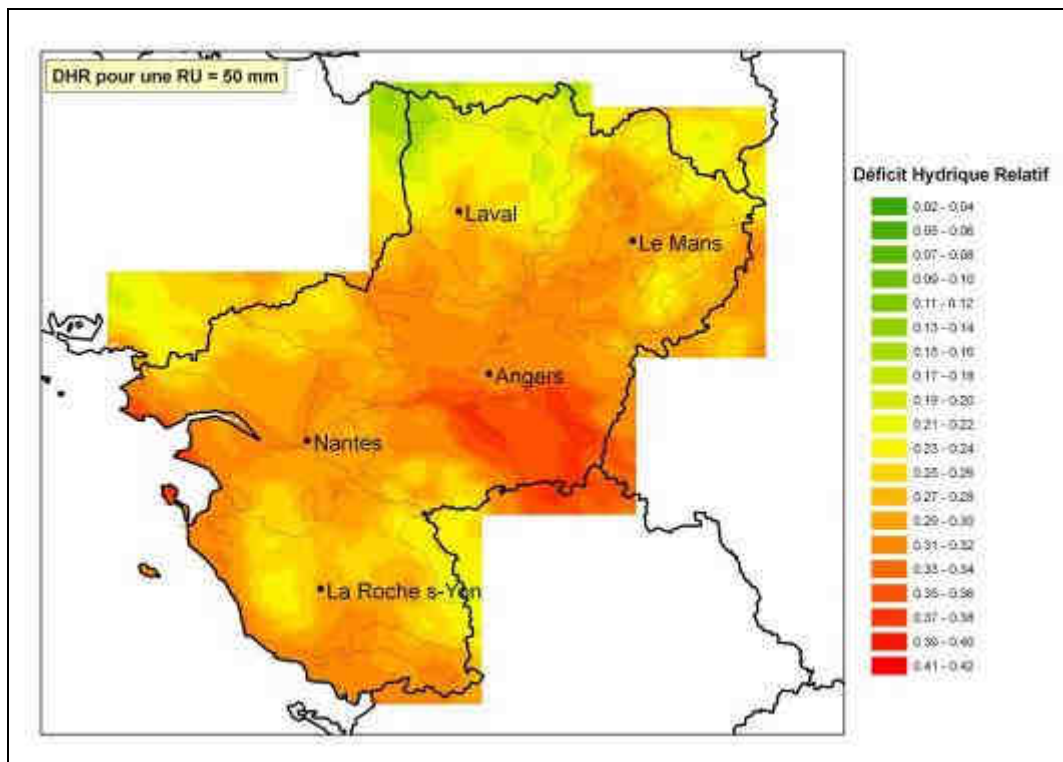
Cette carte fait ressortir les zones où le DHR est particulièrement accentué ( $> 25\%$ ), à savoir la région angevine et le Saumurois (vallée de la Loire) et les côtes du département de la Loire-Atlantique et du sud vendéen.

Le DHR apparaît faible ( $< 15\%$ ) au nord des départements de la Mayenne et de la Sarthe, ainsi que sur la frange est du département de la Vendée et les environs de la ville de La Roche-sur-Yon.

Cette carte peut être comparée avec la carte de répartition des précipitations moyennes annuelles. Il en ressort une forte corrélation entre les deux grandeurs. Les zones où le DHR est élevé se

superposent assez bien aux zones de précipitations inférieures à 700 mm/an. Les zones pour lesquelles le DHR est faible correspondent aux zones de précipitations supérieures à 900 mm/an.

La Vendée, bien qu'étant le département le plus arrosé de la région (précipitations moyennes annuelles de 950 à 1050 mm) présente un déficit hydrique moyen (15-17%), alors qu'il devrait être plus faible (< 10%). Ceci s'explique par la conjugaison de températures estivales élevées et d'un régime pluviométrique de type océanique.



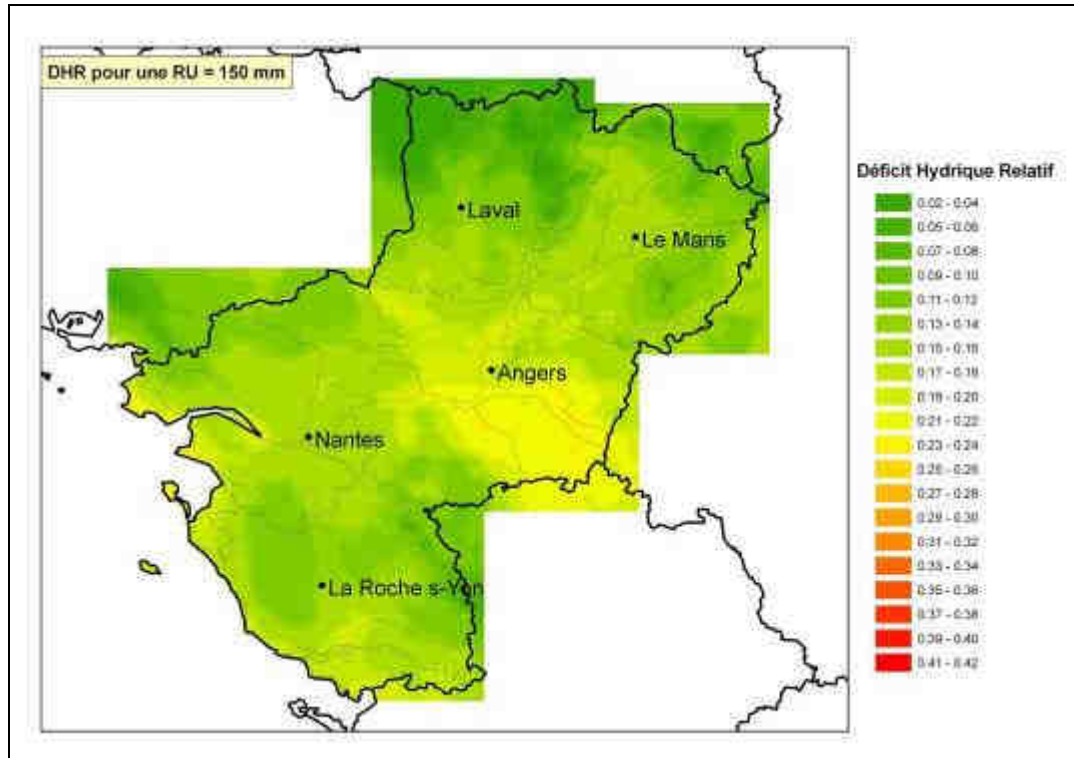
Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélien.

Carte 16 – Déficit hydrique relatif (DHR) annuel pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 50 mm.

Pour une  $RU_{max}$  de 50 mm (RU faible), nous constatons bien entendu une accentuation du déficit hydrique. Nous retrouvons les secteurs les plus secs, que nous observons aussi sur la carte pour une RU de 100 mm avec un déficit hydrique supérieur à 35 %.

Le DHR moyen est alors de 25-26% et, même les secteurs pour lesquels le déficit était faible (<15%) avec une  $RU_{max}$  de 100 mm (nord des départements de la Sarthe et de la Mayenne), présentent un déficit moyen à faible (15-20%). Seul le nord-ouest de la Mayenne présente encore un DHR inférieur à 15%, du fait du caractère continental de cette région et de l'influence du climat de la Basse Normandie (pluies plus abondantes).



Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy.

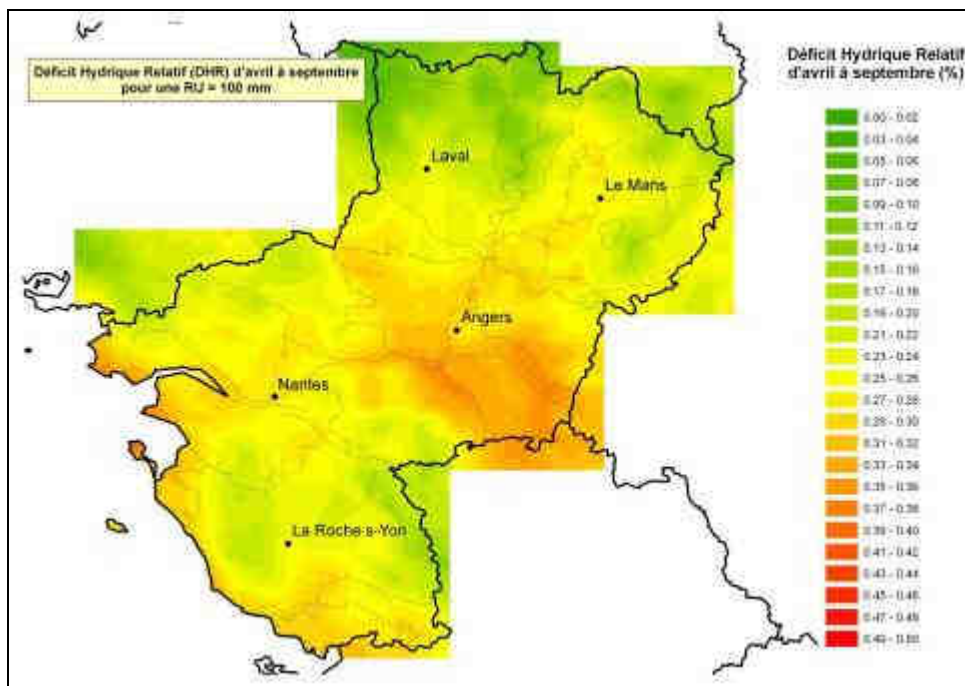
Carte 17 – Déficit hydrique relatif (DHR) annuel pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 150 mm.

Bien entendu, le déficit est moins accentué avec une  $RU_{max}$  de 150 mm. Le DHR devient moyen (18-20%) pour la région angevine et les zones côtières et il reste faible pour le reste de la région des Pays de la Loire.

### 3.3.2. DEFICIT HYDRIQUE RELATIF POUR LA SAISON DE VEGETATION.

Le déficit hydrique relatif pour les mois d'avril à septembre est plus intéressant dans la mesure où il ne prend en compte que les besoins pendant la période de végétation.

Le climat de la région des Pays de la Loire est de type tempéré océanique avec des pluies moins abondantes en été qu'en hiver et des températures plus élevées en été et au printemps qu'en automne et en hiver ; le déficit hydrique étant fortement lié aux précipitations, nous observons un DHR plus important en période estivale.



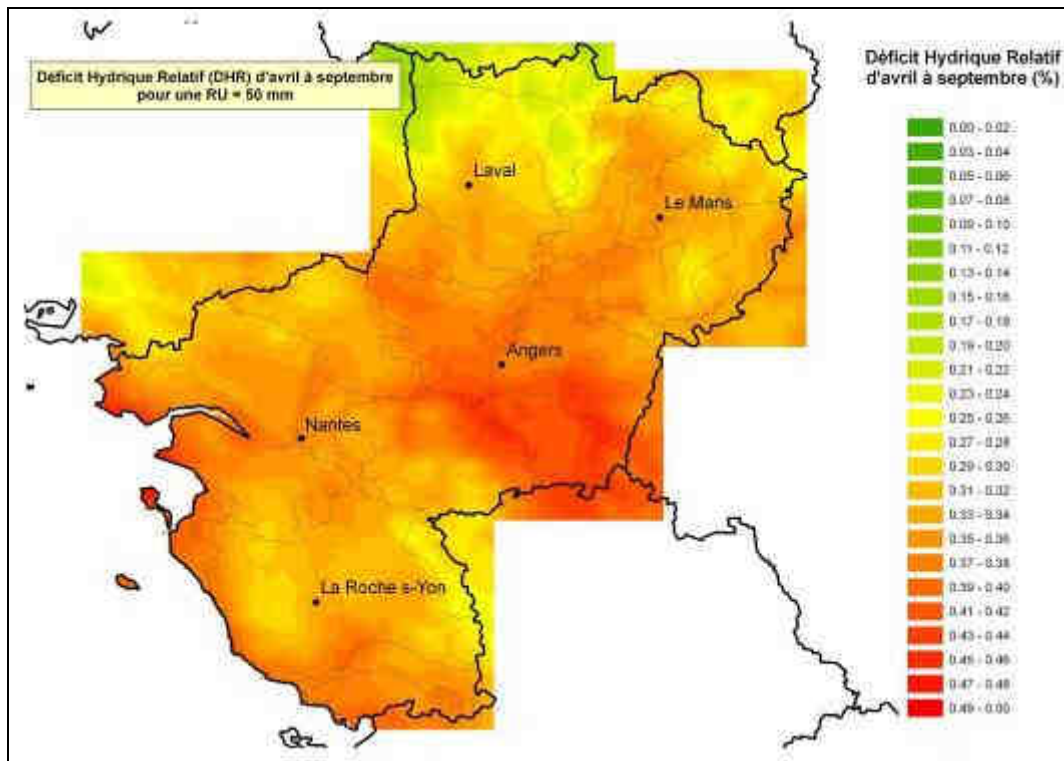
Carte 18 – Déficit hydrique relatif (DHR) d'avril à septembre (saison de végétation) pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 100 mm.

Pour une  $RU_{max}$  de 100 mm, nous constatons que ce sont les mêmes régions que précédemment qui présentent un DHR élevé (région angevine et zones côtières) et un déficit moyen (nord des départements de la Mayenne et de la Sarthe, frange est du département de la Vendée et les environs de La Roche-sur-Yon).

Cependant, le déficit hydrique est beaucoup plus accentué :

- DHR élevé : 35-37% (contre 29-30% pour le DHR annuel avec la même  $RU_{max}$ ).
- DHR moyen : 19% pour la frange est du département de la Vendée les environs de la Roche-sur-Yon et 9-10% pour le nord de la région (contre respectivement 15-17% et 13-14% pour le DHR annuel).

Ce constat est encore plus "alarmant" pour des sols avec une  $RU_{max}$  de 50 mm, pour lesquelles le DHR devient très important (DHR > 40% pour la région angevine).



Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MétéoFrance – Aurélihy.

Carte 19 – Déficit hydrique relatif (DHR) d'avril à septembre (saison de végétation) pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 50 mm.

Le déficit hydrique apparaît être un bon indicateur climatique pour la végétation forestière. En effet, ces variations sont fortement corrélées aux précipitations moyennes annuelles. De plus, il permet de préciser les périodes d'éventuelle sécheresse estivale (accentuation saisonnière du DHR). Le déficit hydrique relatif se révèle donc un indicateur de période de sécheresse et de disponibilité en eau pour les plantes.

Les variations du DHR selon la  $RU_{max}$  en font un très bon outil pratique pour le gestionnaire d'une parcelle forestière ou le technicien forestier.

Il semble pertinent pour un gestionnaire forestier d'utiliser cet indicateur, afin d'évaluer l'adaptation des essences aux conditions pédoclimatiques en un lieu donné. La prise en compte de l'évolution de ces éléments doit le conduire à infléchir ses actions, à les adapter au cas par cas et notamment à nourrir ses réflexions au moment du renouvellement des peuplements.

Le calcul de la réserve utile en eau d'un sol sur le terrain peut permettre d'affiner le calcul du déficit hydrique (utilisation des cartes régionales avec des  $RU_{max}$  de 50, 100 et 150 mm). C'est pourquoi il semble essentiel de préciser le rôle de la réserve utile en eau du sol et d'explicitier sa méthode de calcul.

## **ROLES ET DETERMINATION DE LA RESERVE UTILE EN EAU DU SOL**



## 4. RÔLES ET DÉTERMINATION DE LA RÉSERVE UTILE EN EAU DU SOL.

---

### 4.1. DEFINITION DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.

Pour un sol donné (et même un horizon donné), les formes d'eau (eaux capillaires, eaux libres et eaux liées) représentent des constantes mesurables, qui permettent d'évaluer les possibilités de stockage d'eau utilisables par les plantes. Ces valeurs sont très variables selon la granulométrie du sol (texture des horizons).

Deux d'entre elles offrent une importance particulière : la capacité au champ et le point de flétrissement.

La capacité au champ correspond au maximum d'eau retenue par le sol (eaux capillaires et eaux liées). Le point de flétrissement correspond à la valeur limite de l'eau liée, donc non absorbable par les racines.

La réserve utile maximale d'un sol (RU<sub>max</sub>) est assimilable à la différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement, ou encore à la quantité d'eau potentiellement stockée dans le sol après une période de pluies. La RU est exprimée en mm.

### 4.2. ROLE DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.

L'eau du sol est utilisée par les plantes pour leur croissance (photosynthèse et respiration). Le réservoir d'eau utile du sol a pour principal rôle de permettre le stockage de l'eau dans le sol et ainsi de fournir aux plantes de l'eau tout au long du cycle de végétation (et plus particulièrement lors des périodes de sécheresse).

La RU<sub>max</sub> est une valeur stable et constante pour un type de sol, en l'absence de perturbations. La quantité d'eau potentiellement stockée dans la RU est variable tout au long de l'année et de la vie des plantes selon les apports (précipitations, écoulement le long des troncs...) et les pertes d'eau (ruissellement selon la pente, prélèvement des plantes : interception, évapotranspiration, phénomène de photosynthèse, drainage...).

Bien que le réservoir utile d'eau soit une donnée invariante pour un même type de sol, la quantité d'eau réellement stockée varie également selon la microtopographie. Ainsi, cette quantité d'eau ne sera pas identique pour un même sol situé en haut ou en bas d'une pente.

### 4.3. CALCUL DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.

La stratégie du calcul de la RU sur le terrain passe par plusieurs étapes :

**1** - la profondeur des horizons prospectés par l'enracinement fin et dense.

**2** - pour chaque horizon, la détermination de son épaisseur, de sa classe de texture (par une évaluation visuelle et tactile et l'utilisation du triangle des textures de Jamagne) et de sa charge en éléments grossiers.

La charge en éléments grossiers ( $\varnothing > 2$  mm) est appréciée visuellement sur le terrain en pourcentage.

Après humidification du sol et avec un peu de pratique, il est possible de déterminer au toucher sur le terrain avec une certaine approximation, les proportions d'argile, de limon et de sable en présence. En effet, l'argile colle aux doigts (la réalisation d'un boudin de terres humide précise le pourcentage approximative d'argile), au toucher le limon est doux et le sable rugueux. Le tableau ci-dessous précise cette évaluation.

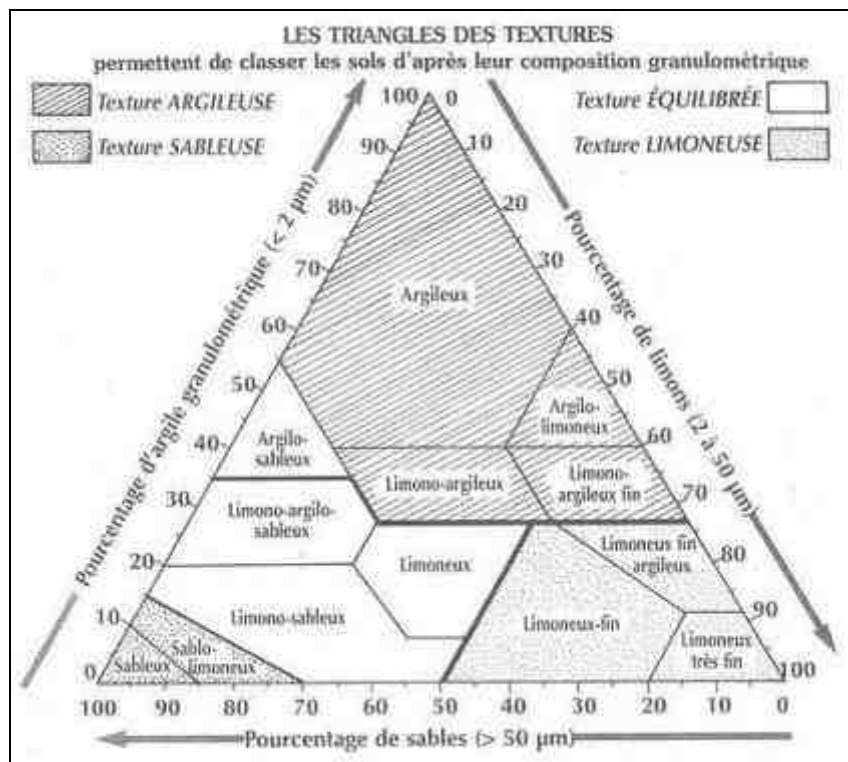
Toucher de la terre sèche	Soyeux ou talqueux	Abondance de limons fins
	Savonneux	Abondance de limons grossiers
	Rugueux	Sables grossiers
Réalisation d'un boudin de terre humide	Possible	A > 10 %
	Impossible	A < 10 %
Réalisation d'un anneau avec le boudin de terre	Fissuration avant la moitié de la fermeture de l'anneau	L > A A < 30 %
	Fissuration au 3/4 de la fermeture	L < A A < 30 %
	Anneau réalisable	A > 30 %

Réalisation : Jacques BEAUCHAMP.

Source : www.oleiculteur.com.

Tableau 1 – Détermination visuelle et sensorielle de la texture du sol.

Le triangle des textures de Jamagne permet alors d'indiquer la texture de l'horizon suite à cette estimation visuelle.



Réalisation : JAMAGNE.

Source : DUCHAUFOR Ph. (1984).

Figure 2 – Triangle des textures de Jamagne.

3 - pour chaque horizon, il est affecté un coefficient d'eau utile (en mm d'eau/cm de sol) selon sa texture.

Texture	% S	% L	% A	Coefficient d'eau utile (mm d'eau/cm de sol)
<b>S</b>	85-100%	0-15%	0-10%	0,70
<b>SL</b>	70-90%	0-30%	0-15%	1,00
<b>LS</b>	40-85%	0-50%	0-20%	1,45
<b>L</b>	0-50%	30-100%	0-25%	1,50
<b>AS</b>	45-65%	0-20%	35-55%	1,70
<b>LAS</b>	45-80%	0-30%	20-35%	1,75
<b>A</b>	0-45%	0-40%	40-100%	1,75
<b>AL</b>	0-20%	40-60%	40-60%	1,80
<b>LA</b>	0-45%	15-90%	10-40%	1,95

Réalisation : Sylvain LOYER (CRPF 2008).

Source : CHARNET F. (2007).

Tableau 2 – Coefficient d'eau utile (mm d'eau par cm de sol) pour différentes textures d'un sol.

4 - Le calcul de la RU de chaque horizon est alors réalisé selon la formule suivante :

**RU = coefficient d'eau utile x épaisseur x pourcentage de terres fines** (1 - charge en éléments grossiers).

5 - la sommation des RU sur le profil pédologique.

Pour la région des Pays de la Loire, la RU d'un sol (sols en majorité à dominante limoneuse ou à dominante calcaire) peut varier entre 50 mm (RU faible pour un sol pauvre à tendance sableuse) à 150 mm (RU moyenne pour les sols riches, profonds, où l'enracinement est bien développé, avec une texture à dominante limoneuse et/ou argileuse...).

#### 4.4. INTERETS DE LA DETERMINATION DE LA RESERVE UTILE EN EAU D'UN SOL.

La RU indique la capacité d'alimentation en eau d'un sol. Ce calcul permet de préciser le choix des essences à installer sur une parcelle forestière. Ainsi, la détermination de la RU affine le choix des essences adaptées pour une station forestière (une essence exigeante en eau ne pourra pas croître sur une station pauvre en eau ou avec une RU faible).

La réserve utile en eau d'un sol intervient aussi dans le calcul du bilan hydrique, et plus particulièrement selon le modèle de Thornthwaite (1948). Le déficit hydrique étant un indicateur climatique pour la végétation (indicateur de période de sécheresse et de disponibilité d'eau pour les plantes), l'évaluation de la RU sur le terrain par un gestionnaire ou un technicien forestier va permettre d'affiner le bilan hydrique.

Pour une forêt ou une parcelle forestière donnée, selon la RU calculée sur le terrain et par comparaison des cartes de déficit hydrique régional avec des RU différentes (50, 100 et 150 mm), le propriétaire saura s'il y a des risques de déficit hydrique pour son peuplement forestier.

Pour se faire, il est également nécessaire de connaître les exigences climatiques des principales essences forestières de la région.

## **EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIERES REGIONALES**



## **5. EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES RÉGIONALES.**

### **5.1. DES EXIGENCES PROPRES A CHAQUE ESSENCE.**

Chaque essence forestière est caractérisée par des exigences qui lui sont propres :

- topographiques (exposition, altitude),
- climatiques (précipitations, températures, hygrométrie de l'air, gelées, vent...),
- pédologiques (acidité, alimentation en eau, compacité du sol, texture...).

Une espèce présente ainsi une croissance optimale quand toutes ses exigences propres sont réunies. Nous parlons alors d'essence adaptée à une station forestière.

Plusieurs essences forestières présentant des exigences climatiques, pédologiques et topographiques quelque peu différentes peuvent coexister dans un même milieu ; elles affichent toutefois des conditions de croissance qui peuvent être différentes.

Une même essence peut être retrouvée sous des climats, des situations topographiques et sur des sols différents. Elle montre alors des conditions de croissance variable.

Il existe donc pour chaque essence des conditions climatiques, topographiques et pédologiques pour lesquelles sa croissance est optimale. La présence d'une essence dans des conditions de croissance optimale dépend donc de paramètres climatiques, topographiques et pédologiques spécifiques.

Hors de ces exigences (à condition de ne pas en être trop éloigné), une espèce peut subsister, mais sa productivité en sera affectée. Elle pourra alors être affaiblie, plus sensible aux maladies et attaques parasitaires, voire dépérir si les conditions stationnelles ne lui sont plus favorables. C'est la raison pour laquelle une étude précise de la station forestière doit être réalisée avant toute implantation d'essences sur une parcelle donnée.

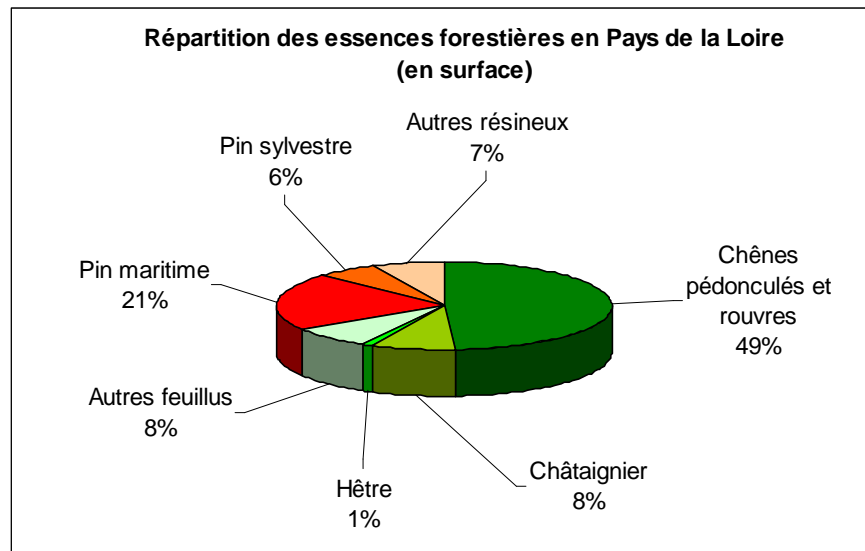
Ici, nous nous intéresserons qu'aux conditions climatiques (températures et précipitations moyennes) qui conditionnent la présence ou l'absence d'une essence forestière. Ces conditions spécifiques permettent d'étudier sa répartition sur un territoire, mais d'autres facteurs évoqués ci-dessus entrent en jeu pour expliquer sa présence en un lieu donné.

Les exigences climatiques ne peuvent expliquer à elles seules la répartition des essences forestières sur un territoire donné.

### **5.2. EXIGENCES CLIMATIQUES DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES RÉGIONALES.**

En région Pays de la Loire les essences les plus représentées sont les suivantes :

- chênes pédonculés et rouvres (49%),
- pin maritime (21%),
- châtaignier (8%),
- pin sylvestre (6%),
- hêtre (1%).

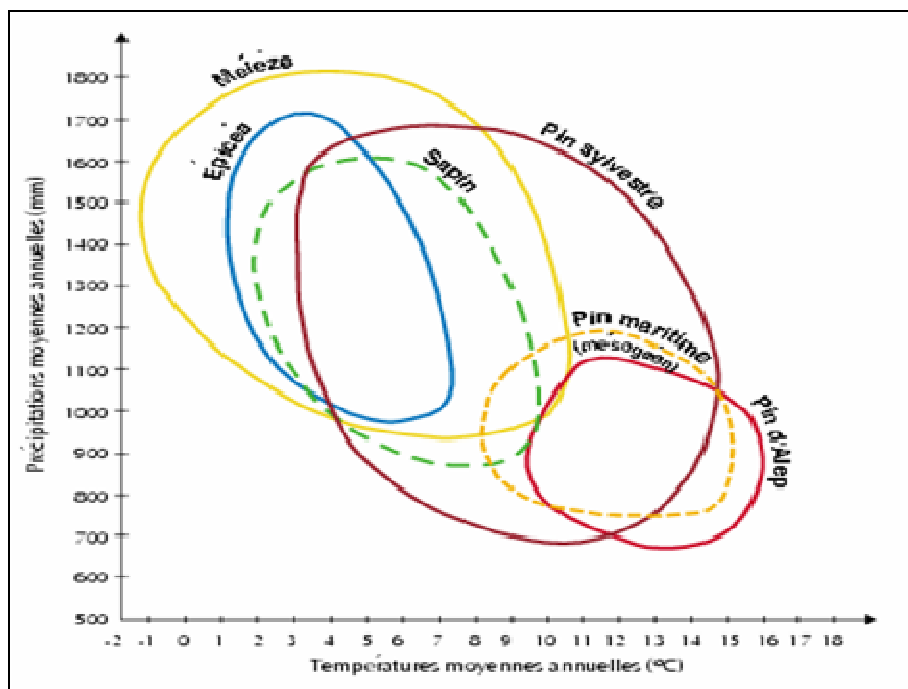


Réalisation : Sylvain LOYER (CRPF, 2008).

Source : DRAF PDL, 2008).

Graphique 8 – Répartition des essences forestières en Pays de la Loire (en surface).

Ces essences ont des exigences climatiques spécifiques (températures et précipitations minimales et maximales). Ainsi, nous pouvons trouver dans la littérature les aires ombrothermiques des principaux résineux français.



Réalisation : P. RIOU-NIVERT, 2005.

Source : MARTIN Y. (2005).

Graphique 9 – Aires de répartition ombrothermique des principales essences résineuses selon les précipitations et les températures moyennes annuelles.

Un ouvrage publié par MASSON G. (2005) établit aussi les exigences climatiques des principales essences feuillues françaises.

Le tableau suivant établit les exigences climatiques des principales essences de la région des Pays de la Loire :

Essences	Températures min	Températures max	Précipitations min	Précipitations max
Chêne pédonculé	8°C	13°C	600 mm/an	1240 mm/an
Chêne rouvre	8°C	12°C	600 mm/an	
Châtaignier	8°C	15°C	700 mm/an	1500 mm/an
Hêtre	3°C	12°C	600 mm/an	2000 mm/an
Pin sylvestre	3°C	14,5°C	700 mm/an	1650 mm/an
Pin maritime	8°C	15°C	750 mm/an	1200 mm/an

Réalisation : Sylvain LOYER (CRPF, 2008).

Source : MARTIN Y. (2005) et MASSON G. (2005).

Tableau 3 – Exigences climatiques des principales essences forestières en Pays de la Loire (températures et précipitations moyennes annuelles).

A partir des données météorologiques trentenaires (1971-2000), et des exigences climatiques des différentes essences présentes en Pays de la Loire, des cartes de répartition potentielle ont été réalisées pour la région :

Ainsi, selon ses exigences climatiques, le chêne pédonculé est présent sur l'ensemble de la région, excepté au sud de la ville d'Angers (région où les précipitations annuelles sont inférieures à 600 mm).

Le chêne rouvre est climatiquement présent sur l'ensemble de la région, sauf au sud de la ville d'Angers, toujours en raison de précipitations inférieures à 600 mm/an, et sur les zones côtières, principalement du fait de températures moyennes annuelles trop élevées, supérieures à 12°C.

Le châtaignier peut potentiellement être présent dans les régions où le climat présente des précipitations supérieures à 700 mm/an, c'est-à-dire en Vendée, en Loire-Atlantique, excepté le long des côtes et sur une partie de la Sarthe.

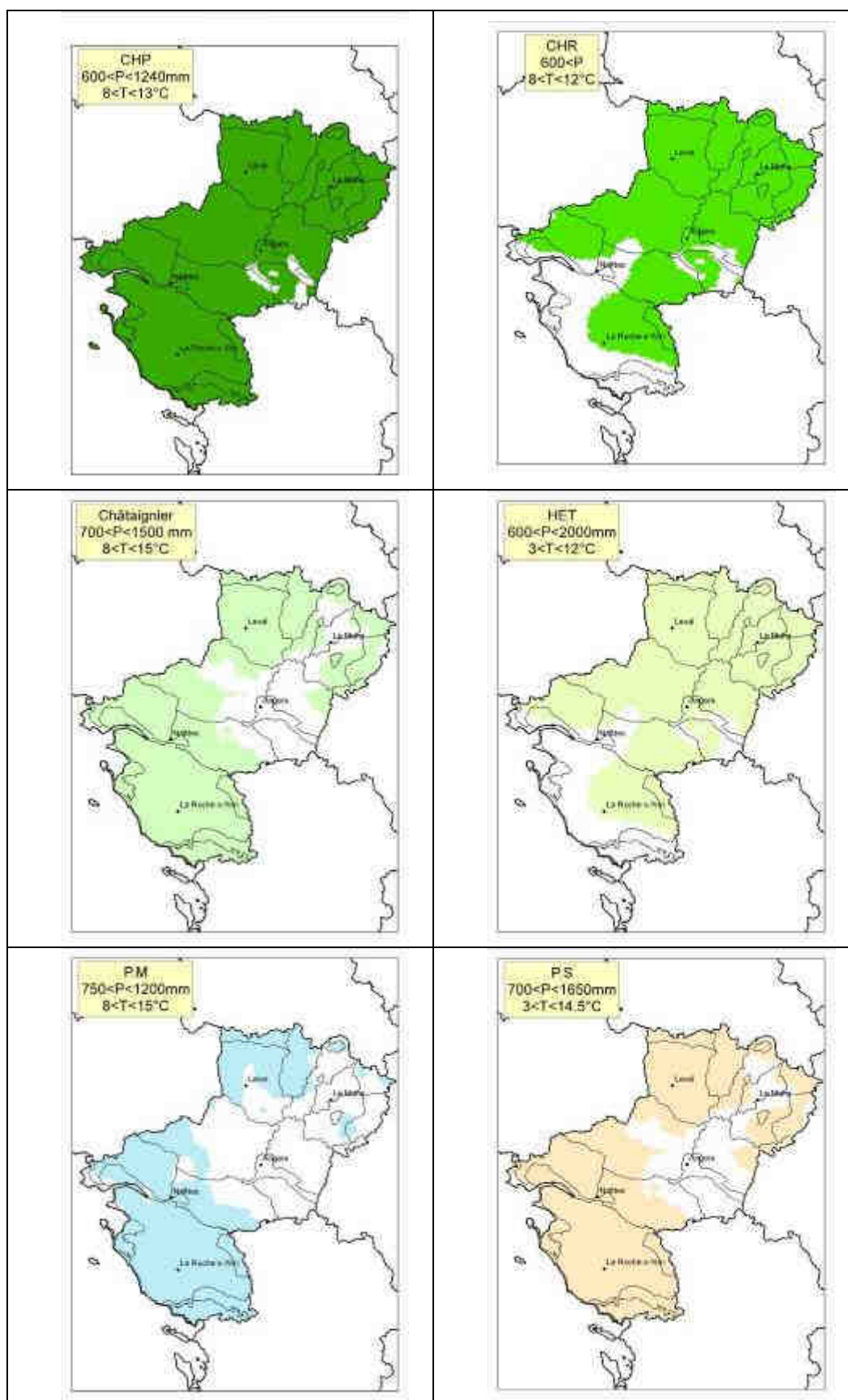
Le hêtre, selon ses exigences climatiques, n'est pas présent dans la région sur les zones côtières et au sud de la ville d'Angers, secteurs pour lesquels la température moyenne annuelle est supérieure à 12°C.

Le facteur limitant la présence de pin sylvestre est une pluviométrie inférieure à 700 mm/an, c'est la raison pour laquelle on ne le retrouve pas climatiquement parlant en Maine-et-Loire, dans le sud de la Sarthe et le long des côtes.

Ce constat est identique pour le pin maritime avec une pluviométrie annuelle inférieure à 750 mm, soit une zone d'absence encore plus étendue (notamment sur la Sarthe et le sud de la Mayenne).

Ces essences ne sont cependant pas forcément présentes dans les zones climatiques indiquées ; d'autres facteurs pédologiques, topographiques conditionnant leur répartition. A noter que les froids hivernaux et les gelées peuvent aussi avoir un fort impact sur la répartition de certaines essences. Ces facteurs ne sont pas pris en compte dans les cartographies présentées.

D'autre part, ces essences peuvent parfois à la faveur de micro-habitats favorables être retrouvées en dehors des zones définies sur les cartes ci-dessus. Elles peuvent aussi être présentes de façon marginale en essences secondaires ou d'accompagnement sur des milieux qui *a priori* ne leurs sont pas favorables. Elles présentent alors le plus souvent des conditions de croissance assez médiocres.



Réalisation : Cédric BAUDRAN (ONF, 2008).

Source : MARTIN Y. (2005) et MASSON G. (2005).

Cartes 20, 21, 22, 23, 24 et 25 – Répartition des principales essences forestières  
selon leurs exigences climatiques en Pays de la Loire.

## CONCLUSION

---

La région des Pays de la Loire se caractérise par une forte diversité des conditions climatiques locales, faisant de ce territoire un support très intéressant pour l'étude des conséquences du changement climatique annoncé sur la végétation forestière.

Si les températures moyennes annuelles s'échelonnent régulièrement selon un gradient sud / nord passant de 12,5°C à 9,5°C, la répartition spatiale de la pluviométrie annuelle est elle beaucoup plus aléatoire. Elle va de 550 mm dans la région angevine et le Saumurois, à plus de 1000 mm dans les Collines vendéennes et le nord de la Mayenne.

La combinaison température / pluviométrie donne à l'échelle du territoire régional une grande diversité de conditions climatiques allant des secteurs frais et humides au nord de la région aux secteurs chauds et secs au sud du Maine-et-Loire.

Bien plus que les conditions climatiques moyennes annuelles, ce sont les températures et la pluviométrie en période de végétation qui interfèrent le plus sur la végétation. Soumis à des influences océaniques marquées pour les départements de Loire-Atlantique et de Vendée, la pluviométrie estivale se trouve alors plus déficitaire qu'elle ne l'est dans les autres départements de la région.

Cette diversité renforcée par d'autres facteurs climatiques tout aussi hétérogènes dans leur répartition spatiale tels que les radiations solaires, la vitesse et l'orientation des vents, l'hygrométrie, influence considérablement la répartition des espèces et leur adaptation aux conditions climatiques locales. Ainsi, certaines espèces patrimoniales comme les chênes, et notamment le chêne pédonculé, présentes sur tout le territoire et parfois donc dans des conditions pédoclimatiques marginales, peuvent rencontrer de grandes difficultés à l'occasion d'aléas climatiques défavorables. L'évolution climatique constatée ces 30 dernières années se concrétise localement par des débuts de dépérissement, voire de la mortalité sur ces stations les plus critiques.

Enfin, il ne faut pas minimiser l'importance des conditions stationnelles qui peuvent pallier certains déficits par des compensations particulières : texture, structure et profondeur de sol prospectable pour les systèmes racinaires, exposition, microclimat, etc...

Ainsi, le calcul de la réserve utile en eau d'un sol, couplé avec les données météorologiques locales permettent-ils d'évaluer le déficit hydrique relatif en un point donné. Ces valeurs obtenues comparées aux exigences ombrothermiques des essences donnent de précieuses informations sur leur adaptation stationnelle. Il ne s'agit que d'une approche, car les facteurs qui entrent en jeu dans la répartition spatiale des espèces à l'échelle d'un territoire sont très nombreux. Certains facteurs peuvent aussi interagir entre eux et provoquer des phénomènes de compensation dont l'analyse est délicate et difficile.

Un autre facteur difficile à appréhender concerne la variabilité intra-spécifique et les capacités d'adaptation des espèces à de nouvelles conditions pédoclimatiques. Un travail important reste à faire dans ce domaine. Il est donc indispensable de lancer au plus vite une réflexion sur ce sujet. Plusieurs pistes sont à explorer, dont notamment la sélection de variétés locales et la mise en place de plantations comparatives, si nous voulons pouvoir répondre au déficit qui nous est soumis.

Si le taux de boisement régional n'est que de 10%, l'arbre reste une composante majeure de nos paysages avec un maillage bocager encore bien représenté malgré les agressions subies lors de ces dernières décennies. Il est aussi un support de biodiversité extraordinaire. Sous quelque forme qu'ils soient, nos arbres pourraient bien être rapidement menacés, et leur avenir hypothéqué par ces changements climatiques annoncés. Il est donc important de réagir rapidement pour limiter l'impact de tels changements, en sachant que quoi que nous fassions, ces changements climatiques auront un impact non négligeable sur la biodiversité régionale. Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble très difficile aujourd'hui d'en mesurer l'importance.

## BIBLIOGRAPHIE

---

### OUVRAGES

**BADEAU V., DUPOUEY J.L., CLUZEAU C., DRAPIER J., LE BAS C.**, juin 2004, *Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises*, projet CARBOFOR, 49 pages.

**CHARNET F.**, 29-31 mai 2007, *Réunion sur l'autécologie des essences, tables de réserves utile par classe de texture et calcul des réserves utiles*, 2 pages.

**DUCHAUFOUR PH.**, 1984, *Abrégés de pédologie*, Éditions Masson, 21 pages.

**FORÊTS DE FRANCE**, juin 2006, *Évolution du climat : le rôle des arboretums, les actions sur le terrain*, *Forêts de France n°494*, p. 18-24.

**GAUDIN S.**, 2007, *Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogue de station : première approche*, 16 pages + annexes.

**GILBERT J.M., FRANC A.**, 1997, *Typologie et cartographie du climat de la moitié nord de la France*, *Ingénieries - EAT – n°12*, p. 35-47.

**GROUPE DE TRAVAIL I DU GIEC**, février 2007, *Résumé à l'intention des décideurs, bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques*, 25 pages.

**GROUPE DE TRAVAIL II DU GIEC**, avril 2002, *Les changements climatiques et la biodiversité*, document technique V du GIEC, 44 pages + annexes.

**INRA**, 14-16 juin 2005, *Eau et forêt*, 12<sup>èmes</sup> journées scientifiques et techniques au Centre INRA de Nancy Champenoux, 62 pages.

**INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL.**, 2007, *Dépérissement et mortalité : un éclairage de la situation en France*, *IF n°16*, 8 pages.

**JANCOVICI J.M.**, novembre 2006, *Le réchauffement climatique : que risquent les écosystèmes ?*, 12 pages.

**LE BOULER H.**, novembre 2007, *Bilan 2003-2007 : Études préalables à une méthode d'ajustement climat-végétation*, 8 pages.

**LE BOULER H., LÉBOUCHE Y.**, 2007, *Fiche 6 - Réchauffement climatique et forêt en région Pays de la Loire*, SREFAR, DRDAF Pays de la Loire et Loire-Atlantique, une page.

**LEBOURGEOIS F., PIEDALLU C.**, avril 2005, *Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques*, *Revue Forestière Française*, 26 pages.

**LEGAY M., CORDONNIER T., MENGIN-LECREUX P., MICHENEAU C., FRANC, A, JAMBOIS A.**, 2007, *Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques*, *RDV techniques hors série n°3*, 104 pages.

**LEGAY M., MORTIER F.**, juin 2006, *La forêt face au changement climatique : adapter la gestion*, *Synthèse de l'atelier ONF/INRA du 20 octobre 2005*, 39 pages.

**MARTIN Y.**, 5 août 2005, *La forêt face au changement du climat*, réunion d'information « La sylviculture et les changements climatiques » à Florac (CRPF Languedoc-Roussillon), 26 pages.

**MASSON G.**, 2005, *Autécologie des essences forestières*, Éditions Tec et Doc - Lavoisier, 2 tomes.

**MÉTÉO-FRANCE**, juillet 1995, *Le climat de l'Ouest de la France*, fascicule 4 pages.

**MORTIER F., CHOPART J.C., SARDIN T.**, 2005, Conséquences de la sécheresse et de la canicule de 2003 : bilan pour les plantations des forêts publiques en 2004, *RDV techniques n°8*, 5 pages.

**SERVICE RÉGIONAL DE LA FORÊT ET DU BOIS**, 2000, *Orientations régionales forestières, tome 2 indicateurs de gestion durable des forêts des Pays de la Loire*, 16 pages.

**ROMAN-AMAT B.**, décembre 2007, *Préparer les forêts françaises au changement climatique, rapport à MM. Les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables*, 125 pages.

## **SITES INTERNET CONSULTÉS**

Les énergies renouvelables (solaires) :  
<http://www.ciele.org/filieres/solairethermique.htm>

Rapport du GIEC :  
<http://www.greenfacts.org/fr/dossiers/changement-climatique/niveau-1.htm>

Thèse sur les différentes méthodes de calcul de l'ETP :  
<http://www.univ-batna.dz/theses/fac-ing/ladmani/these/pdf>

Impact des changements anthropiques sur la FRéquence des phénomènes EXtrêmes de vent, de température et de précipitations :  
<http://medias.cnrs.fr/imfrex/web/>

Carte mondial sur les changements climatiques :  
<http://www.worldclim.org/>

Carte sur l'évolution du climat :  
<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?Scenarios>

Rapport sur l'eau dans le sol :  
<http://www.oleiculteur.com/L'eau%20et%20le%20sol.htm>

DRAF : la forêt et l'industrie de première transformation du bois en Pays de la Loire :  
<http://www.draf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/Documents/ForetBois/FilForBois/ForetIndustrie.pdf>

Les énergies renouvelables (solaire) :  
<http://www.ciele.org>

Textures des sols :  
<http://www.oleiculteur.com/L'eau%20et%20le%20sol.htm>

## LISTE DES CARTES

1. Distribution spatiale des précipitations annuelles (en mm) sur la période 1971-2000 en Pays de la Loire. ....	11
2. Distribution spatiale des précipitations estivales en mm (juin, juillet, août) sur la période 1971-2000 en Pays de la Loire. ....	12
3. Températures moyennes annuelles sur les Pays de la Loire (période 1971-2000). ....	13
4. Nombre moyen annuel de jours de gel sur les Pays de la Loire (période 1971-2000). ....	14
5. Distribution des températures maximales estivales (juin, juillet, août) sur la période 1971-2000 en Pays de la Loire. ....	15
6. Carte d'ensoleillement de la France. ....	16
7, 8 et 9. Évolution des températures maximales estivales (juin, juillet, août) sur la période 1997-2006 en Pays de la Loire. ....	20
10, 11 et 12. Évolution des précipitations estivales (juin, juillet, août) en mm sur la période 1997-2006 en Pays de la Loire. ....	21
13. Différence de températures (°C) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les quatre saisons en France (Scénario A2 du GIEC). ....	23
14. Différence de précipitations (mm/jour) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les quatre saisons en France (Scénario A2 du GIEC). ....	23
15. Déficit hydrique relatif (DHR) annuel pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 100 mm. ....	27
16. Déficit hydrique relatif (DHR) annuel pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 50 mm. ....	28
17. Déficit hydrique relatif (DHR) annuel pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 150 mm. ....	29
18. Déficit hydrique relatif (DHR) d'avril à septembre (saison de végétation) pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 100 mm. ....	30
19. Déficit hydrique relatif (DHR) d'avril à septembre (saison de végétation) pour les Pays de la Loire avec une réserve utile (RU) du sol de 50 mm. ....	31
20, 21, 22, 23, 24 et 25. Répartition des principales essences forestières selon leurs exigences climatiques en Pays de la Loire. ....	40

## LISTE DES GRAPHIQUES

1 et 2. Régime pluviométrique océanique (Vendée et Loire-Atlantique). ....	9
3, 4 et 5. Régime pluviométrique océanique altéré (Sarthe, Mayenne et Maine-et-Loire). ....	9
6. Régimes pluviométriques pour les départements de la région des Pays de la Loire. ....	10
7. Distribution des températures en région Pays de la Loire. ....	14
8. Répartition des essences forestières en Pays de la Loire (en surface). ....	38
9. Aires de répartition ombrothermique des principales essences résineuses selon les précipitations et les températures moyennes annuelles. ....	38

## LISTE DES TABLEAUX

1. Détermination visuelle et sensorielle de la texture du sol. ....	34
2. Coefficient d'eau utile (mm d'eau par cm de sol) pour différentes textures d'un sol. ....	35
3. Exigences climatiques des principales essences forestières en Pays de la Loire (températures et précipitations moyennes annuelles). ....	39

## LISTE DES FIGURES

1. Régimes pluviométriques de la moitié nord de la France. ....	8
2. Triangle des textures de Jamagne. ....	34

**Photographies page de couverture** : CRPF PDL, Sébastien THILLY (SDIS 44).