



CLIMAT
AGROCLIMAT
IMPACTS
ADAPTATIONS | AGRICOLES
ATTENUATIONS



oracle

Pays-de-la-Loire



Etat des lieux
sur le changement climatique
et ses incidences agricoles
en région Pays-de-la-Loire

Edition 2016



Avec le soutien financier de :

Conseil Régional des Pays de la Loire

Contributions :

Météo France

Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire

 Pôle de compétence Prairie

 Domaine Territoire-environnement

Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle Aquitaine

Chambre départementale d'agriculture du Maine-et-Loire Antenne des Mauges

IDELE

DRAAF-FranceAgriMer

INRA Angers et INRA Rennes

CTIFL

Direction éditoriale et expertise agronomique

Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire

Données et expertise climatiques



Météo France

Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle Aquitaine



Edito

Le changement climatique pour le monde agricole est déjà une réalité. Au travers d'indicateurs adaptés, les impacts du changement climatique peuvent être observés sur la floraison des pommiers, la précocité du maïs ou encore le rendement du blé. Ces changements sont sources de menaces, mais aussi révèlent des opportunités. Aujourd'hui, les Chambres d'agriculture ont la volonté d'enrichir les connaissances sur le changement climatique et ses effets sur l'agriculture pour alimenter les réflexions et permettre d'aboutir à des stratégies d'adaptation concrètes pour les agriculteurs. Le projet ORACLE, initié par la Chambre de Poitou Charentes, est le premier outil à disposition de la recherche et du développement agricole capable de produire des indicateurs parlant, qui permettront aux ingénieurs et conseillers de construire les nouvelles pratiques agricoles dans la région. L'étude est portée sur les productions végétales (cultures annuelles et pérennes) ainsi que les productions animales.

Le livret pour la région Pays de la Loire est ici construit sous la forme de fiches détaillées, dans lesquelles on retrouve les indicateurs répartis selon qu'ils renseignent sur des tendances climatiques régionales (Thème 1), des risques ou atouts agro-climatiques dégagés (Thème 2), des impacts agricoles observés (Thème 3) et des leviers d'adaptation possible pour ces cultures (Thème 4). Les données climatiques fournies par Météo-France pour les thèmes 1 et 2 ont permis de dresser des graphiques d'évolution sur un historique important. Certaines fiches présentent également une carte sur laquelle est régionalisée une normale climatique associée à un indicateur permettant ainsi d'avoir une approche spatio-temporelle des évolutions. Les fiches du thème 3 quant à elles sont élaborées à partir des relevés terrains effectués au cours de diverses études. Chaque fiche présente les résultats au travers de l'analyse de la tendance, de sa significativité statistique et de la variabilité des données. Le gradient Ouest-Est plus ou moins marqué du climat océanique a orienté le choix de 4 stations de référence : Saint Nazaire-Montoir, La Roche sur Yon, Angers-Beaucouzé, Le Mans.

Ces premiers résultats révèlent des tendances frappantes mais aussi de fortes variabilités qui impliquent à la fois une adaptation sur le long terme et imposent une réactivité pour absorber les variations importantes inter annuelles. Cela demandera d'intégrer les notions de risque et de résilience pour les systèmes de culture proposés.



Les climats de la région Pays de la Loire

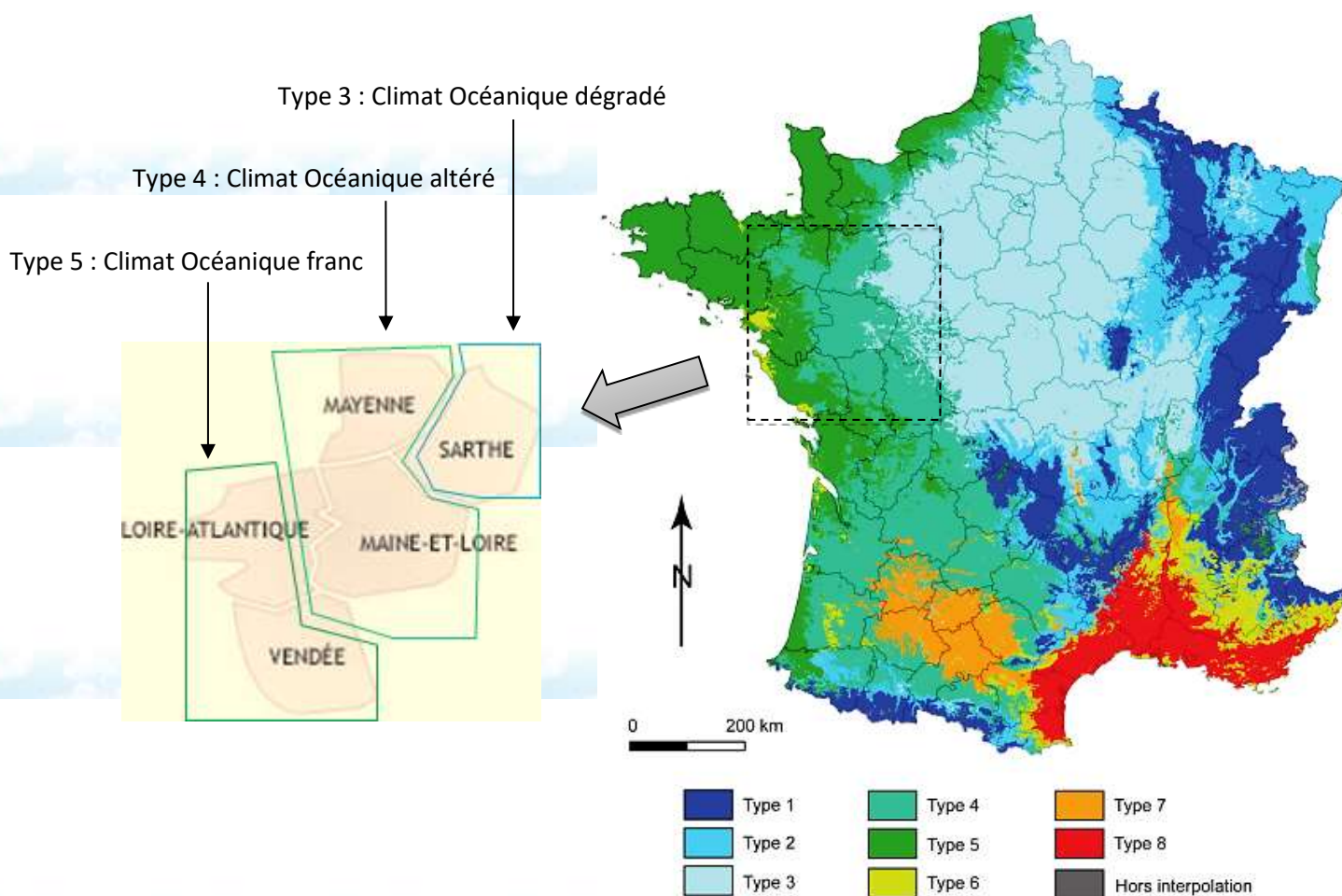


Figure 1: Les climats en France, focus sur la région Pays-de-la-Loire et ses départements



Les climats de la région Pays de la Loire

La France est un pays qui se partage 8 climats en métropole (cf. Figure 1). C'est le résultat livré par le CNRS en 2010 après une étude des précipitations et des températures menées sur une série temporelle de 1971 à 2000. La région Pays-de-la-Loire dispose de 3 climats majeurs présentés ci-dessous (cf. Tableau I).

D'après la typologie climatique élaborée, sur les côtes Atlantiques, le climat est Océanique franc (type 5). La bande la plus à l'Est, sur le département de la Sarthe, est défini par un climat Océanique dégradé (type 3). Enfin entre ces deux climats, on retrouve en Mayenne et en Maine-et-Loire un climat Océanique altéré (type 4), un intermédiaire aux deux autres (Joly et *al.*, 2010). La connaissance de ces climats régionaux (cf. Tableau I) est indispensable dans l'analyse des évolutions climatiques qui suivent car ils expliquent en partie la différence des résultats observés.

Types de climat	Description
Type 3 : <i>Climat océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord</i>	Caractérisé par des températures intermédiaires (moyenne annuelle de l'ordre de 11°C) et des précipitations faibles (<700 mm) surtout l'été. La variabilité inter annuelle des précipitations est minimale contrairement à celle des températures qui est élevée.
Type 4 : <i>Climat océanique altéré</i>	Caractérisé par une température moyenne assez élevée (12,5°C), un nombre de jours de froids faible (entre 4 et 8 par an) et chauds soutenu (entre 15 et 23 par an). Les précipitations, de l'ordre de 800-900 mm, tombent surtout l'hiver, alors que l'été est plutôt sec. Il apparaît comme une transition entre l'océanique franc (type 5) et l'océanique dégradé (type 3).
Type 5 : <i>Climat océanique franc</i>	Caractérisé par une amplitude thermique annuelle et interannuelle faible (moins de 13°C entre janvier et juillet), un nombre de jours de froids (<4) et chauds (<4) limités. Les précipitations y sont abondantes (>1000 mm) et fréquentes l'hiver où on trouve une forte variation inter annuelle. L'été est également pluvieux.

Tableau I : Les climats de la région Pays-de-la-Loire.



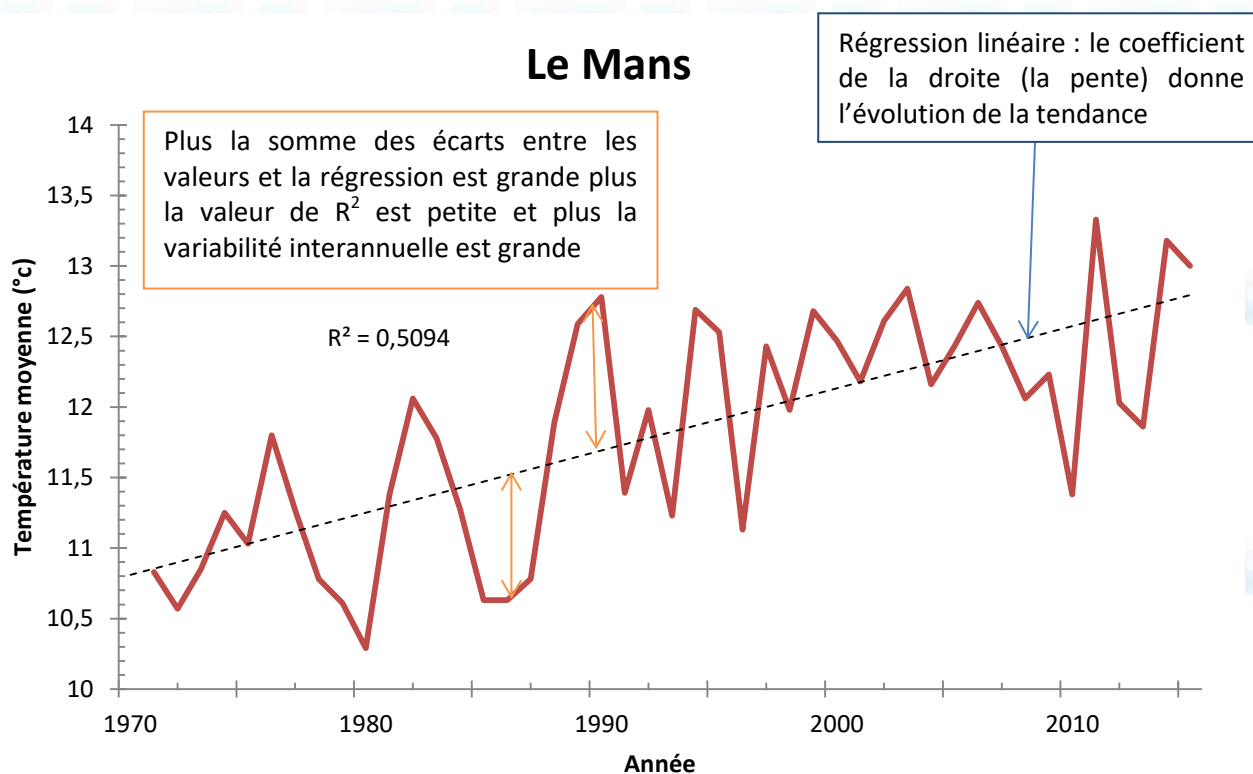
Statistiques

Les indicateurs présentés ont été traités statistiquement à l'aide d'une régression linéaire sur le logiciel de statistiques R.

L'objectif de ce test statistique est de modéliser par une droite la relation entre deux variables quantitatives. Ce format est une modélisation, cela reste une simplification fautive de la réalité. La qualité du modèle est indiquée par le coefficient R^2 . Il représente la proportion des points de mesures qui est expliquée par la régression linéaire. Cette valeur est comprise entre 0 (modèle n'explique rien) et 1 (le modèle est parfait et tous les points sont la droite de régression). Dans les analyses suivantes, les valeurs de R^2 sont faibles. Cela montre que les données mesurées présentent de grandes variations d'une année sur l'autre (variabilité interannuelle). Plus la variabilité interannuelle est forte, plus elle masque les tendances évolutives. Il faut dans ce cas allonger la durée des séries de mesures pour gommer cet effet (CeStatS, 2015).

Afin d'affirmer que les régressions linéaires correspondent à une tendance réelle et non pas à des variations dues au hasard, il faut être conscient du risque d'erreur que l'on prend à se tromper de conclusion. Les formules : $P < 0,001$; $P < 0,01$; $P < 0,05$ et $P < 0,1$ indiquent le niveau du risque d'erreur, c'est à dire un risque d'erreur inférieur à 0,1%, 1%, 5% et 10% respectivement. Une tendance avec le symbole $P < 0,001$ est considérée comme très fiable, avec un risque d'erreur inférieur à 0,1% que la tendance soit due au hasard. On considère un résultat comme non significatif lorsque le risque d'erreur est supérieur à 10%. L'annotation NS signifie que les résultats sont non significatifs (CeStatS, 2015).

Un exemple : La température moyenne annuelle au Mans





Statistiques

L'évolution de la température moyenne observée au Mans montre que:

- la tendance observée sur l'ensemble de la période (1971-2015) est de :
+0,44°C par décennie au Mans ($P < 0,001$) (c'est-à-dire que le risque que la tendance soit due au hasard est inférieur à 0,1%) soit une évolution de +1,94°C en 44 ans ;
- l'augmentation des températures est significative ;
- les variations de température d'une année à l'autre (variabilité dite inter annuelle) sont fortes ($R^2 < 0,6$).



Pour en savoir plus

CESTATS.; 2015. Formation statistique CNRS : Regression linéaire. 26p.



Edition 2016 : liste des fiches

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Température moyenne annuelle
Température moyenne saisonnière
Nombre de jours estivaux par an
Nombre de jours de gel par an
Cumul annuel des précipitations
Cumul saisonnier des précipitations
Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)
Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)
Déficit hydrique climatique saisonnier (Pluies-ETP)
Contenus saisonnier en eau des sols

2 AGRO CLIMAT

Nombre de jours en sécheresse du sol
Degrés-jours de croissance du maïs
Degrés-jours de croissance du blé
Nombre de jours échaudant au printemps
Nombre de jours de gel faible et de gel fort
Début, durée et fin de la période de gel
Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril
Indice de Huglin
Indice de Wingle



Edition 2016 : liste des fiches

3 IMPACTS AGRICOLES

Teneur en sucre et en acidité des raisins du Val de Loire
Date de vendange du Val de Loire
Date de début de floraison du pommier *Golden Delicious*
Date de 1^{ère} capture du Carpocapse
Croissance printanière de l'herbe
Rendement en blé tendre
Rendement en maïs ensilage
Rendement en pois protéagineux

4 ADAPTATIONS

Leviers d'adaptation - Culture de blé
Leviers d'adaptation - Culture de maïs
Leviers d'adaptation - Prairies
Perception des agriculteurs au regard du changement climatique



Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

🕒 Indicateurs

Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015
Laval : 1989 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières.

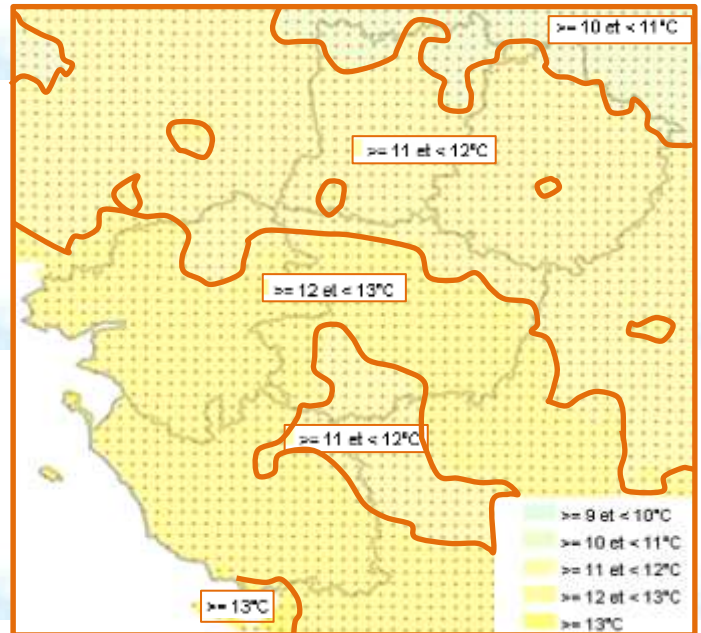
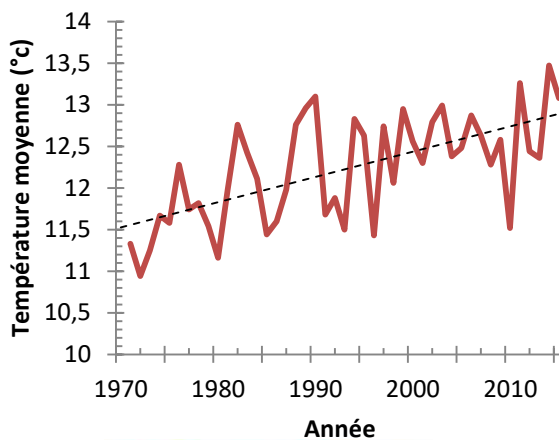


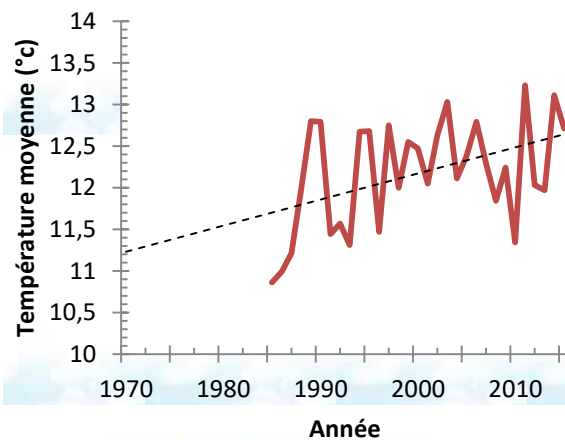
Figure 2: Températures moyennes annuelles sur les Pays de la Loire - Période 1981-2010 (SIGLOIRE)

📈 Évolution observée

St Nazaire - Montoir



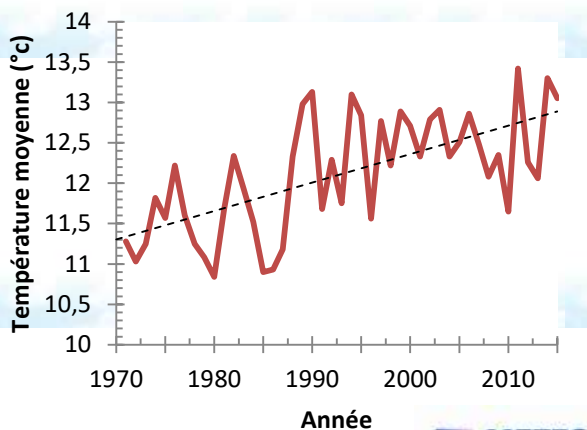
La Roche sur Yon



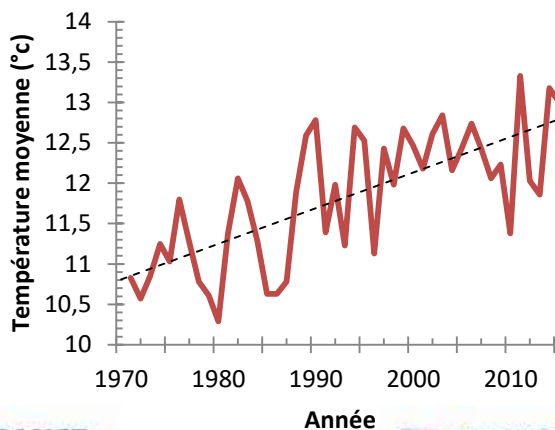


Température moyenne annuelle

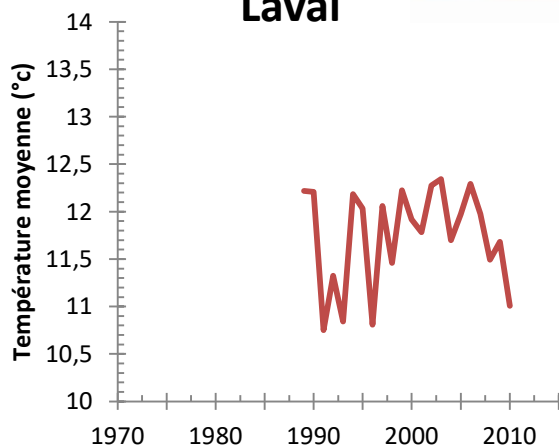
Angers - Beaucouzé



Le Mans



Laval



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

La station de Laval ne présente pas de tendance significative à la hausse des températures moyennes annuelles. Cela provient d'une période trop courte de mesures (1989 – 2010, soit 21 ans). Les normales saisonnières de Météo France sont calculées sur une période de 30 ans (Météo France, 2013). En l'absence d'une durée d'analyse suffisante, les analyses climatologiques de Laval ne seront pas prises en compte.

Analyse

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

L'évolution de la température moyenne observée en Pays de la Loire depuis 1971 (ou 1985) pour chaque station d'étude montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période (1971-2015 / 1985-2015 / 1989 – 2010 suivant les stations) sont de :
 - +0,30°C par décennie à St Nazaire-Montoir** ($P < 0,01$) soit $+1,33^\circ\text{C}$ en 44 ans;
 - +0,31°C par décennie à La Roche sur Yon** ($P < 0,05$) soit $+0,94^\circ\text{C}$ en 30 ans;
 - +0,35°C par décennie à Angers-Beaucouzé** ($P < 0,01$) soit $+1,55^\circ\text{C}$ en 44 ans;
 - +0,44°C par décennie au Mans** ($P < 0,001$) soit $+1,94^\circ\text{C}$ en 44 ans;
- l'augmentation des températures est significative dans 4 des 5 stations, avec un réchauffement croissant d'Ouest en Est;
- les variations de température d'une année à l'autre (variabilité dite inter annuelle) sont fortes ($R^2 < 0,6$).



Température moyenne annuelle

Les quatre autres stations de la région Pays de la Loire présentent une augmentation significative de leur température moyenne annuelle depuis 1971 (ou 1985). Ces résultats sont conformes à l'augmentation perçue dans le Grand Ouest¹ à partir des années 1980 après une stagnation des températures entre les années 1950 et 1960 (Dubreuil *et al.*, 2012).

Le pays a connu une hausse d'environ +1°C depuis 1900 (+ 0,1°C par décennie) (Denhartigh, 2015). Les résultats des séries de mesures des quatre stations annoncent une augmentation de plus de 1,5°C sur une période trois fois plus courte (1971-2015), soit + 0,3°C à + 0,44°C par décennie. Ce réchauffement s'accélère et il est plus marqué sur ces 44 dernières années que sur l'ensemble du XX^{ème} siècle en France métropolitaine. D'après l'OMM², 14 des 15 années les plus chaudes enregistrées depuis 1850 se situent entre 2000 et 2014, avec 2011 comme année la plus chaude (Denhartigh, 2015).

L'augmentation pendant le siècle dernier s'explique par des hausses des températures minimales (de 0,7 à 1,7°C) et maximales (de 0 à 1,3°C) (Moisselin *et al.*, 2002). En région Pays de la Loire, les évolutions observées entre 1960 et 2010 sont de +1,1°C pour les températures minimales et de +0,7°C pour les maximales (Dubreuil *et al.*, 2012).

Le gradient de températures d'Ouest (St Nazaire-Montoir) en Est (Le Mans) correspond aux trois climats majeurs qui divisent la région Pays de la Loire (cf. Figure 1) (Joly *et al.*, 2010). La région Est, dont les normales sont plus faibles (11-12°C), subit un réchauffement plus fort en raison d'un caractère continental plus marqué que la région Ouest (normales de 12-13°C) qui subit l'effet tampon du climat océanique franc (cf. Figure 2). Compte tenu des normales et des résultats obtenus, il est à prévoir une augmentation des températures de la région plus accentuée à l'Est qu'à l'Ouest.

L'accélération du réchauffement impacte fortement l'agriculture au travers notamment du raccourcissement des calendriers culturaux, de l'augmentation de l'évapotranspiration et du dépassement des seuils thermiques. Le dernier rapport du GIEC, publié fin 2013, confirme la très forte probabilité que ce réchauffement se poursuive.

Pour aller plus loin : L'étude des températures saisonnières permettrait de connaître la répartition du réchauffement au sein des différentes saisons.

¹ Basse-Normandie, Bretagne, Pays de la Loire et Poitou-Charentes

² Organisation Météorologique Mondiale



Température moyenne annuelle

A RETENIR

Les différentes séries de données disponibles en Pays-de-la-Loire mettent en évidence une évolution des températures moyennes cohérente avec l'évolution observée sur le Grand Ouest et en France. Depuis le début des années 80, le réchauffement s'est accentué, avec une élévation supérieure à 0,3°C par décennie. Le réchauffement est cependant plus marqué dans l'Est de notre région en raison de son caractère plus continental.

Cet accroissement important des températures impose au conseil agricole de réactualiser les références climatiques utilisées (dates de semis et choix de variétés notamment) pour mieux anticiper les conditions thermiques des prochaines années.

La variabilité inter annuelle est très prononcée ce qui impose une réactivité importante dans les choix qui sont faits et d'intégrer la notion de risque et de résilience des systèmes de culture proposés.



Pour en savoir plus

DENHARTIGH C. ; 2015. Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques, recueil d'expériences territoriales. Réseau action climat France.

DUBREUIL V., PLANCHON O., LAMY C., BONNARDOT V., QUÉNOL H. ; 2012. Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30.

JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVAILHES J., HILAL M. et WAVRESKY P. ; 2010. Les types de climats en France, une construction spatiale. Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne]. Disponible sur <http://cybergeo.revues.org/23155>. Consulté le 21 juillet 2015.

METEO FRANCE ; 2013. Atlas climatique des Pays de la Loire [en ligne] Disponible sur http://www.geopal.org/accueil/les_actualites/10_934/atlas_climatique_des_pays_de_la_loire. Consulté le 21 mai 2016.

MOISSELIN J-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O. ; 2002. Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de températures et de précipitations, La Météorologie, n°38, 45-57.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S., VAUTARD R. ; 2015 – Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2015 pour la métropole et les régions d'outre-mer. MEDE, 62 p.



Température moyenne saisonnière

🔑 Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

🕒 Indicateurs

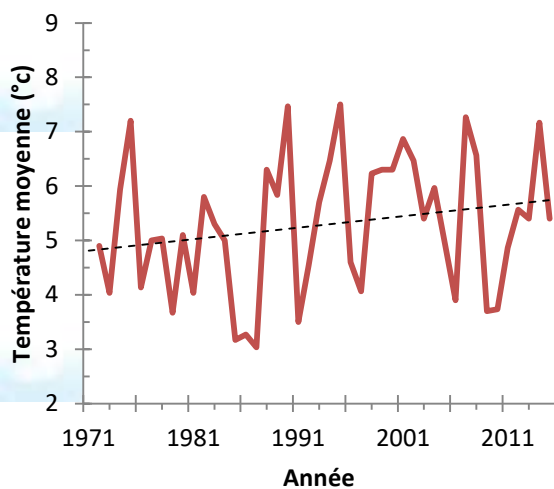
Le Mans : 1971 à 2015
(Angers-Beaucouzé et St Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015 ; cf. Tableau II)

📊 Calcul de l'indicateur

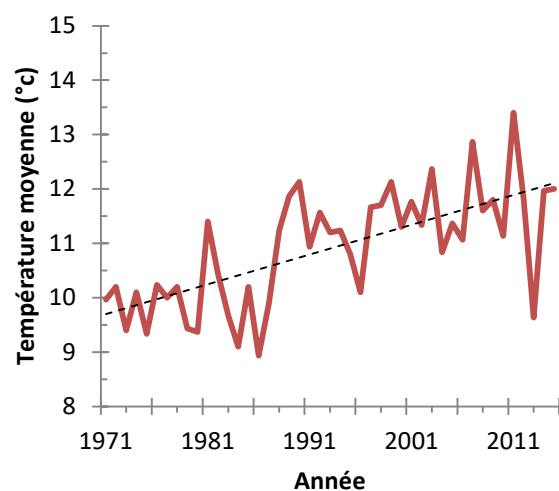
Moyennes sur 3 mois des températures journalières : Décembre à février, Mars à Mai, Juin à Août, Septembre à Novembre.

📈 Évolution observée au Mans

Hiver

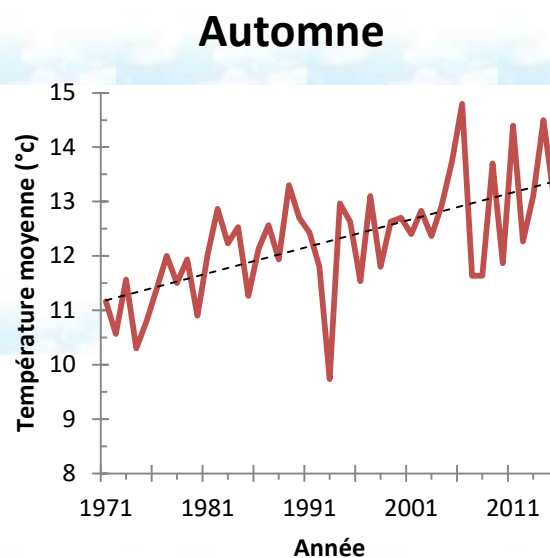
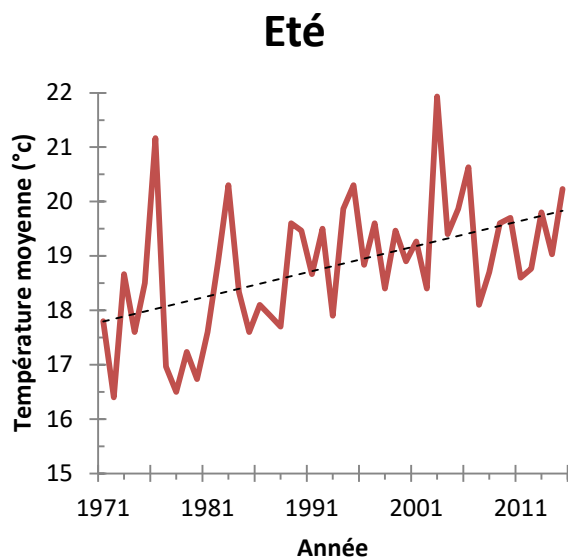


Printemps





Température moyenne saisonnière



Analyse

L'évolution de la température moyenne saisonnière observée au Mans depuis 1971 montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :
 - +0,21 °C par décennie en hiver (NS);**
 - +0,55 °C par décennie au printemps (P<0,001) soit +0,94 °C en 44 ans;**
 - +0,46 °C par décennie en été (P<0,001) soit +1,55 °C en 44 ans;**
 - +0,50 °C par décennie en automne (P<0,001) soit +1,94 °C en 44 ans;**
- l'augmentation des températures est significative sur les saisons printanières, estivales et automnales;
- les variations de température d'une année à l'autre (variabilité dite inter annuelle) sont fortes ($R^2 < 0,5$).

L'analyse des températures moyennes saisonnières de St Nazaire-Montoir, Angers-Beaucouzé et La Roche sur Yon montre des résultats similaires à ceux du Mans, avec des significativités plus faibles. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (cf. Tableau II).



Température moyenne saisonnière

	Saint Nazaire-Montoir	La Roche sur Yon	Angers-Beaucouzé	Le Mans	°c/décennie
Hiver	+ 0,23 (NS)	+ 0,27 (NS)	+ 0,31 (NS)	+ 0,21 (NS)	
Printemps	+ 0,40 (P<0,001)	+ 0,35 (P<0,05)	+ 0,44 (P<0,001)	+ 0,55 (P<0,001)	
Été	+ 0,23 (P<0,05)	+ 0,27 (NS)	+ 0,31 (P<0,05)	+ 0,46 (P<0,001)	
Automne	+ 0,39 (P<0,001)	+ 0,36 (P<0,1)	+ 0,44 (P<0,001)	+ 0,50 (P<0,001)	

Tableau II : Evolution des températures moyennes saisonnières sur les 4 stations étudiées

Les résultats des observations saisonnières des 4 stations montrent que l'augmentation de la température moyenne annuelle (cf. fiche "Température moyenne annuelle") n'est pas homogène sur les quatre saisons. En hiver, il n'y a pas d'évolution significative de la température moyenne. L'élévation de la température est répartie principalement sur les saisons printanières et automnales, et plus modérément sur la saison estivale. La Roche sur Yon, au contraire des autres stations, ne voit pas d'évolution significative de sa température moyenne estivale. En France métropolitaine, l'augmentation de la température moyenne depuis 1959 est répartie sur les saisons printanières et estivales, de manière semblable (entre + 0,22 et + 0,58°C/déc.). Les saisons hivernales et automnales n'ont pas montré d'évolution significative sur un grand nombre de stations étudiées par Météo France (Gibelin *et al.*, 2014).

Le gradient d'Ouest en Est de l'augmentation des températures moyennes est visible pour les saisons printemps, été et automne. Ce gradient de l'Ouest vers l'Est est semblable à celui de l'augmentation de la température moyenne annuelle dans la région Pays de la Loire.

Pour aller plus loin : L'analyse des températures moyennes ne permet pas de rendre compte des variabilités interannuelles des températures. Cet indicateur ne renseigne pas sur l'évolution fréquentielle des aléas climatiques (canicules, gels tardifs, épisode de températures nocturnes élevées, ...).



Température moyenne saisonnière

A RETENIR

L'analyse des séries de mesures dans la région pays de la Loire montre que la température moyenne saisonnière est en augmentation sur les saisons printanières, estivales et automnales.

Les différentes séries de données disponibles en Pays-de-la-Loire mettent en évidence une évolution des températures moyennes hivernales, printanières et estivales cohérentes avec l'évolution observée sur le Grand Ouest et en France. Au contraire les tendances automnales des quatre stations de la région Pays de la Loire ne suivent pas les mêmes évolutions que dans le reste de la France.

Le réchauffement est cependant plus marqué dans l'Est de notre région en raison de son caractère plus continental. Depuis le début des années 80, le réchauffement s'est accentué, avec une augmentation supérieure à 0,3 °C par décennie.



Pour en savoir plus

DUBREUIL V., PLANCHON O., LAMY C., BONNARDOT V., QUÉNOL H. ; 2012. Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30.

GIBELIN A. L., DUBUISSON B., CORRE L. D., JOURDAIN S., LAVAL L., PIQUEMAL J. M., MESTRE O., DENNETIERE D., DESMITT S., TAMBURINI A. ; 2014. Evolution de la température en France depuis les années 1950. *Climatologie* (87), pp. 45-53.



Nombre de jours estivaux par an

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

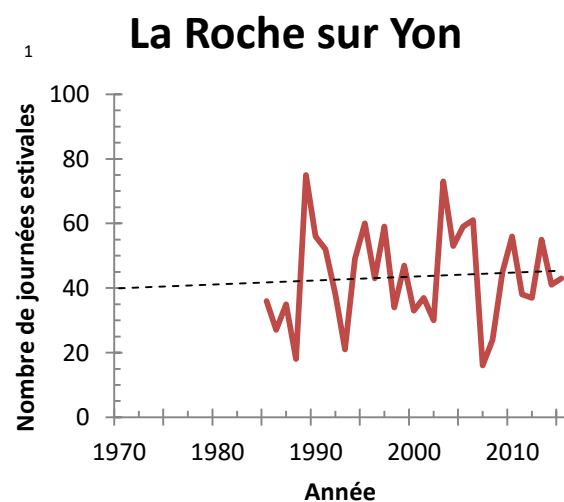
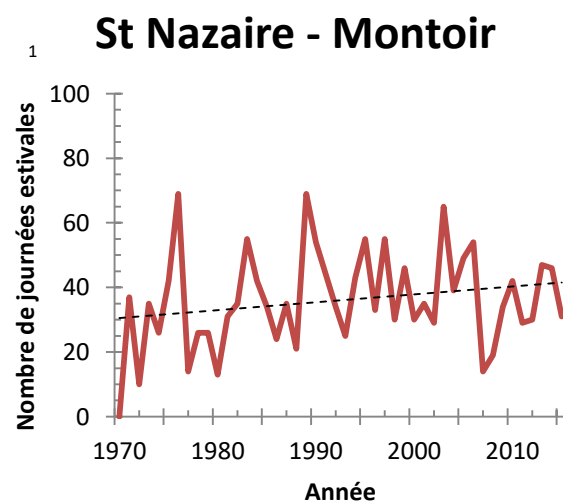
Indicateurs

Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

Calcul de l'indicateur

Dénombrement, entre le 1er janvier et le 31 décembre de chaque année, des jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25 °C.

Évolution observée



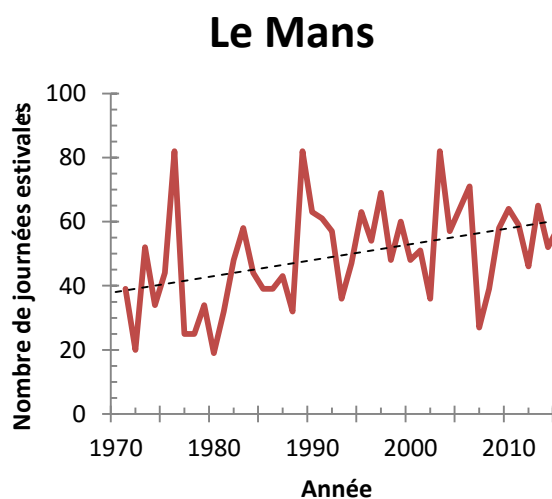
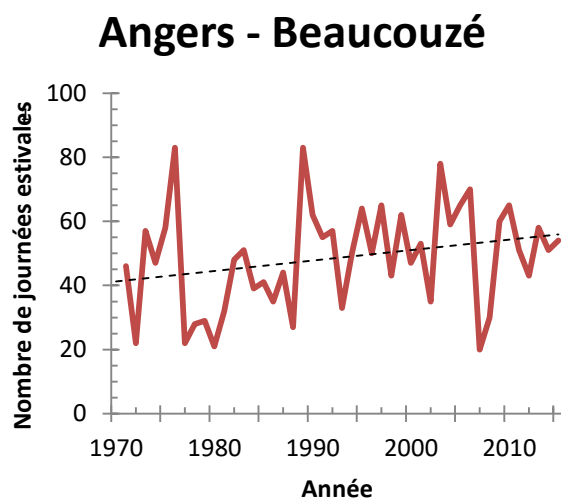
¹ Journées estivales = T°C maximale journalière ≥ 25 °C

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Nombre de jours estivaux par an



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Analyse

¹ Journées estivales = T°C maximale journalière ≥ 25 °C

L'évolution du nombre de jours estivaux en Pays de la Loire depuis 1971 (ou 1985) pour chaque station d'étude montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période (1971-2015 / 1985-2015 suivant les stations) sont de :
 - + 1,7 j par décennie à St Nazaire-Montoir (NS) ;
 - + 1,2 j par décennie à La Roche sur Yon (NS) ;
 - + 3,3 j par décennie à Angers-Beaucouzé ($P < 0,1$) soit + 14 jours en 44 ans ;
 - + 5,0 j par décennie au Mans ($P < 0,01$) soit + 22 jours en 44 ans ;
- les stations du Mans et d'Angers-Beaucouzé montrent une tendance significativement à la hausse. En 44 ans le nombre de journées estivales a été multiplié par 1,5 au Mans. Il apparaît que cette augmentation du nombre de jours estivaux s'accroît d'Ouest en Est ;
- la variabilité inter annuelle pour le paramètre "nombre annuel de jours estivaux" est supérieure à l'écart tendanciel entre le début et la fin de la période d'observation ($R^2 < 0,2$).

Le Mans et Angers – Beaucouzé sont les seules stations marquées d'une tendance significativement en hausse d'un point de vue statistique. Les deux autres stations ne présentent pas d'évolution significative.



Nombre de jours estivaux par an

Ces évolutions sont cohérentes avec le gradient de l'augmentation des températures moyennes annuelles (cf. fiche "Température moyenne annuelle"). La forte augmentation au Mans peut s'expliquer par l'influence continentale plus marquée de par son climat océanique dégradé (Joly *et al.*, 2010) (cf. Tableau I). Cette hausse du nombre de jours chauds devrait se poursuivre au cours du XXI^{ème} siècle au sein de la région Pays de la Loire (Dubreuil *et al.*, 2012).

Pour l'agriculture régionale, cette augmentation des jours estivaux renvoie à plusieurs types de conséquences, sous réserve de vérifier comment a évolué la distribution intra annuelle de ces jours estivaux :

- au printemps les jours d'échaudage thermique deviennent de plus en plus nombreux (Brisson & Levraut., 2010), mais leur impact réel sur les cultures (céréales à paille en particulier) dépend également de l'avancement des calendriers culturels (esquive) liés à l'augmentation de la température ;
- du printemps à l'automne, des températures élevées entraînent un accroissement du nombre de jours entraînant un arrêt de la croissance des espèces prairiales (Pierre *et al.*, 2012);
- à l'automne, l'augmentation du nombre de jours chauds affecte la viticulture. Lors des vendanges une température élevée des raisins peut favoriser une fermentation non désirée une fois le raisin en cuve ;
- le nombre de jours par an à forte évapotranspiration s'accroît en raison de la relation étroite entre température et évapotranspiration potentielle ;
- en élevage, 25°C correspond à un seuil au-delà de laquelle la réduction de l'ingestion est significative chez la truie avec une élévation des besoins en eau (pour maintenir l'homéothermie) (Renaudeau *et al.*, 2004). Ce réflexe se déclenche aussi chez les ruminants. Si cet état se prolonge, la quantité de lait produit est impactée (Morand-Fehr *et al.*, 2001).

Pour aller plus loin : Les résultats obtenus ne permettent pas de connaître la répartition au sein de l'année des augmentations observées. Pour cela, il faudrait examiner mois par mois l'évolution du nombre de jours estivaux afin de préciser comment la distribution intra annuelle des épisodes chauds s'est modifiée.



Nombre de jours estivaux par an

A RETENIR

Le nombre de jours estivaux par an a nettement augmenté en Pays de la Loire au cours des 44 dernières années avec jusqu'à 5 jours par décennie au Mans (+50%) et 3 jours par décennie à Angers-Beaucouzé (+20%) sur la période. Il semblerait qu'il y ait un gradient d'Ouest en Est concordant avec l'augmentation des températures et les différents climats partageant la région.

Les incidences de ces jours estivaux sur l'agriculture régionale sont multiples, mais nécessitent un examen détaillé de la répartition intra annuelle des augmentations observées.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. (2012) : Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, *Presses Universitaires de Rennes*, chap. 4, 57-72.

JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVAILHES J., HILAL M. et WAVRESKY P. ; 2010. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne]. Disponible sur <http://cybergeo.revues.org/23155>. Consulté le 21 juillet 2015.

MORAND-FEHR P., DOREAU M. ; 2001. Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur. *INRA Prod. Anim.*, 14, 15-27.

OUZEAU G. et al, 2015 – Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2015 pour la métropole et les régions d'outre-mer. MEDE, 62 p.

PIERRE P., GUIBERT S., LEMOINE A., BULOT N., BLIN B., BRETON D., DELAGARDE R., COUTARD J-P., GAYET J-L., BERNARD C. ; 2012. Référentiel de production des prairies en Pays de la Loire. *Chambres d'agriculture Pays de la Loire* ; Edition novembre 2012.

RENAUDEAU D., MANDONNET N., TIXIER-BOICHARD M., NOBLET J., BIDANEL J-P. ; 2004. Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : voie génétique. *INRA Prod. Anim.*, 17, 93-108.



Nombre de jours de gel par an

🔑 Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

🕒 Indicateurs

Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Dénombrement, entre le 1er janvier et le 31 décembre de chaque année, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

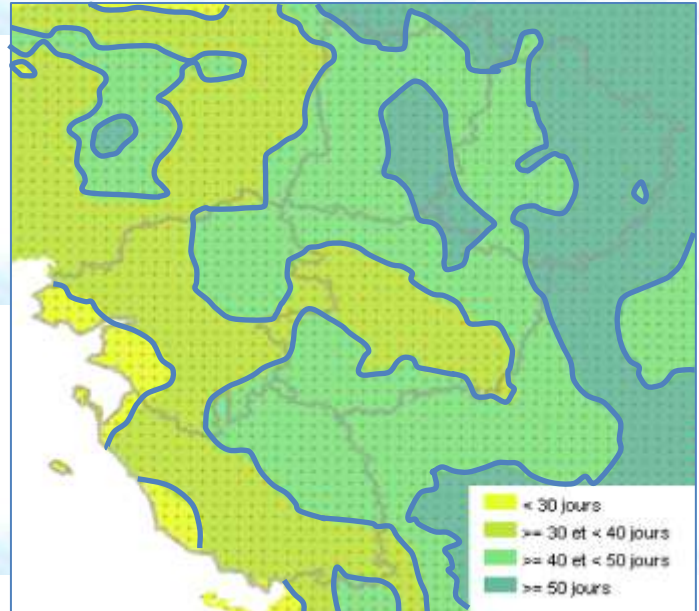
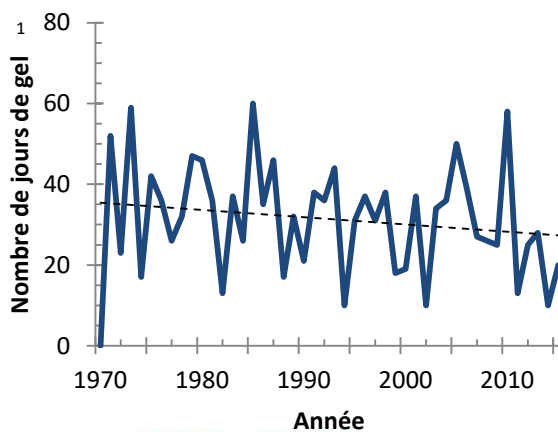


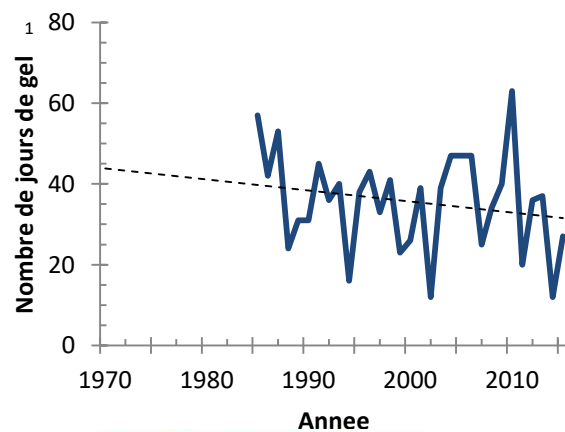
Figure 3: Nombre moyen annuel de jours de gel sur les Pays-de-la-Loire - Période 1981-2010 (SIGLOIRE)

📈 Évolution observée

St Nazaire - Montoir



La Roche sur Yon



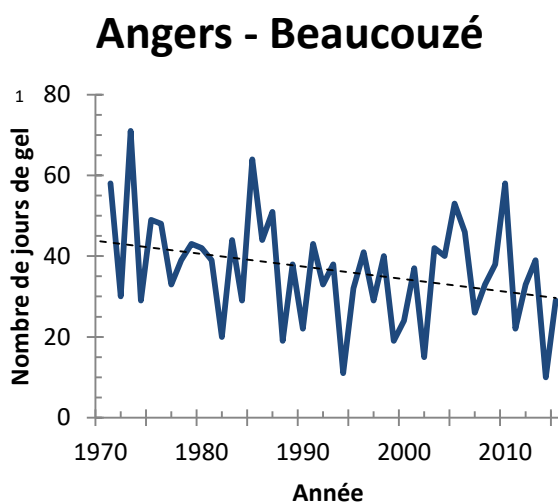
¹ Jour de gel = T°C minimale journalière ≤ 0°C

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

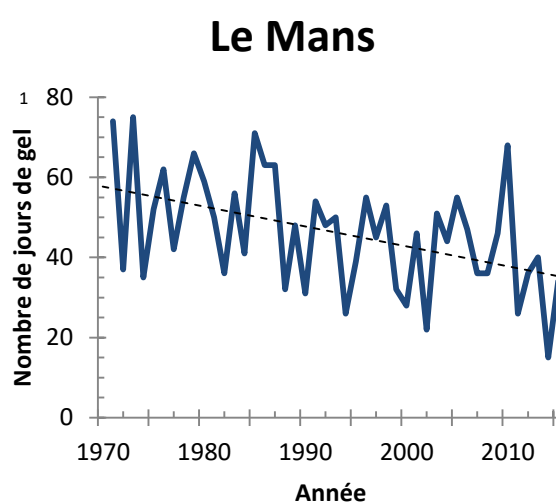


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Nombre de jours de gel par an



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Analyse

¹ Jour de gel = T°C minimale journalière ≤ 0°C

L'évolution du nombre de jours de gel en Pays de la Loire depuis 1971 (ou 1985) pour chaque station d'étude montre que:

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période (1971-2015 / 1985-2015 suivant les stations) sont de :
 - **2,9 j par décennie à St Nazaire-Montoir** ($P < 0,1$) soit -13 j en 44 ans ;
 - **2,7 j par décennie à La Roche sur Yon** (NS) ;
 - **3,0 j par décennie à Angers-Beaucouzé** ($P < 0,05$) soit -14 j en 44 ans ;
 - **5,0 j par décennie au Mans** ($P < 0,01$) soit -22 j en 44 ans ;
- les stations du Mans, d'Angers-Beaucouzé et de St Nazaire-Montoir montrent une tendance significativement en baisse de ces jours de gel. On ne peut pas conclure sur les tendances de La Roche sur Yon. Il apparaît que la réduction du nombre de jours de gel est croissante d'Ouest en Est ;
- la variabilité inter annuelle du nombre annuel de jours de gel est forte ($R^2 < 0,3$).

La diminution observée dans la majorité des villes étudiées est cohérente avec l'augmentation des températures moyennes annuelles mais pas avec la stagnation des températures moyennes hivernales (cf. fiches "Température moyenne annuelle" et "Température moyenne saisonnière »).



Nombre de jours de gel par an

Les normales 1981-2010 montrent que le nombre de jours de gel est plus intense à l'Est qu'à l'Ouest (cf. Figure 3). La diminution la plus importante du nombre de jours de gel se situe également dans l'Est (-5 jr/déc. au Mans). A l'Ouest où les jours de gel sont les moins nombreux, leur tendance à la diminution n'est pas significative (St Nazaire-Montoir et la Roche sur Yon). La diminution du nombre de jours de gel semble plus importante dans les territoires qui ont le plus grand nombre de jours de gel par année sur la période 1981 – 2010, et inversement. Au vu des résultats, la diminution du nombre de jours de gel prévu par Brisson et Levraut (2010) sera plus accentuée à l'Est qu'à l'Ouest.

Au vu de la stagnation des températures moyennes hivernales (cf. fiche « Température moyenne saisonnière »), on peut émettre l'hypothèse que la réduction du nombre de jours de gel n'est pas due à une diminution du nombre de jours de gel en hiver. La réduction du nombre annuel de jours de gel peut être due à une réduction des jours de gel au printemps et en automne. Cette hypothèse est appuyée par les simulations climatiques du projet CLIMATOR (Brisson & Levraut, 2010) mais elle nécessite une analyse des jours de gel par saison ou par mois pour être validée.

Pour l'agriculture régionale, la diminution du nombre annuel de jours de gel a des répercussions sur de multiples processus de la production végétale : par exemple la durée de la levée de dormance, la durée et la qualité de la floraison sont fortement liées aux températures minimales chez les espèces fruitières (Mathieu, 2013). D'autres facteurs sont aussi dépendants du froid : la qualité de la pré-floraison chez le tournesol, le développement végétatif automnal chez le colza (TerresInovia, 2015), etc... On sait également que cette baisse de fréquence des épisodes froids a des incidences sur les cycles de reproduction et de croissance de certains parasites, bien que ces effets soient plus difficiles à documenter que les effets directs du froid sur la croissance et le développement des cultures.

Les conséquences de cette diminution du nombre de jours froids sur les productions agricoles régionales doivent être examinées au cas par cas : espèces et stades sensibles concernés, mécanismes d'action du froid sur la production végétale, décalages phénologiques des cultures liés à l'élévation tendancielle de la température (Dubreuil *et al.*, 2012).

Pour aller plus loin : Les graphiques élaborés ne permettent pas de préciser si la réduction du nombre de jours de gel porte sur une période particulière de la saison froide : fin d'automne, hiver, ou début de printemps. Pour identifier cette période de réduction, il faudrait dénombrer les jours de gel par saison, voire mois par mois. Cette méthode ne permet également pas de mesurer l'intensité du gel. Une quantification des températures minimales des gelées permettrait de connaître les périodes les plus à risques pour les floraisons des vignobles et des arbres fruitiers, mais aussi les intérêts pour les couverts gélifs.



Nombre de jours de gel par an

A RETENIR

Au cours des 44 dernières années, le nombre annuel de jours de gel a décru en Pays-de-la-Loire jusqu'à une diminution de 5 jours par décennie au Mans. Un gradient d'Ouest en Est apparaît (plus forte réduction à l'Est), correspondant à l'augmentation des températures et les différents climats partageant la région (Joly *et al.*, 2010).

La variabilité inter annuelle, supérieure à l'évolution tendancielle sur la période d'observation, ainsi que l'avancement phénologique des plantes découlant du réchauffement conditionnent l'interprétation agronomique de cette baisse (risques de gel printanier persistant dans les décennies à venir) (Dubreuil *et al.*, 2012).

Les impacts de cette réduction du nombre de jours froids sur les productions agricoles doivent être étudiés au cas par cas.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012 : Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.

JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVAILHES J., HILAL M. et WAVRESKY P. ; 2010. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne]. Disponible sur <http://cybergeo.revues.org/23155>. Consulté le 21 juillet 2015.

MATHIEU V. ; 2013. La levée de dormance du pommier, essais expérimentaux sur la quantité de froid. *Infos CTIFL*, 291, 44-49.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S., VAUTARD R. ; 2015 – Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2015 pour la métropole et les régions d'outre-mer. MEDE, 62 p.

TERRESINOVIA. Dégâts de neige, gel, grêle sur colza. [en ligne]. Disponible sur <http://www.terresinovia.fr/colza/cultiver-du-colza/accidents-climatiques/neige-gel-grele/>. Consulté le 29 juin 2015.



Cumul annuel des précipitations

🔑 Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

🕒 Indicateurs

Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Cumul sur l'année des précipitations journalières.

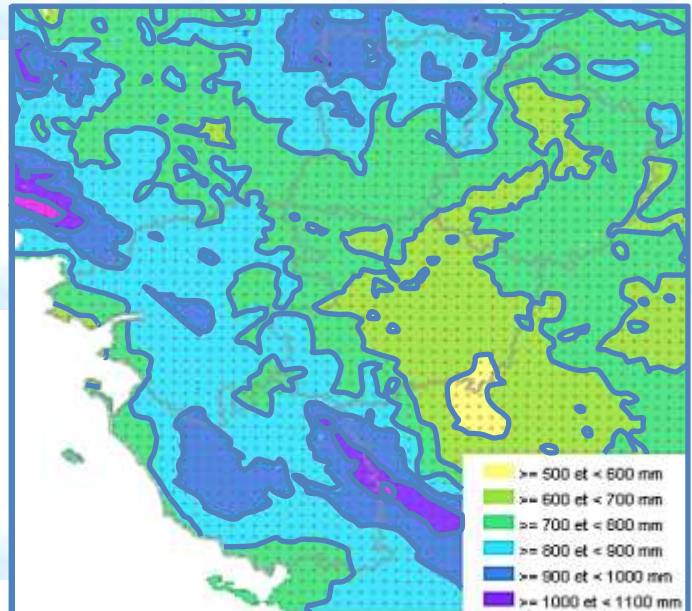
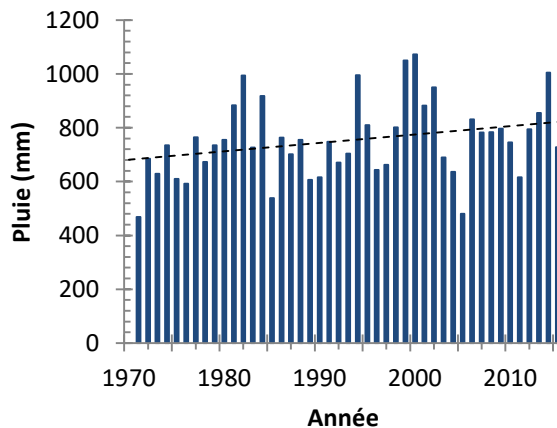


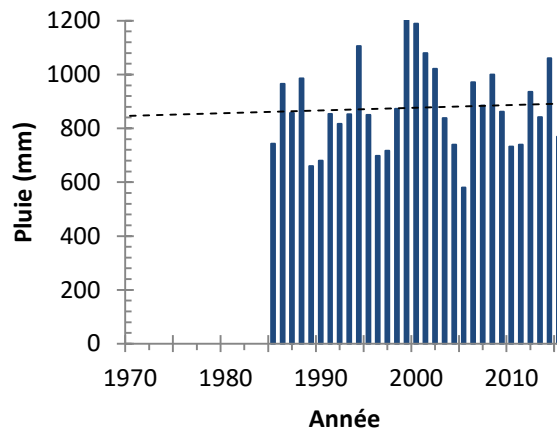
Figure 4: Précipitations moyennes annuelles sur les Pays de la Loire - Période 1981-2010 (SIGLOIRE)

📈 Évolution observée

St Nazaire - Montoir

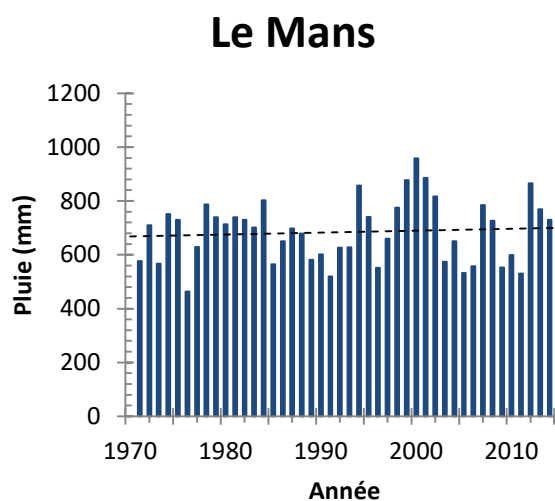
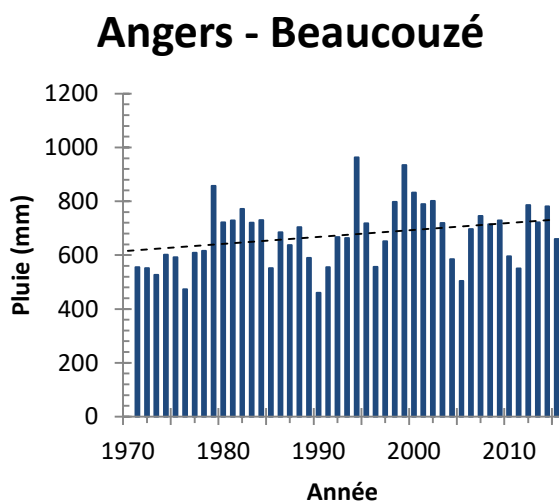


La Roche sur Yon





Cumul annuel des précipitations



Analyse

L'évolution du cumul annuel des précipitations en Pays de la Loire depuis 1971 (ou 1985) pour chaque station d'étude montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période (1971-2015 / 1985-2015 suivant les stations) sont de:
 - +31 mm par décennie à St Nazaire-Montoir** ($P < 0,1$) soit +137 mm en 44 ans ;
 - +10 mm par décennie à La Roche sur Yon** (NS);
 - +26 mm par décennie à Angers-Beaucouzé** ($P < 0,05$) soit +113 mm en 44 ans ;
 - +7 mm par décennie au Mans** (NS);
- les tendances observées pour le cumul annuel des précipitations sont en augmentation significative pour St Nazaire-Montoir et Angers-Beaucouzé, et non significative au Mans et à La Roche sur Yon ;
- de très fortes variations de précipitations d'une année à l'autre sont présentes ($R^2 < 0,1$). Cette variabilité inter annuelle est expliquée par des disparités saisonnières et mensuelles (Dubreuil *et al.*, 2012), et elle est supérieure à la variation tendancielle sur la période d'étude.



Cumul annuel des précipitations

Au cours des 44 dernières années, on observe en Pays-de-la-Loire une tendance plus ou moins nette à l'augmentation des précipitations annuelles. Cependant, les tendances observées dépendent fortement de la période sur laquelle elles sont calculées en raison de fortes variations inter décennales. Sur des périodes plus longues (1958-2012 / 1901-2000), aucune tendance significative n'est visible sur la façade atlantique. Cette absence de signal clair se retrouve sur en France sur les latitudes intermédiaires (baisse au sud et hausse au nord) (Dubreuil *et al.*, 2012). Compte tenu des normales (cf. Figure 4) et de nos résultats, on observe une influence du climat océanique sur les précipitations de la région, plus accentuées à l'Ouest.

De plus, les évolutions attendues d'ici à la fin du XXIème siècle dépendent fortement du modèle et du scénario retenus de telle sorte que l'évolution des précipitations est plus complexe à anticiper que celle des températures.

Pour aller plus loin : L'étude des cumuls des précipitations saisonnières permettrait de vérifier si la stagnation des précipitations annuelles ne masquerait pas des modifications saisonnières.

A RETENIR

En région Pays de la Loire, le cumul annuel des précipitations montre une légère tendance à l'augmentation des pluies. Ce signal est cependant faiblement établi et très dépendant de la période d'observation.

En outre, le fait de considérer des moyennes annuelles peut masquer des tendances différentes pour chacune des saisons, d'où l'importance d'étudier également l'évolution des précipitations saisonnières.



Pour en savoir plus

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012. Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.

DUBREUIL, V., PLANCHON, O., LAMY, C., BONNARDOT, V., QUÉNOL, H. ; 2012. Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S., VAUTARD R. ; 2015. Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2015 pour la métropole et les régions d'outre-mer. MEDE, 62 p.



Cumul saisonnier des précipitations

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

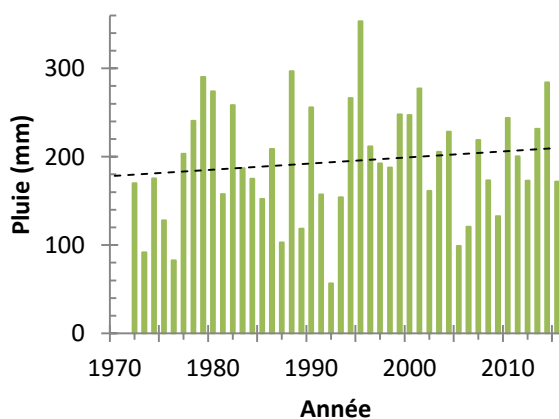
Angers-Beaucouzé: 1971 à 2015
(Saint Nazaire-Montoir, Le Mans : 1971 à 2015 ; La Roche sur Yon : 1985 à 2015 ; cf. Tableau III)

Calcul de l'indicateur

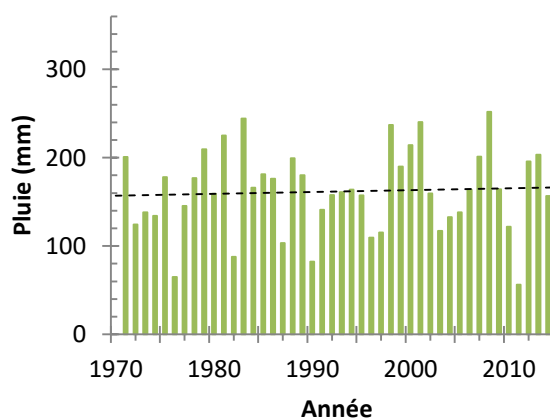
Cumul sur 3 mois des précipitations journalières : Décembre à février, Mars à Mai, Juin à A
Septembre à Novembre.

Évolution observée à Angers – Beaucouzé

Hiver



Printemps



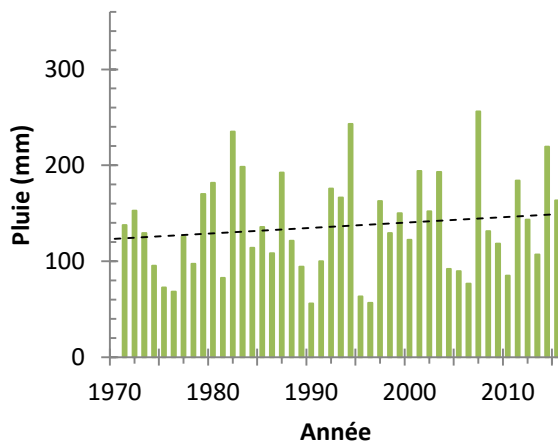
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

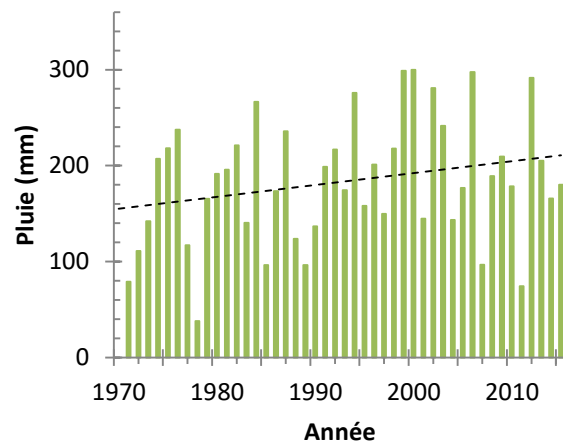
Cumul saisonnier des précipitations

Eté



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Automne



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Analyse

L'évolution du cumul saisonnier des précipitations à Angers – Beaucouzé depuis 1971 montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1971-2015) sont de :
-0 mm par décennie en hiver (NS);
+2 mm par décennie au printemps (NS);
+6 mm par décennie en été (NS);
+12 mm par décennie en automne (P<0,1) soit +54 mm en 44 ans ;
- l'accroissement des précipitations n'est pas significatif, sauf sur la saison automnale ;
- les variations inter annuelles des précipitations au cours des saisons sont fortes ($R^2 < 0,1$).

Une analyse statistique pour les stations d'Angers-Beaucouzé, Le Mans et La Roche sur Yon ne conduit à aucun résultat significatif. Les résultats sont représentés dans le tableau III.

	Saint Nazaire-Montoir	La Roche sur Yon	Angers-Beaucouzé	Le Mans	mm/décennie
Hiver	+12 (NS)	-1 (NS)	-0 (NS)	+2 (NS)	
Printemps	+3 (NS)	+2 (NS)	+2 (NS)	-1 (NS)	
Eté	+3 (NS)	+12 (NS)	+6 (NS)	+6 (NS)	
Automne	+14 (NS)	+0 (NS)	+12 (P<0,1)	+4 (NS)	

Tableau III : Cumul saisonnier des précipitations sur les 4 stations étudiées



Cumul saisonnier des précipitations

Les observations saisonnières affinent l'interprétation de la tendance annuelle non significative des cumuls de précipitations (cf. fiche "Cumul annuel des précipitations"). On remarque qu'aucune tendance saisonnière n'est significative, à part la saison automnale Angevine qui montre une légère augmentation des précipitations (+12 mm/décennie). Il semblerait cependant qu'en France métropolitaine, seule la saison hivernale (Décembre-Janvier-Février) soit marquée par l'augmentation des pluies. Mais cette augmentation n'est significative que sur un tiers des stations françaises. La variabilité inter annuelle empêche le discernement d'une tendance nette de l'évolution des précipitations saisonnières (Moisselin *et al.*, 2002).

Une fois encore, l'avenir des précipitations saisonnières est dépendant du modèle et du scénario utilisé. Par exemple, l'étude menée à Rennes dans le projet CLIMATOR indique pour la seconde moitié du XXIème siècle une baisse envisageable des précipitations printanières et estivales. Dans ce cas, les besoins en irrigation des cultures de printemps s'en trouveraient accrus (Brisson & Levrault., 2010).

Pour aller plus loin : Il s'agit ici de cumuls trimestriels de précipitations, qui par conséquent ne décrivent en rien les "modalités" précises de ces précipitations (nombre d'épisodes pluvieux, pluies intenses, nombre de jours consécutifs sans pluie, etc.). Il serait intéressant d'analyser ces modalités.

A RETENIR

Entre 1971 et 2015, aucune saison ne montre de tendance significative à l'augmentation des précipitations. La seule augmentation se situe en automne à Angers – Beaucauzé avec +12 mm par décennie. L'été ne montre pas d'évolution marquée des précipitations.

Les évolutions attendues (modélisations) décrivent majoritairement des baisses des précipitations printanières et estivales. Mais ces évolutions doivent être interprétées avec prudence.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010)*. ADEME.

DUBREUIL V., PLANCHON O., LAMY C., BONNARDOT V., QUÉNOL H. ; 2012. *Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances*. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: *Changement climatique dans l'Ouest*, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30.

MOISSELIN J-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O. ; 2002. Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations, *La Météorologie*, n°38, 45-57.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S., VAUTARD R. ; 2015 – *Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2015 pour la métropole et les régions d'outre-mer*. MEDE, 62 p.



Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

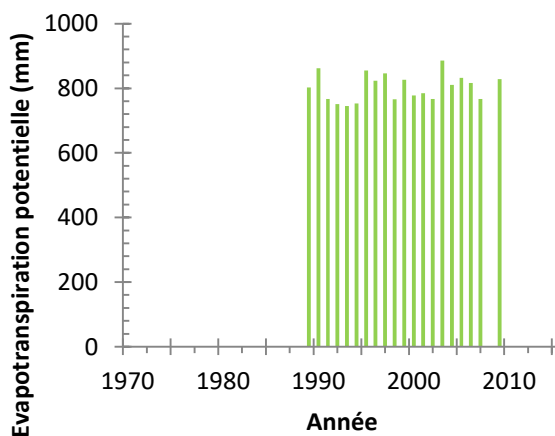
Saint Nazaire-Montoir : 1989 à 2009
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

Calcul de l'indicateur

Cumul sur l'année des évapotranspirations potentielles.

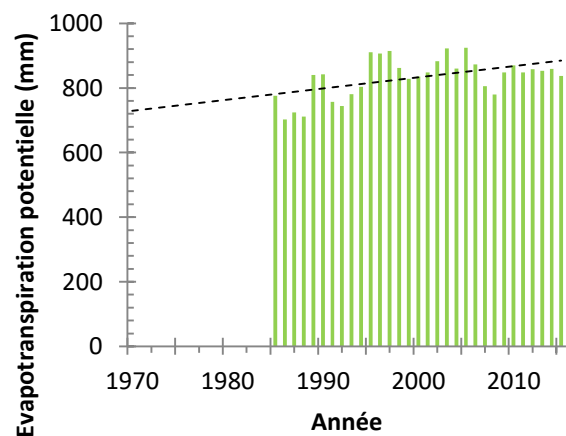
Évolution observée

St Nazaire - Montoir



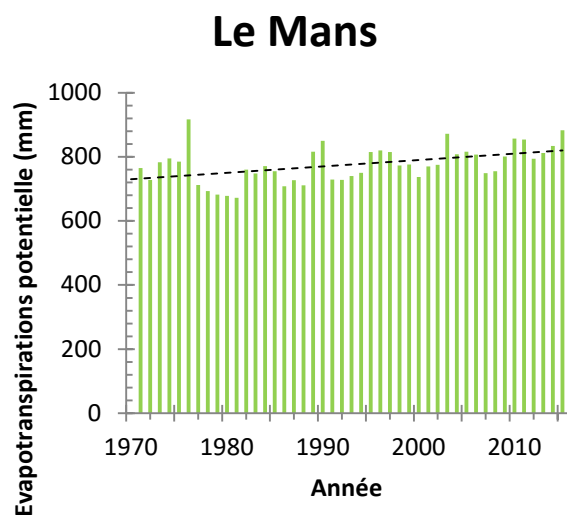
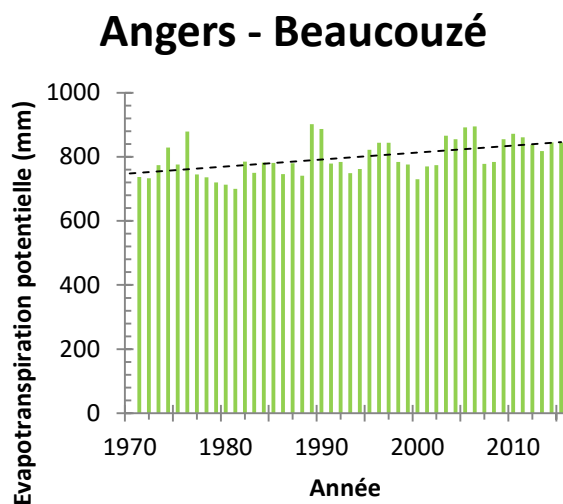
Les analyses de l'ETP et du DH n'ont pas été faites à St Nazaire-Montoir, du fait de sa courte durée d'observation.

La Roche sur Yon





Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)



Analyse

L'évolution du cumul annuel des évapotranspirations potentielles en Pays de la Loire depuis 1971 (1985) pour les stations de la Roche sur Yon, Angers-Beaucouzé et du Mans montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur les périodes d'étude (1971-2015 / 1985-2015) sont de :
 - + 35 mm par décennie à La Roche sur Yon** ($P < 0,01$) soit +152 mm en 30 ans ;
 - + 22 mm par décennie à Angers-Beaucouzé** ($P < 0,01$) soit +96 mm en 44 ans ;
 - + 20 mm par décennie au Mans** ($P < 0,01$) soit +88 mm en 44 ans ;
- l'accroissement de l'évapotranspiration potentielle annuelle est significatif à la Roche sur Yon, au Mans et à Angers-Beaucouzé ;
- de fortes variations d'évapotranspiration d'une année sur l'autre sont présentes ($R^2 < 0,3$). Cette variabilité inter annuelle est expliquée notamment par des conditions variées de température et de rayonnement.

L'ETP est une valeur de référence qui représente la demande climatique. Elle est définie comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal bas, continu et homogène dont l'alimentation en eau n'est pas limitante et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique (ex : un gazon tondu razi).



Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP est calculée à partir des seules données climatiques à savoir le vent, l'humidité de l'air, la température et le rayonnement. Elle caractérise une demande évaporative de l'atmosphère mais ne donne pas de réponse quant aux besoins réels des plantes. L'accroissement de l'évapotranspiration est en lien étroit avec l'augmentation des températures (cf. fiche "Température moyenne annuelle").

Les résultats du projet CLIMATOR indiquent une augmentation sensible de l'ETP à Rennes dans les prochaines décennies (Brisson & Levrault, 2010).

L'augmentation des évapotranspirations potentielles mise ici en évidence au seul pas de temps annuel ne nous renseigne pas sur la répartition au sein de l'année de cette augmentation (cf. fiche « Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle»). Cependant, l'augmentation des températures étant observée sur trois saisons, on peut présumer une augmentation de l'ETP sur ces trois saisons.

Pour aller plus loin : la caractérisation de l'état hydrique réel des cultures sur cette période d'étude nécessiterait le calcul de l'évapotranspiration réelle¹ des plantes durant les cycles culturaux.

¹ ETR : Evapotranspiration réelle (=quantité d'eau perdue par un couvert végétal installé sur un sol sur lequel l'eau peut être limitante)

A RETENIR

Entre 1971 et 2015, l'évapotranspiration potentielle annuelle a augmenté de 35 mm pour la station de La Roche sur Yon et d'une vingtaine de millimètres par décennie dans les deux stations d'Angers-Beaucouzé et du Mans.

Cet accroissement de l'évapotranspiration découle de l'augmentation des températures. Il devrait par conséquent se poursuivre au cours des prochaines décennies.

Cette augmentation de l'évapotranspiration potentielle annuelle, associée à une stagnation de la pluviométrie peut être interprétée comme un durcissement des conditions hydriques.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S., VAUTARD R. ; 2015. Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2015 pour la métropole et les régions d'outre-mer. MEDE, 62 p.



Cumul saisonnier de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

🔑 Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

🕒 Indicateurs

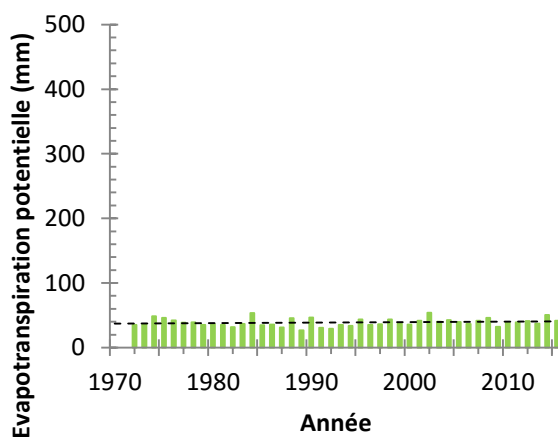
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
(Le Mans : 1971 à 2015 ; La Roche sur Yon : 1985 à 2015 ; cf. Tableau IV)

📊 Calcul de l'indicateur

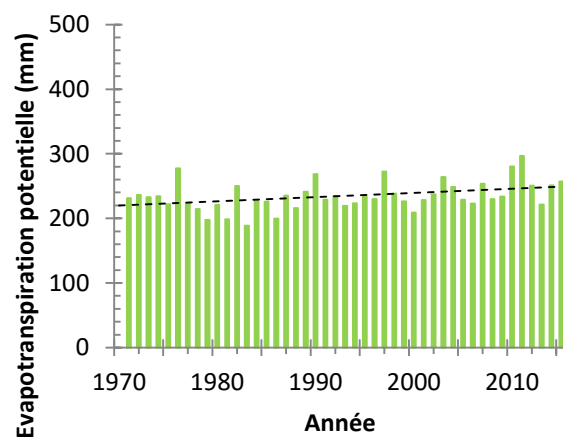
Cumul sur 3 mois des évapotranspirations journalières : Décembre à février, Mars à Mai, Juin à Août, Septembre à Novembre.

📈 Évolution observée au Mans

Hiver

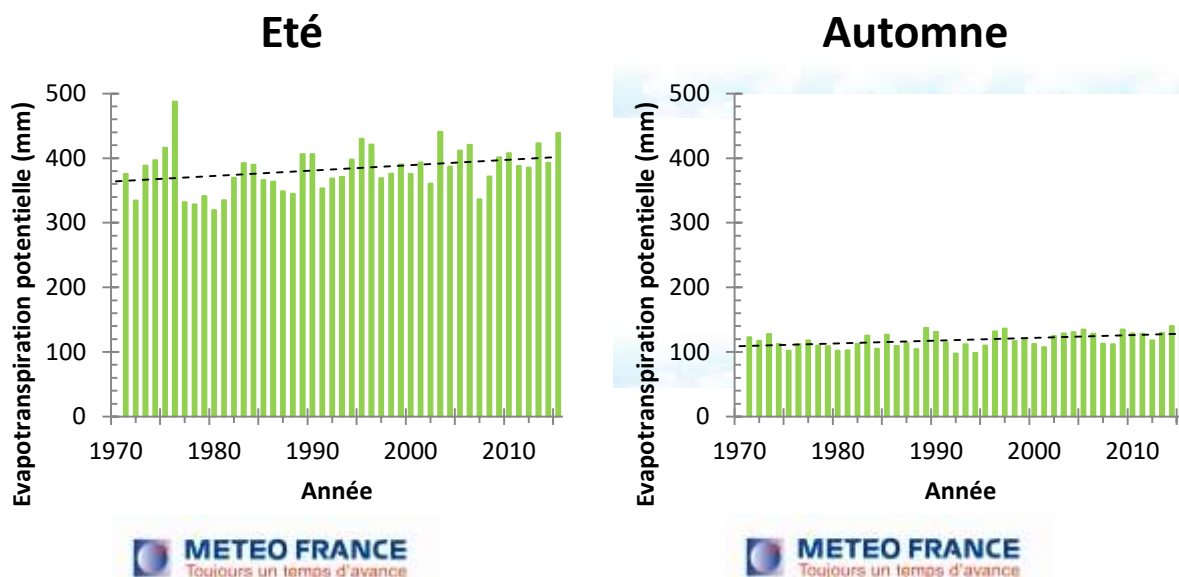


Printemps





Cumul saisonnier de l'évapotranspiration potentielle (ETP)



Analyse

L'évolution du Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle pour la station du Mans depuis 1971 montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1971-2014) sont de :
+4 mm par décennie en hiver ($P < 0,1$) soit +19 mm en 44 ans ;
+6 mm par décennie au printemps ($P < 0,05$) soit +28 mm en 44 ans ;
+8 mm par décennie en été ($P < 0,05$) soit +37 mm en 44 ans ;
+4 mm par décennie en automne ($P < 0,01$) soit +19 mm en 44 ans ;
- toutes les saisons montrent une tendance significative à la hausse mais cette augmentation est plus marquée au printemps et en été ;
- de fortes variations des évapotranspirations potentielles d'une année à l'autre sont présentes ($R^2 < 0,3$).

Une analyse des stations d'Angers-Beaucouzé et de la Roche sur Yon conduit aux mêmes résultats de hausse de l'ETP (cf. Tableau IV).



Cumul saisonnier de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

	Roche sur Yon	Angers-Beaucouzé	Le Mans	
Hiver	+9 (P<0,01)	+0 (P<0,1)	+4 (P<0,1)	mm/décennie
Printemps	+12 (P<0,01)	+7 (P<0,01)	+6 (P<0,05)	
Eté	+9	+8 (P<0,05)	+8 (P<0,05)	
Automne	+6 (P<0,05)	+4 (P<0,01)	+4 (P<0,01)	

Tableau IV : Evolution des cumuls saisonniers de l'ETP sur les 3 stations étudiées

La tendance à l'augmentation annuel de l'ETP à Angers-Beaucouzé et au Mans (cf. fiche "Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle ") s'explique par l'élévation des valeurs de l'ETP sur toutes les saisons. Cependant les augmentations sont légèrement plus marquées en été et au printemps. Mise en parallèle avec une relative stabilité des précipitations, cette augmentation de l'évapotranspiration implique donc un durcissement des conditions hydriques du printemps et à l'été.

Les tendances à La Roche sur Yon sont différentes. L'été ne montre pas de tendance significative et les principales augmentations se situent en hiver et au printemps.

L'ETP hivernale est en augmentation bien que la température moyenne n'ait évolué sur cette saison (cf. fiche « Température moyenne saisonnière »). Cela montre l'évolution d'un autre facteur influençant l'ETP.

¹ : Gaz à effet de serre

A RETENIR

Entre 1971 et 2015 une augmentation des ETP est observée sur toutes les saisons, avec l'été et le printemps qui affichent les hausses les plus marquées dans les stations d'Angers-Beaucouzé et du Mans et une hausse plus marquée au printemps pour La Roche sur Yon. Du fait de la relative stabilité des précipitations, cela implique un durcissement des conditions hydriques printanières et estivales.



Pour en savoir plus

BECK E. G. ; 2007. 180 Years of atmospheric CO2 gas analysis by chemical methods. *Energy and Environment*, 18(2), pp. 259-282.

GIEC. ; 2008. Le changement climatique et l'eau. Genève: Secrétariat du GIEC, 236p.



Déficit hydrique climatique saisonnier (Pluies-ETP)

Nature et source des données

Données fournies par Météo France

Indicateurs

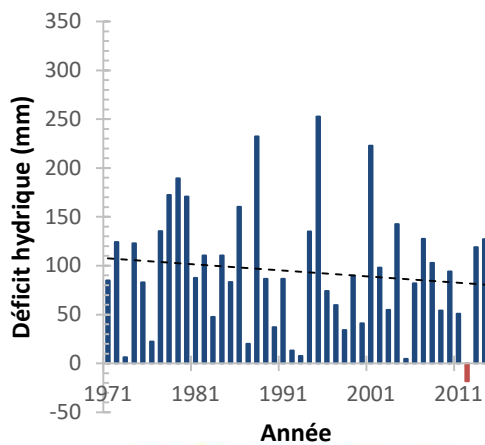
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
(Le Mans : 1971 à 2015 ; La Roche sur Yon : 1985 à 2015 ; cf. Tableau V)

Calcul de l'indicateur

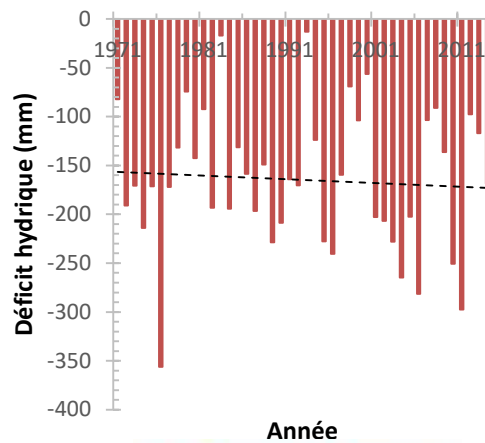
Calcul sur 3 mois des déficits hydriques climatiques : Décembre à février, Mars à Mai, Juin à Août, Septembre à Novembre.

Évolution observée à Angers-Beaucouzé

Hiver

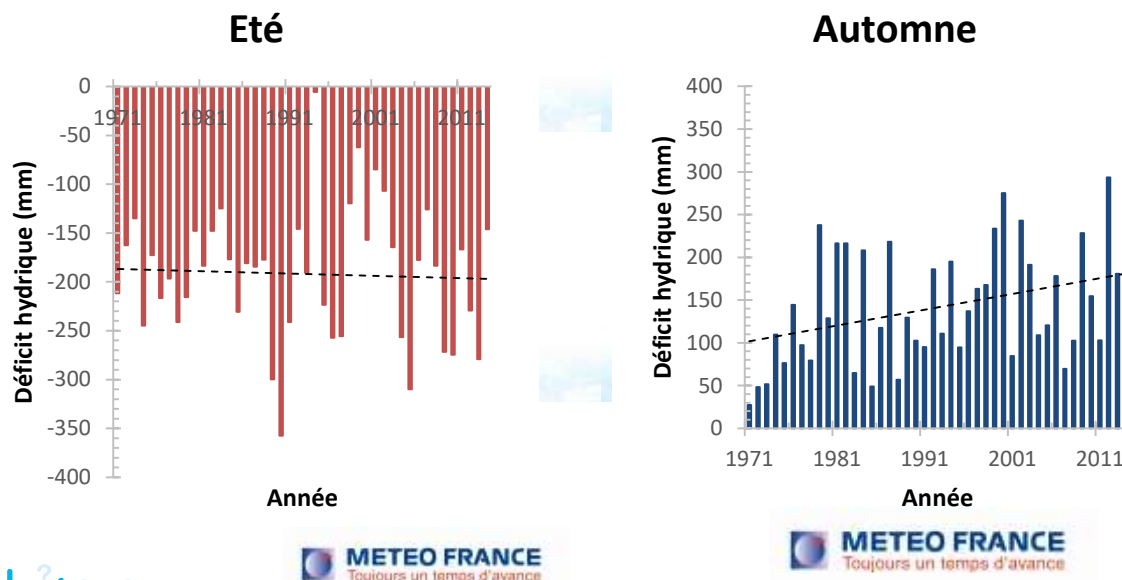


Printemps





Déficit hydrique climatique saisonnier (Pluies-ETP)



Analyse

L'évolution des déficits hydriques climatiques (DH) saisonniers pour la station de Angers-Beaucouzé depuis 1971 montre que :

- les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1971-2014) sont de :
 - 6 mm par décennie en hiver (NS) ;
 - 4 mm par décennie au printemps (NS) ;
 - 2 mm par décennie en été (NS) ;
 - +18 mm par décennie en automne (NS) ;
- aucune série de mesures ne montre de tendance significative ;
- de fortes variations des déficits hydriques d'une année à l'autre sont présentes ($R^2 < 0,1$).

La transpiration est le moteur du transport de l'eau dans les végétaux. Si l'évapotranspiration de la plante est supérieure à la ressource en eau au niveau des racines, alors la plante est en manque d'eau. Le Déficit Hydrique (DH) est une valeur qui représente le bilan hydrique de la plante via les précipitations minorées de l'évapotranspiration. C'est une valeur de référence car elle est calculée à partir de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et non pas réelle. Cette valeur ne retranscrit que les conditions hydriques atmosphériques et ne tient pas compte des spécificités édaphiques (taille de la réserve utile, composition du sol, ...) et des caractéristiques physiologiques de la plante (positionnement des feuilles, formes des feuilles, ...) (Durand, 2007).



Déficit hydrique climatique saisonnier (Pluies-ETP)

	La Roche sur Yon	Angers-Beaucouzé	Le Mans	
Hiver	-5 (NS)	-6 (NS)	-10 (NS)	mm/décennie
Printemps	-11 (NS)	-4 (NS)	-4 (NS)	
Été	+1 (NS)	-2 (NS)	-7 (NS)	
Automne	-4 (NS)	+18 (NS)	+13 (NS)	

Tableau V : Déficit hydrique climatique saisonnier (Pluies-ETP)

L'analyse du DH pour la station d'Angers-Beaucouzé montre qu'il n'y a pas d'évolution significative du besoin en eau des plantes.

St Nazaire-Montoir n'est pas représenté dans le tableau V en raison d'une trop courte période d'observation (cf. fiche « Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle »).

Les tendances saisonnières non significatives observées pour le déficit hydrique sur les trois stations (cf. Tableau V) sont contraires à ce que l'on pourrait attendre lorsque l'on sait que la demande en eau de l'atmosphère (ETP) a augmenté sur les quatre saisons depuis 1971 en parallèle avec la stagnation des précipitations (cf. fiches « Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle » et « Cumul saisonnier des précipitations »). Ces deux paramètres semblent tendre vers un durcissement des conditions hydriques que l'on ne retrouve pas avec la stagnation des valeurs de DH.

On peut émettre plusieurs hypothèses pour expliquer cette contradiction :

- les précipitations présentent une forte variabilité interannuelle. Le DH étant calculé à partir des cumuls de précipitations, la forte variabilité des pluies peut entraîner une forte variabilité des valeurs de DH d'une année à l'autre. Cela se retrouve sur les graphiques de DH (page ci-contre) où la valeur de DH peut doubler d'une année à l'autre (Penman, 1948);
- les valeurs de DH ont été calculées à partir de données mensuelles, pouvant potentiellement masquer une tendance.

En région Pays de la Loire, la stagnation des valeurs de DH semble indiquer qu'aucune des quatre saisons n'est marquée par un durcissement des conditions hydriques atmosphériques.

Pour aller plus loin : Les valeurs de DH sont des valeurs de références. Elles ne représentent pas le déficit réel des plantes en eau. Pour connaître l'évolution réelle de l'état hydrique des plantes, il faut compléter cette analyse par des indicateurs représentant la ressource en eau du sol.



Déficit hydrique climatique saisonnier (Pluies-ETP)

A RETENIR

Le bilan hydrique climatique des plantes n'a pas évolué au cours des 44 dernières années, malgré l'augmentation de l'ETP et stabilité des pluies. Il n'y a pas de durcissement significatif des conditions hydriques climatiques au cours des saisons de croissance des végétaux.



Pour en savoir plus

DURAND J. L. ; 2007. Les effets déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*(190), 181-195

PENMAN H. L. ; 1948. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Lond. A*(193), 120-145



Contenu saisonnier en eau des sols

Nature et source des données

On utilise des données issues de la chaîne d'analyse spatiale du bilan hydrique « SAFRAN-ISBA MODCOU » (SIM). La chaîne modélise l'indicateur d'humidité des sols (SWI) sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur le département. Données fournies par Météo France

Indicateurs

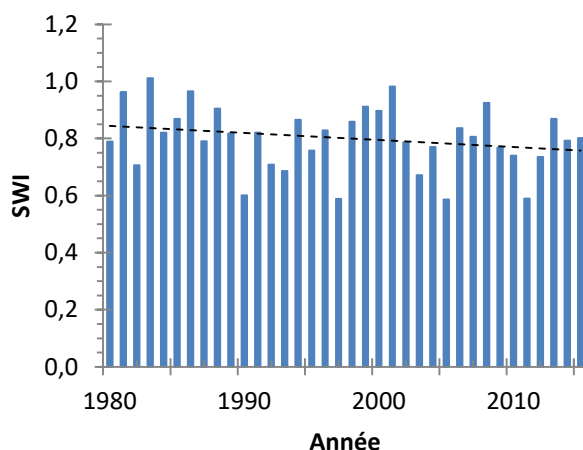
Loire-Atlantique: 1980 – 2015
(Maine-et-Loire, Mayenne, Sarthe et Vendée : 1980 – 2015 ; cf. Tableau VI)

Calcul de l'indicateur

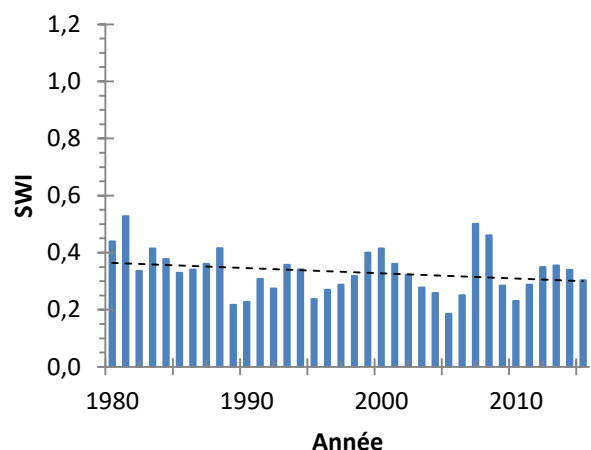
Rapport de la différence entre l'humidité et l'humidité au point de flétrissement permanent sur la différence d'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement permanent.

Évolution observée en Loire-Atlantique

Printemps



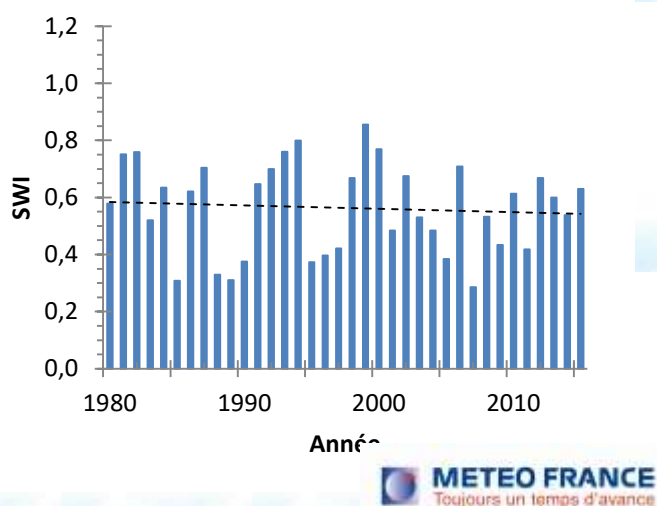
Eté





Contenu saisonnier en eau des sols

Automne



Analyse

L'évolution du contenu saisonnier en eau des sols pour la Mayenne depuis 1980 montre que :

- les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1980-2015) sont de :
 - **0,02 SWI par décennie au printemps** ($P < 0,05$) soit -0,11 SWI en 35 ans ;
 - **0,02 SWI par décennie en été** (NS) ;
 - **0,01 SWI par décennie en automne** (NS) ;
- la diminution de la valeur de SWI est significative au printemps, par contre les tendances estivales et automnales ne sont pas significatives ;
- de très fortes variations inter annuelles sont observées ($R^2 < 0,1$).

L'indice SWI (Soil Wetness Index) permet d'évaluer les sécheresses agricoles, c'est-à-dire qu'il définit l'état de sécheresse du sol en mesurant leur teneur en eau. Il résulte de la capacité de rétention d'eau des sols, de l'ETP et des précipitations. Il est calculé en chaque point de la grille 8 x 8 km « SAFRAN-ISBA-MODCOU » (Soubeyroux *et al.*, 2012). Plus la valeur est proche de 0, moins le sol contient de l'eau. Cet indice ne permet pas de comparer différents lieux entre eux car il ne prend pas en compte les différentes typologies des sols. Cet indicateur permet seulement d'en observer les évolutions temporelles (Drias, 2016).



Contenu saisonnier en eau des sols

	Loire Atlantique	Vendée	Maine et Loire	Mayenne	Sarthe	
Printemps	- 0,02 (P>0,05)	- 0,03 (NS)	- 0,03 (P>0,1)	- 0,03 (NS)	- 0,03 (P>0,1)	SWI/décennie
Eté	- 0,02 (NS)	- 0,02 (NS)	- 0,02 (NS)	- 0,01 (NS)	- 0,01 (NS)	
Automne	- 0,01 (NS)	+ 0,00 (NS)	- 0,00 (NS)	- 0,00 (NS)	+ 0,00 (NS)	

Tableau VIII : Evolution de du contenu en eau des sols dans les 5 départements de la région

Sur les saisons estivales et printanières, aucune évolution significative n'est observée sur les cinq départements de la région Pays de la Loire (cf. Tableau VI). Au printemps, les résultats de Loire-Atlantique et du Maine-et-Loire sont semblables à ceux de Sarthe, c'est-à-dire une tendance à la diminution de la valeur de SWI. Cette diminution traduit une réduction de l'humidité du sol sur cette saison. Par contre, en Vendée et en Mayenne, il n'y a pas d'évolution significative de l'humidité du sol au printemps.

Pour le printemps, les tendances mitigées indiquent la nécessité de prendre du recul sur les résultats des cinq départements. On peut émettre une hypothèse sur cette disparité : lorsque l'on observe les significativités des évolutions de la valeur de SWI au printemps en Vendée et en Mayenne, on remarque que le risque d'erreur est de 13%, donc une valeur proche de 10% (limite choisie pour la non significativité des tendances ; cf. fiche « Statistiques »). La forte variabilité inter annuelle ($R^2 < 0,1$) associée à la courte période de mesure (35 ans) peut être à l'origine des tendances non significatives en Vendée et en Mayenne.

Les principales sources en eau du sol sont les précipitations. Sur cette période les précipitations n'ont pas évolué (cf. fiche « Cumul des précipitations saisonnières »). En parallèle, les valeurs d'ETP au printemps ont augmenté mais le bilan hydrique climatique est resté stable (cf. fiches « Cumul saisonnier de l'évapotranspiration » et « Déficit hydrique climatique saisonnier »). On pourrait donc s'attendre à ce que les conditions hydriques du sol n'aient pas évolué.

La diminution de la ressource en eau des sols au printemps peut devenir pénalisante pour les prairies dont les espèces sont sensibles au stress hydrique (Felten, 2011). Cette période est également celle du semis du maïs. Un sol trop sec au moment du semis entraîne un retard et un décalage de la levée des plants (Ray, 2014).

Pour aller plus loin : Les tendances saisonnières peuvent masquer les tendances mensuelles. Il serait intéressant de refaire cette analyse sur chaque mois pour mettre en évidence sur quels mois une diminution de l'humidité du sol peut être observée afin de cibler les périodes les plus sensibles pour les plantes.



Contenu saisonnier en eau des sols

A RETENIR

Le contenu en eau des sols est en diminution sur la saison printanière dans les départements de Loire-Atlantique, de Maine-et-Loire et de Sarthe. Elle n'est par contre pas significative en Vendée et en Mayenne.

Sur les cinq départements, il n'y a pas de variation du contenu en eau des sols sur les saisons estivales et automnales.

La baisse de l'humidité du sol peut entraîner un ralentissement de la croissance des prairies et une disparité dans la levée du maïs.



Pour en savoir plus

FELTEN B., DURU M., MARTIN G., SAUTIER M. ; 2011. Changement climatique en Midi-Pyrénées et conséquences sur la croissance de l'herbe. *Projet Climfourrel*, Midi- Pyrénées, Série Les Focus PSDR3.

RAY T. ; 2014. Semis de maïs : labourer au dernier moment en cas de surface sèche. *Arvalis-info.fr* [en ligne] Disponible sur : <http://www.arvalis-infos.fr/semis-de-ma-s-labourer-au-dernier-moment-en-cas-de-surface-seche-@/view-15516-arvarticle.html>. Consulté le 31 août 2016.

Nombre de jours en sécheresse

Nature et source des données

On utilise des données issues de la chaîne d'analyse spatiale du bilan hydrique « SAFRAN-ISBA-MODCOU » (SIM). La chaîne modélise l'indicateur de d'humidité des sols (SWI) sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur le département. Données fournies par Météo France

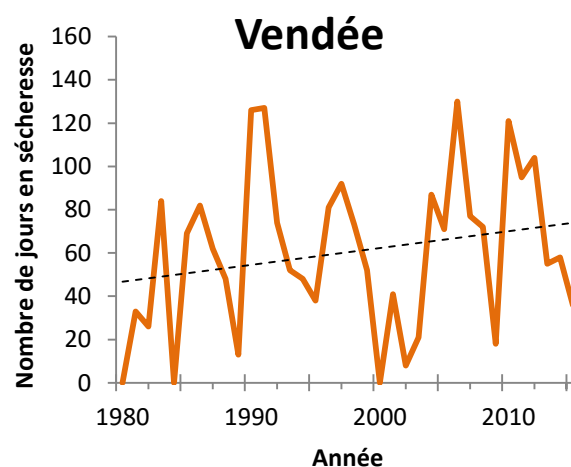
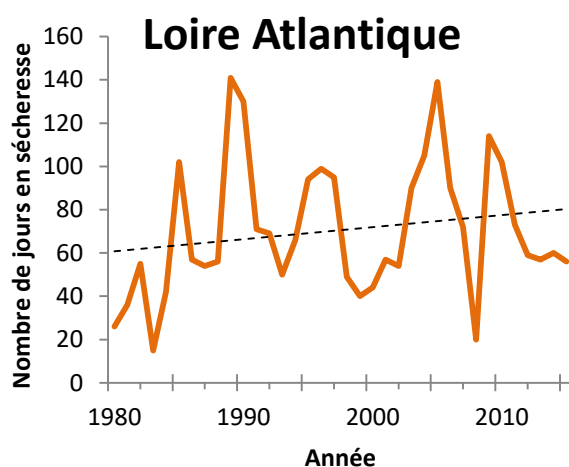
Indicateurs

Loire-Atlantique : 1980 – 2015
 Maine-et-Loire : 1980 – 2015
 Mayenne : 1980 – 2015
 Sarthe : 1980 – 2015
 Vendée : 1980 – 2015

Calcul de l'indicateur

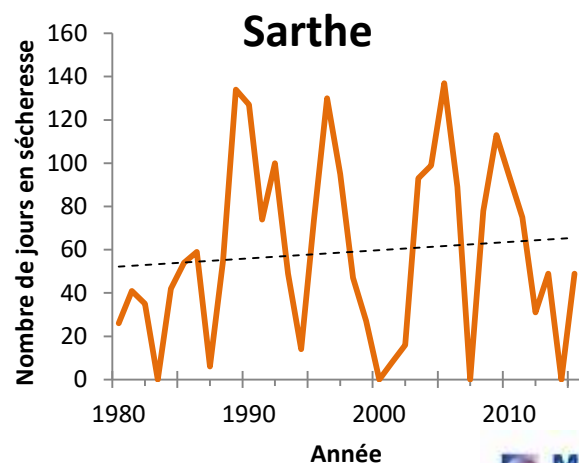
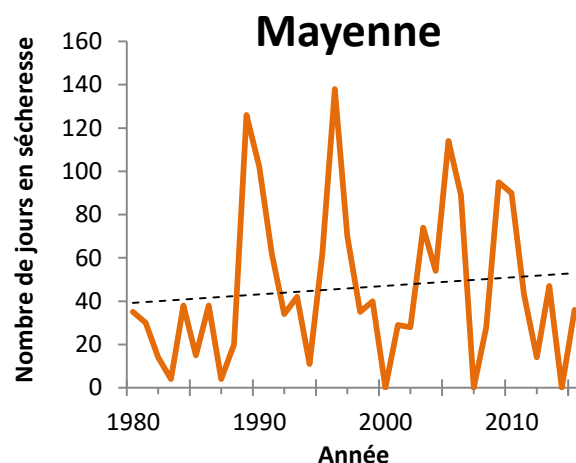
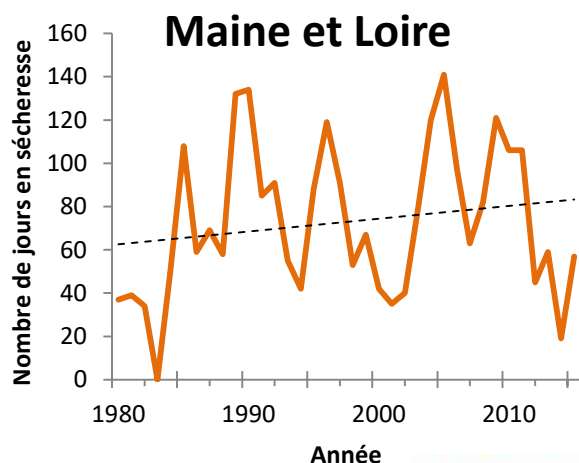
Nombre de journées où l'indice SWI est inférieur au seuil de 0,3.

Évolution observée en Loire-Atlantique





Nombre de jours en sécheresse



L'évolution du nombre de jours en sécheresse observée dans les 5 départements des Pays de la Loire depuis 1980 montre que :

- les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1980-2015) sont de :
 - + 5,6 j par décennie en Loire Atlantique (NS) ;
 - + 5,9 j par décennie en Maine et Loire (NS) ;
 - + 3,9 j par décennie en Mayenne (NS) ;
 - + 3,8 j par décennie en Sarthe (NS) ;
 - + 4,4 j par décennie en Vendée (NS) ;
- il n'y a pas de tendance significative dans l'évolution du nombre de jours en sécheresse dans les 5 départements depuis 1980 ;
- de très fortes variations interannuelles sont observées ($R^2 < 0,05$).



Nombre de jours en sécheresse

La valeur 0,3 est un seuil en dessous duquel on considère que RFU (Réserve Facilement Utilisable) est épuisée, où les plantes n'ont plus accès à l'eau du sol.

L'analyse du nombre de jours en sécheresse sur les cinq départements montre qu'aucun département ne voit évoluer significativement son nombre de jours en sécheresse. Cette analyse est cohérente avec la stagnation du bilan hydrique climatique (cf. fiche « Déficit hydrique climatique saisonnier »).

Les mesures mettent en évidence la forte variabilité interannuelle. Sur les cinq départements, on peut voir se succéder des années avec une dizaine de jours en sécheresse à des années avec l'équivalent de 3 mois de sécheresse.

La stagnation des valeurs de SWI peut provenir du fait que la période de mesure est faible (1980-2015, soit 35 ans) par rapport à la variabilité interannuelle ($R^2 < 0,05$).

Pour aller plus loin : Cette analyse ne permet pas de connaître la durée de la sécheresse, ni sa continuité, ni si elle se déroule sur des périodes sensibles des cultures.

A RETENIR

Les nombres de jours en sécheresse n'ont pas significativement augmenté dans les 5 départements de la région Pays de la Loire. Ce résultat est cohérent avec la stagnation du bilan hydrique climatique.



Pour en savoir plus

SOUBEYROUX J. M., KITOVA N., BLANCHARD M., VIDAL J. P., MARTIN E. DANDIN P. ; 2012. Caractérisation des sécheresses des sols en France et changement climatique, *La météorologie* (78), 21-30.

DRIAS (2016) Définition des indices de sécheresse [en ligne]. Disponible sur <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/section/183>. Consulté le 25 août 2016.

Degrés-jours de croissance du maïs

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

Le Mans :

- Avril à Juillet de 1970 à 2015
- Mai à Août de 1970 à 2015
- Août à Octobre de 1970 à 2015

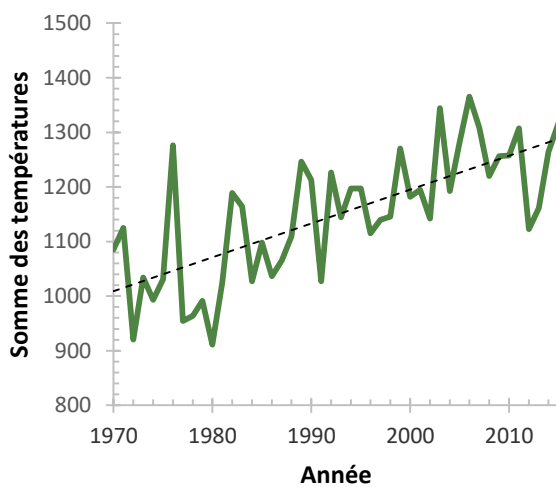
(Angers-Beaucouzé, Saint-Nazaire Montoir et La Roche sur Yon ; cf. Tableau VII)

Calcul de l'indicateur

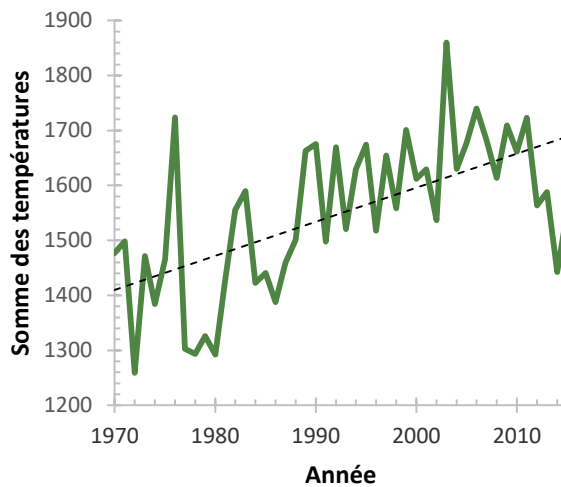
Cumul des températures moyennes journalières en base 6 (zéro de végétation du maïs) sur deux périodes : du semis à la floraison femelle (Avril à Juillet et Mai à Août), et de la floraison à la récolte (Août-Octobre).

Évolution observée au Mans

Avril-Juillet



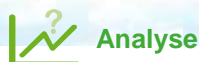
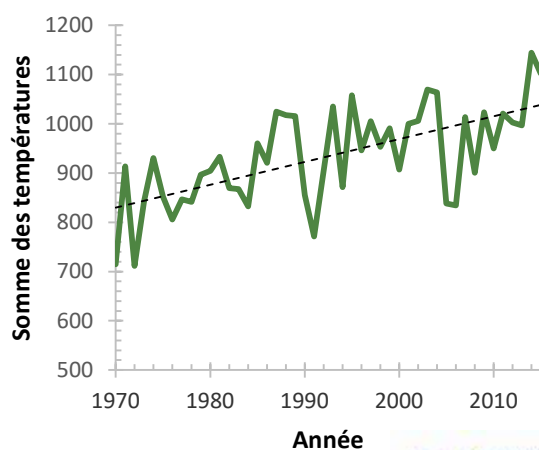
Mai-Août





Degrés-jours de croissance du maïs

Août-Octobre



L'évolution du cumul des degrés-jours de croissance du maïs pour la station du Mans depuis 1970 montre que:

- les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur les périodes d'étude (1970-2015) sont de :
 - +62 °CJ par décennie d'Avril à Juillet** ($P < 0,001$) soit +273 °CJ en 45 ans ;
 - +62 °CJ par décennie de Mai à Août** ($P < 0,001$) soit +273 °CJ en 45 ans ;
 - +46 °CJ par décennie d'Août à Octobre** ($P < 0,001$) soit + 204 °CJ en 45 ans ;
- les trois tendances à l'augmentation de la somme de degrés jours sont significatives ;
- de fortes variations annuelles dans la somme des températures base 6 sont observées ($R^2 < 0,6$).

Les analyses statistiques par station (cf. Tableau VII) montrent que les tendances observées au Mans se retrouvent sur les stations St Nazaire-Montoir et Angers-Beaucouzé. Pour la station de la Roche sur Yon, il n'y a pas d'augmentation du nombre de degrés-jours sur les périodes Mai – Aout et Aout – Octobre. Dans toutes les stations, c'est sur les périodes Avril – Juillet et Mai – Août que les augmentations sont les plus marquées.

Ces coefficients sont à prendre avec précaution, car les valeurs obtenues sont dépendantes de la période d'analyse. Une modification de la période d'analyse fait varier le coefficient d'évolution. Malgré cela, les tendances restent à la hausse du nombre de degrés-jours.



Degrés-jours de croissance du maïs

	Saint Nazaire-Montoir	La Roche sur Yon	Angers-Beaucouzé	Le Mans	°CJ/décennie
Avril-Juillet	+47 (P<0,01)	+ 55 (P<0,01)	+44 (P<0,01)	+62 (P<0,01)	
Mai-Août	+48 (P<0,01)	+ 25 (NS)	+37 (P<0,01)	+62 (P<0,01)	
Août-Octobre	+31 (P<0,01)	+ 25 (NS)	+35 (P<0,01)	+46 (P<0,01)	

Tableau VIIV : Evolution des degrés-jours de croissance du maïs sur les 4 stations étudiées

Les tendances à la hausse des degrés-jours de croissance du maïs sur les trois périodes sont à mettre en relation avec l'augmentation des températures annuelles et saisonnières des stations de mesures (cf. fiches "Température moyenne annuelle" et « Température moyenne saisonnière »). Cette augmentation conduit à un raccourcissement de la durée des phases jusqu'à floraison femelle et à une récolte avancée (Brisson & Levraut, 2010). Les cultures de printemps comme le maïs ont une anticipation plus importante que celles d'hiver du fait de l'absence de leur besoin en froid et de leur cycle plus tardif en saison exposée à des températures élevées (Soussana, 2013).

Cette évolution semble actuellement bénéfique au Nord de Loire où la ressource en eau n'est pas considérée comme facteur limitant. Il émerge une possibilité de cultiver des variétés tardives avantageuses pour les rendements (Arvalis, 2012). En revanche, l'élévation des températures attendue pour le siècle entraînera une anticipation encore plus importante des stades phénologiques. Par conséquent un avancement des stades sensibles au manque d'eau (de la floraison au remplissage des grains) vers les mois les plus chauds et secs de l'année (juin, juillet, août). De plus la durée de remplissage sera réduite donc sera moins productive. Dans ces conditions, les rendements s'en retrouveront impactés (Brisson & Levraut, 2010).

La hausse des degrés-jours de croissance du maïs au Mans est nettement supérieure à celle des trois autres stations. Compte tenu des analyses de températures (cf. fiches « Température moyenne annuelle » et « Température moyenne saisonnière ») et des résultats obtenus ici, il est à prévoir une anticipation des stades physiologiques du maïs plus importante à l'Est qu'à l'Ouest.



Degrés-jours de croissance du maïs

A RETENIR

Les accroissements des degrés-jours de croissance observés aujourd'hui sont représentatifs d'un réchauffement climatique dans nos régions, plus marqué à l'Est au climat plus continental.

Il est à supposer de ces résultats un avancement dans les stades phénologiques du maïs.



Pour en savoir plus

ARVALIS ; 2012. Maïs. Adapter les pratiques culturales au changement climatique. [en ligne] disponible sur <http://www.arvalis-infos.fr/view-11687-arvarticle.html?region=&theme=117> Consulté le 05 Août 2015.

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

SOUSSANA J.F. (coord) ; 2013, S'adapter au changement climatique. Agriculture, écosystèmes et territoires. Editions Quae. Versailles.

Degrés-jours de croissance du blé

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

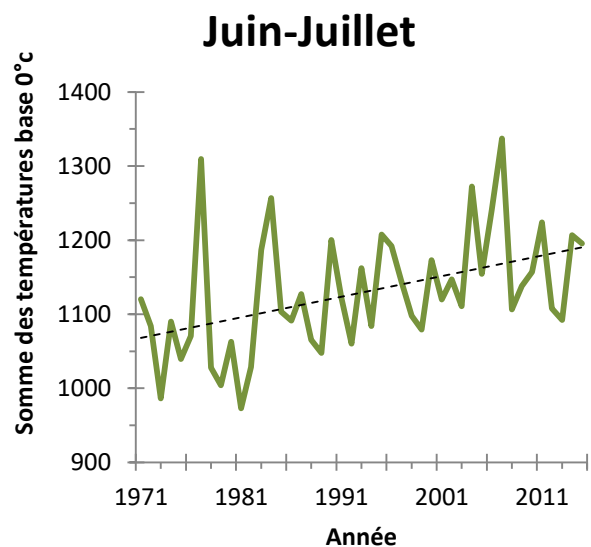
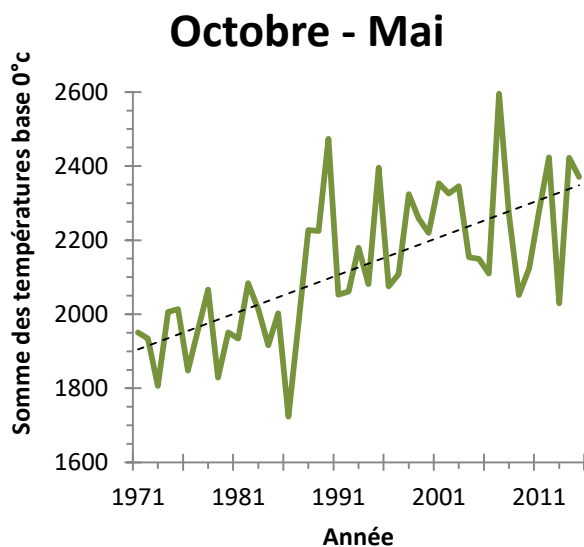
Indicateurs

Le Mans :
- Octobre à Mai de 1971 à 2015
- Juin à Juillet de 1971 à 2015
(Angers-Beaucouzé, Saint-Nazaire-Montoir et La Roche sur Yon ; cf. Tableau VIII)

Calcul de l'indicateur

Cumul des températures moyennes journalières en base 0 (zéro de végétation du blé) sur deux périodes : du semis à la floraison (octobre à mai), et de la floraison à la récolte (juin-juillet).

Évolution observée au Mans





Degrés-jours de croissance du blé



L'évolution du cumul des degrés-jours de croissance du blé pour la station du Mans depuis 1971 montre que:

- les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur les périodes d'étude (1971-2015) sont de :
 - +69 °CJ par décennie d'Octobre à Mai** ($P < 0,01$) soit +304 °CJ en 44 ans ;
 - +29 °CJ par décennie de Juin à Juillet** ($P < 0,01$) soit +126 °CJ en 44 ans ;
- les tendances à la hausse des cumuls de degrés-jours sont significatives sur les deux périodes ;
- de fortes variations annuelles dans la somme des températures base 0 sont observées ($R^2 < 0,3$).

L'analyse des autres stations (cf. Tableau VIII) montre que l'augmentation de la somme des degrés jours base 0°C est significative sur l'ensemble des stations sur les deux mois d'été (juin à fin juillet). Par contre l'augmentation des degrés jours du blé sur la période octobre à fin mai est plus mitigée. Comme pour la ville du Mans, Angers-Beaucouzé voit une augmentation de ces degrés jours sur les mois d'octobre à mai alors que les villes de St Nazaire-Montoir et La Roche sur Yon ne présentent pas d'évolution significative sur cette période.

	Saint Nazaire-Montoir	La Roche sur Yon	Angers-Beaucouzé	Le Mans	°CJ/décennie
Octobre-Mai	+41 (NS)	-2 (NS)	+54 ($P < 0,05$)	+69 ($P < 0,01$)	
Juin-Juillet	+17 ($P < 0,05$)	+ 25 ($P < 0,1$)	+20 ($P < 0,05$)	+29 ($P < 0,01$)	

Tableau VIII : Evolution des degrés-jours de croissance du maïs sur les 4 stations étudiées

Les tendances à la hausse des degrés-jours de croissance du blé sur les deux périodes sont à mettre en relation avec l'augmentation des températures annuelles et saisonnières des quatre villes (cf. fiches « Température moyenne annuelle » et « Température moyenne saisonnière »). Comme pour le maïs, cette augmentation conduit à un raccourcissement de la durée des stades phénologiques. Par contre, ce raccourcissement est limité par les besoins du blé en vernalisation (jours où la température ne dépasse pas 10°C) et en photopériode (jours longs) pour fleurir (Brisson & Levrault., 2010).

Les variétés de blé de printemps voient une anticipation plus importante de leurs stades phénologiques que celles d'hiver du fait de l'absence de leur besoin en froid (Soussana, 2013).



Degrés-jours de croissance du blé

Le stade épis à 1 cm est sensible aux faibles températures (températures minimales inférieure à -4°C). Bien que le nombre de jours de gel a diminué sur les 45 dernières années et que la durée de la période de gel a diminué à Angers-Beaucouzé et à St Nazaire-Montoir, il n'y a pas eu diminution du nombre de jours de gel fort (température minimale $< -5^{\circ}\text{C}$) (cf. fiches « Nombre de jours de gel », « Nombre de jours de gel faible et de gel fort » et « Début, durée et fin de la période de gel »). L'avancement des stades du blé entraîne un risque supplémentaire de gel des cultures.

L'élévation des températures attendue pour le siècle entraînera une anticipation encore plus importante des stades phénologiques (Brisson & Levraut, 2010).

La hausse des degrés jours de croissance du blé au Mans est supérieure à celle des trois autres stations. Compte tenu des analyses de températures (cf. fiches « Température moyenne annuelle » et « Température moyenne saisonnière ») et des résultats obtenus ici, il est à prévoir une anticipation des stades physiologiques plus importante à l'Est qu'à l'Ouest.

A RETENIR

Les accroissements des degrés-jours de croissance aujourd'hui observés sont représentatifs d'un réchauffement climatique dans nos régions, plus marqué à l'Est au climat plus continental.

Il est à supposer de ces résultats un avancement dans les stades phénologiques du blé.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

GATE P., BLONDLOT A., GOUACHE D., DEUDON O., VIGNIER L. ; 2007. Impacts du changement climatique sur la croissance et le développement du blé en France Quelles solutions et quelles actions à développer ? *OCL*(15), 5, 332-336.

SOUSSANA J.F. (coord) ; 2013, *S'adapter au changement climatique. Agriculture, écosystèmes et territoires*. Editions Quae. Versailles.



Nombre de jours échaudants au printemps

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

Palluau (Vendée ; cf. Figure 5) : 1976 à 2015

Calcul de l'indicateur

Le calcul du nombre de jours échaudants consiste simplement à dénombrer entre les deux dates retenues, les jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C.

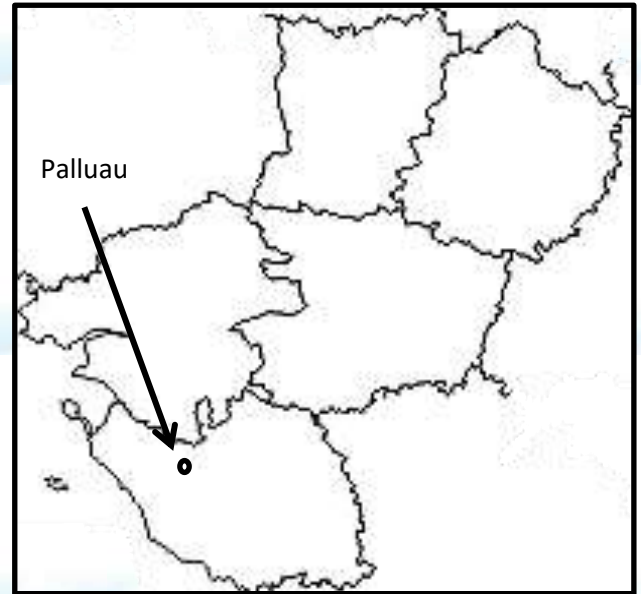
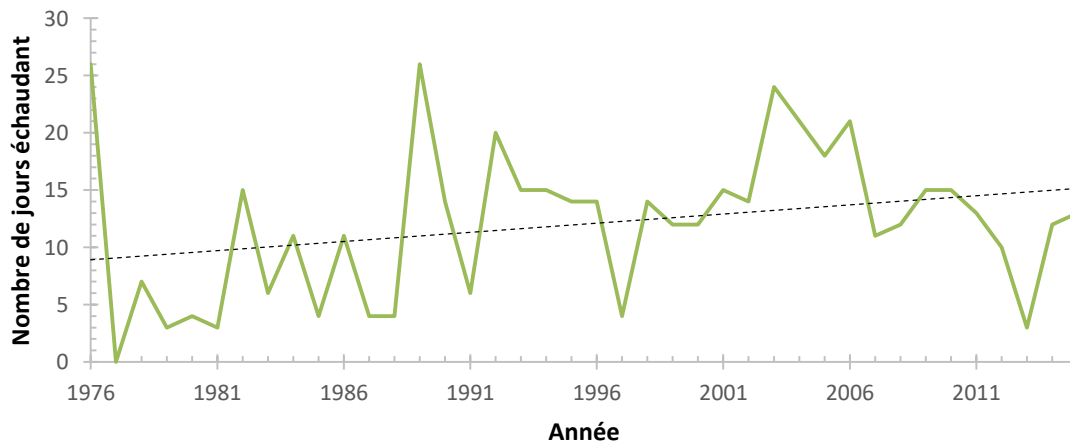


Figure 5 : Localisation de la ville de Palluau

Évolution observée à Palluau

Du 01/04 au 30/06





Nombre de jours échaudants au printemps



Analyse

L'évolution du nombre de jours échaudants pour la station Palluau depuis 1976 montre que :

- la tendance (ajustement linéaire) observée sur la période d'étude du 01/04 au 30/06 est de : **+1,6 jour échaudant par décennie à Palluau (NS)** ;
- la tendance n'est pas statistiquement significative ;
- de fortes variations annuelles dans le nombre de jours échaudants sont présentes ($R^2 < 0,1$).

Les céréales à paille (blé notamment) sont sensibles au phénomène "d'échaudage" thermique, accident de croissance des grains dû aux températures élevées. Il est admis que l'échaudage se manifeste à partir d'une température de 25°C (Gate, 1995). La température d'échaudage thermique pour le blé tendre est la même que celle des journées estivales (cf. fiche « Nombre de jours estivaux »).

La non significativité de la tendance observée peut s'expliquer par le climat au caractère Océanique franc retrouvé en Vendée au niveau des côtes Atlantiques (Joly *et al.*, 2010) (cf. Figure 1) et où se situe la ville de Palluau. Ce climat joue ici un effet tampon sur l'augmentation des températures comme il a été observé au niveau des jours estivaux sur les stations de l'ouest de la région (St Nazaire, La Roche sur Yon et Angers). Le projet CLIMATOR annonce une augmentation de ces jours entre Avril et Juin sur la France (Brisson & Levraut., 2010).

Les céréales à paille ont subi plus de jours à risque en phase de remplissage des grains et devront certainement faire face à une hausse de ces jours avec le réchauffement annoncé. Pour pallier à ces changements une stratégie d'esquive semble appropriée avec une réflexion autour des choix variétaux (notion de bouquet variétal) et des dates de semis. Néanmoins, des semis avancés en automne pour éviter l'échaudage peuvent être risqués en raison de gels tardifs printaniers (destructeurs au stade épi 1cm).

Pour aller plus loin : Il serait pertinent d'étudier le nombre de jours échaudants dans le département de la Sarthe au climat Océanique dégradé (caractère plus continental) et pour lequel l'effet tampon de l'océan est moindre. On devrait se rendre compte d'une augmentation à la tendance plus forte et significative.



Nombre de jours échaudants au printemps

A RETENIR

Le nombre de jours échaudants à Palluau ne montre pas d'évolution significative sur la période 1976 - 2015. A la vue des augmentations à venir, la tendance non significative alerte tout de même sur les risques en phase de remplissage des grains notamment pour le blé. Des adaptations tels que le choix variétal et des dates de semis plus précoces pourraient être envisagés après analyse des autres risques possibles au cours de la croissance et du développement.

L'effet climat joue beaucoup sur la significativité de la tendance étant donné le climat Océanique franc retrouvé à l'Ouest Vendéen (effet tampon sur la hausse des températures).



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

GATE P. ; 1995. Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Editions Lavoisier et ITCF. 429 pages.

Nombre de jours de gel faible et de gel fort

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

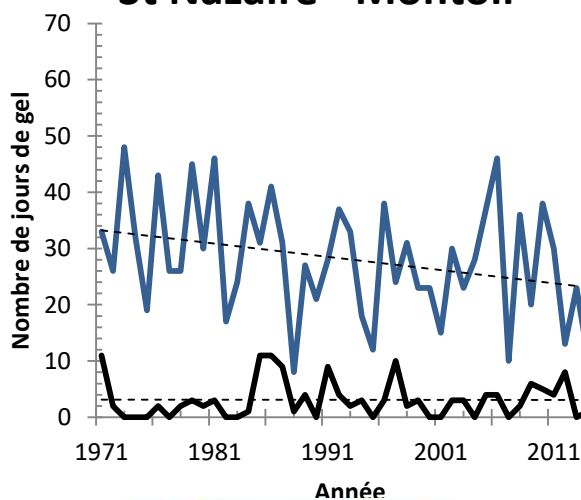
Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

Calcul de l'indicateur

Dénombrement, entre le 1er septembre et le 30 juin de l'année suivante, des jours où la température minimale journalière est comprise entre 0°C et -5°C (gel faible) et des jours où la température minimale journalière est inférieur à -5°C (gel fort).

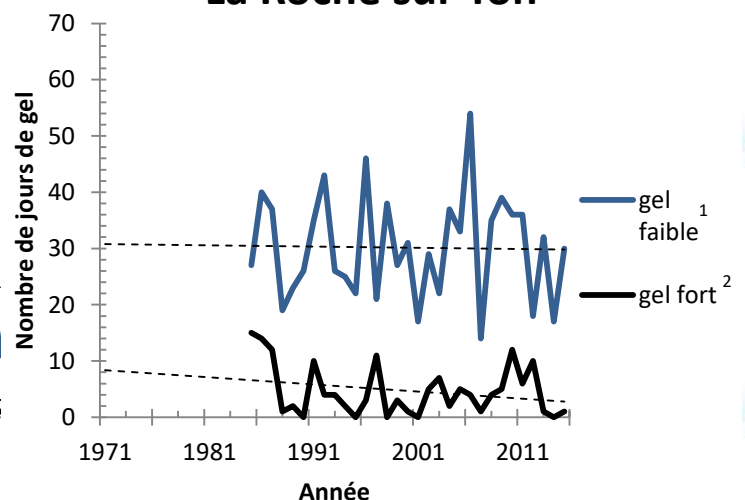
Évolution observée

St Nazaire - Montoir



 **MÉTÉO FRANCE**
Toujours un temps d'avance

La Roche sur Yon



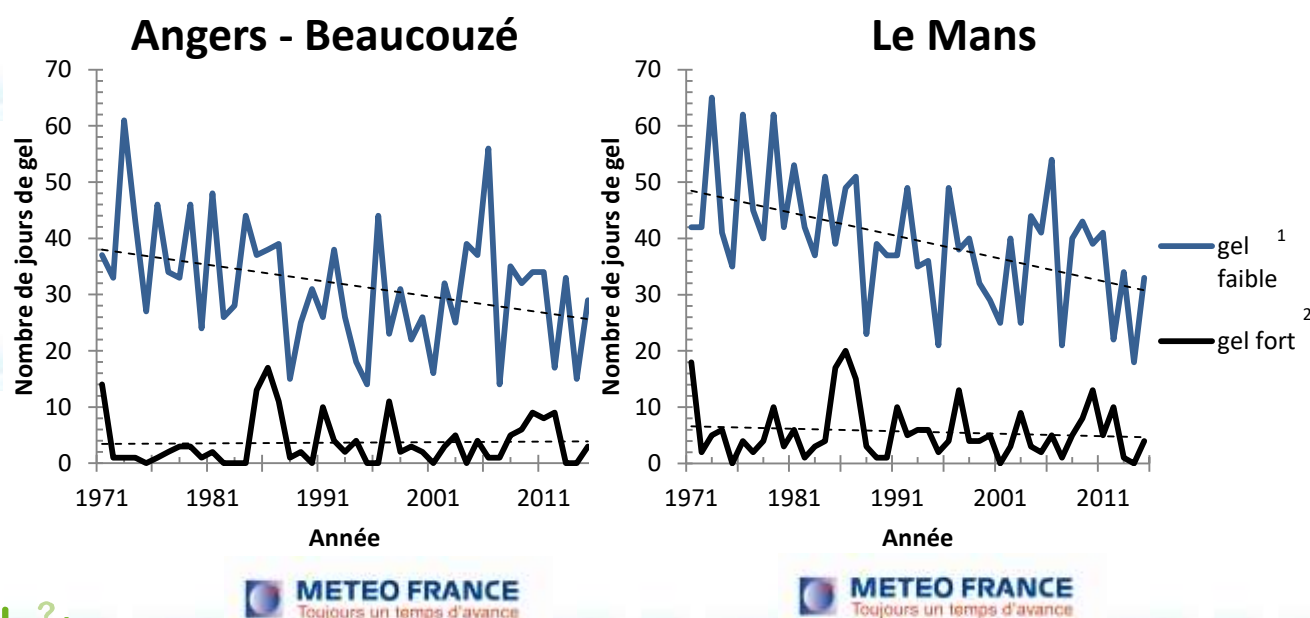
 **MÉTÉO FRANCE**
Toujours un temps d'avance

¹ Jour de gel faible = T°C minimale journalière comprise entre 0°C et -5°C

² Jour de gel fort = T°C minimale journalière < -5°C



Nombre de jours de gel faible et de gel fort



L'évolution du nombre de jours de gel faible¹ en Pays de la Loire depuis 1971 (ou 1985) pour chaque station d'étude montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période (1971-2015 / 1985-2015 suivant les stations) sont de :
 - **2,3 j par décennie à St Nazaire-Montoir** ($P < 0,05$) soit -10 j en 44 ans ;
 - **0,2 j par décennie à La Roche sur Yon** (NS) ;
 - **2,8 j par décennie à Angers-Beaucouzé** ($P < 0,05$) soit -14 j en 44 ans ;
 - **4,0 j par décennie au Mans** ($P < 0,001$) soit -18 j en 44 ans ;
- les stations du Mans, d'Angers-Beaucouzé et de St Nazaire-Montoir montrent une tendance significativement en baisse de leurs jours de gel faible. On ne peut pas conclure sur les tendances de La Roche sur Yon. Il apparaît que la réduction du nombre de jours de gel faible est croissante d'Ouest en Est.

L'évolution du nombre de jours de gel fort² en Pays de la Loire depuis 1971 (ou 1985) pour chaque station d'étude montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période (1971-2015 / 1985-2015 suivant les stations) sont de :
 - **0,0 j par décennie à St Nazaire-Montoir** (NS) ;
 - **1,3 j par décennie à La Roche sur Yon** (NS) ;
 - + **0,1 j par décennie à Angers-Beaucouzé** (NS) ;
 - **0,4 j par décennie au Mans** (NS) ;
- on ne peut pas conclure sur les tendances des quatre stations.

Pour les deux paramètres, la variabilité inter annuelle est forte ($R^2 < 0,3$).



Nombre de jours de gel faible et de gel fort

En observant la répartition de l'intensité des journées de gel, on peut noter qu'elles sont en majorité constituées de jours de gel faible¹. Le nombre de gelées faibles ne connaît pas d'évolution significative à la Roche sur Yon. Par contre, ces journées sont significativement en diminution depuis 1971 sur trois stations de la région (- 4 jours/déc. au Mans, -3 jours/déc. à Angers-Beaucouzé et - 2 jours/déc. à St Nazaire-Montoir). Le nombre de jours de gel fort² ne connaît pas d'évolution significative, sur aucune des quatre stations.

C'est la diminution du nombre de jours de gel faible qui entraîne une diminution du nombre annuel de jours de gel depuis 1971 (cf. fiche « Nombre de jours de gel »).

La stagnation du nombre de jours de gel fort est un avantage dans la gestion des couverts gélifs. La plupart des plantes installées en couverts hivernaux résistent aux faibles gelées. La phacélie est gélive à partir de - 4°C. Plus résistante, la moutarde blanche est gélive à partir de - 7 °C (Minette, 2009). Par contre, la forte variabilité du nombre de jours de gel fort d'une année à l'autre rend aléatoire la gestion de la destruction des couverts par le gel.

A RETENIR

La diminution du nombre annuel de jours de gel est due à une diminution du nombre de jours de gel faible pour les stations du Mans, d'Angers-Beaucouzé et de St Nazaire-Montoir.

Le nombre de jours avec de fortes gelées est resté stable sur les quatre stations.

La stabilisation du nombre de fortes gelées permet de continuer à utiliser le gel comme moyen de destruction des couverts gélifs. Par contre, la forte variabilité intra annuelle du nombre de jours de gel fort rend cette méthode inefficace certaines années, nécessitant d'autres moyens de destruction du couvert.



Pour en savoir plus

MINETTE S. ; 2009. Caractéristiques des principales cultures intermédiaires. Agriculture de conservation [en ligne]. Disponible sur : agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture.../RPC_cultures_intermediaires.pdf. Consulté le 18 août 2016.

Début, durée et fin de la période de gel

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

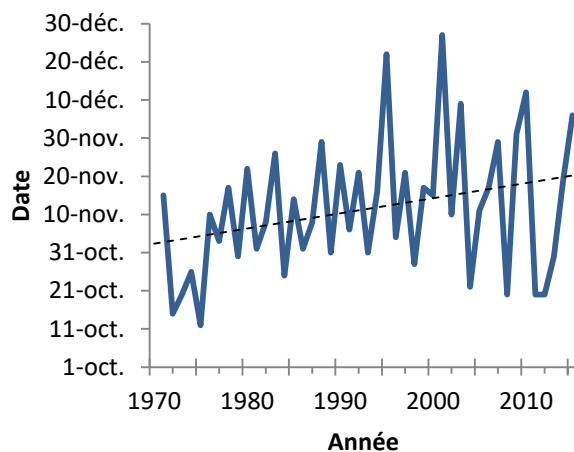
Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

Calcul de l'indicateur

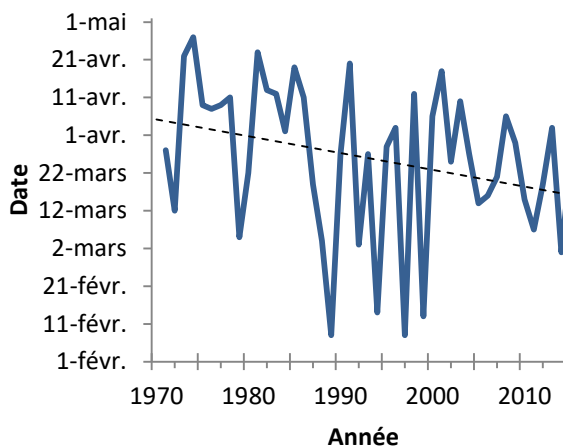
Dénombrement, entre le 1er septembre et le 31 juin de l'année suivante, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C ; recensement de la première journée en automne et de la dernière journée au printemps où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C

Évolution observée à Angers – Beaucouzé

date de premier gel



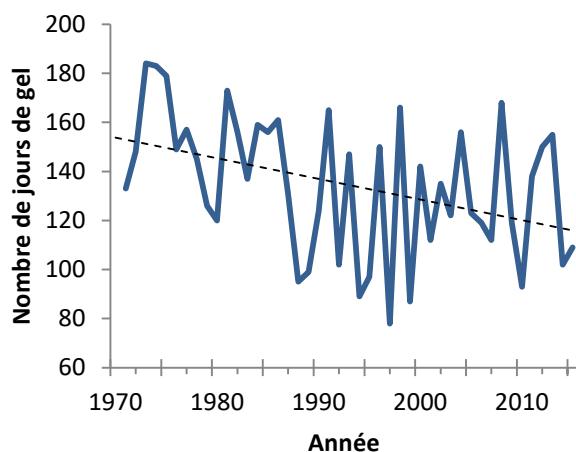
date de dernier gel





Début, durée et fin de la période de gel

Période de gel



Analyse

L'évolution de la période de gel à Angers - Beaucouzé depuis 1971 montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :
 - + 4,0 j par décennie de la première date de gel en automne ($P < 0,1$) soit + 17 j en 44 ans ;
 - 4,4 j par décennie de la dernière date de gel au printemps ($P < 0,05$) soit - 19 j en 44 ans ;
 - 8,4 j par décennie de la durée de la période de gel ($P < 0,01$) soit - 37 j en 44 ans ;
- la station d'Angers-Beaucouzé montre une tendance significativement en baisse de la durée de sa période de gel, un avancement significatif des dates de dernier gel au printemps et un recul significatif des dates de premier gel en fin d'automne ;
- la variabilité inter annuelle pour ces trois paramètres est élevée ($R^2 < 0,2$).

Les résultats des villes de St Nazaire-Montoir et du Mans sont présentés dans le tableau IX.

	St Nazaire-Montoir	Angers-Beaucouzé	Le Mans	jr /décennie
Durée de la période de gel	- 5,8 ($P < 0,1$)	- 8,4 ($P < 0,01$)	- 4,1 (NS)	
Premier jour de gel	+ 3,6 (NS)	+ 4,0 ($P < 0,1$)	+ 2,1 (NS)	
Dernier jour de gel	- 2,3 (NS)	- 4,4 ($P < 0,05$)	- 1,9 (NS)	

Tableau VX : Evolution de la période de gel



Début, durée et fin de la période de gel

A St Nazaire, on observe (comme pour Angers-Beaucouzé) une réduction de 6 jours par décennie de la durée de la période de gel. Mais cette réduction n'est pas visible sur l'avancement ou le recul des dates de premières et de dernières gelées. Si la répartition de la diminution du nombre de jours de gel est semblable à celle d'Angers-Beaucouzé, alors l'évolution des dates de gelées peut être trop faible pour qu'elle puisse être significative.

Au Mans par contre, on ne distingue pas d'évolution significative de la durée de la période de gel, ni de la date de première ou de dernière gelée. Le Mans ne semble pas avoir de modification significative de sa période de gel.

Les résultats précédents ont montré une tendance à la baisse du nombre de jours de gel par an et une stagnation des températures moyennes hivernales depuis 44 ans dans la région Pays de la Loire (cf. fiches « Nombre de jours de gel » et « Température moyenne saisonnière »). Sachant, sur cette même période que le nombre de jours de gel faible¹ est en réduction (cf. fiche « Nombre de jours de gel faible et de gel fort »), on peut émettre l'hypothèse que le changement climatique entraîne une diminution des petites gelées présentes en début et en fin de période de gel, amenant une réduction de la période de gel qui se recentre sur l'hiver.

D'après le projet CLIMATOR, les gelées automnales en France seront plus rares ce qui limitera les accidents en début de cycle des cultures d'hiver (Brisson & Levraut, 2010). Pourtant si le nombre annuel de jours de gel tend à diminuer dans la zone Ouest (cf. fiche « Nombre de jours de gel »), il n'en reste pas moins que la forte variabilité inter annuelle laissera apparaître certaines années des valeurs équivalentes à celles d'aujourd'hui au cours du siècle. Les plantes ayant un développement plus précoce, de par le réchauffement des saisons printanières, estivales et automnales, se trouveront alors sujettes au risque de gel printanier, malgré la diminution de la durée de la période à risque (Dubreuil *et al.*, 2012).

Pour aller plus loin : Les analyses effectuées ne permettent pas de mettre en évidence un décalage ou une réduction des périodes de gel. Il serait intéressant de compléter cette analyse avec des indicateurs agroclimatiques propres à chaque culture afin de vérifier si le risque de gel reste une menace.

¹ jour où la température minimale est comprise entre 0 et -5°C



Début, durée et fin de la période de gel

A RETENIR

La durée de la période de gel est significativement en baisse dans les villes de St Nazaire-Montoir et d'Angers-Beaucouzé. La baisse angevine est due à un recentrement de la période de gel en hiver.

Les données récoltées sur les jours de gel permettent d'émettre l'hypothèse que la réduction du nombre de jours de gel est provoquée par une diminution du nombre de jours de gel faible¹ au printemps et en automne.

¹jour où la température minimale est comprise entre 0 et -5°C



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012 : Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.

Nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril

Nature et source des données

SQ : séries quotidiennes
Données fournies par Météo France

Indicateurs

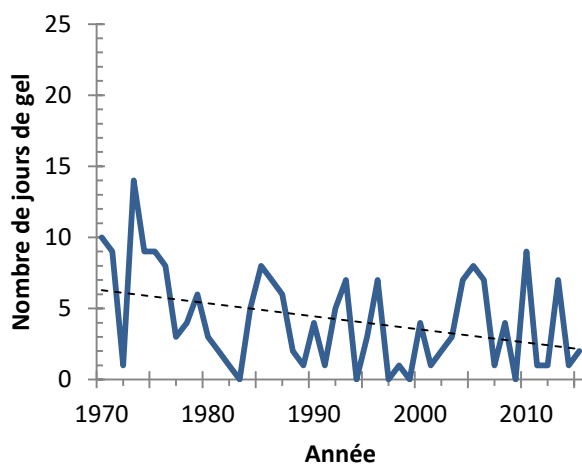
Saint Nazaire-Montoir : 1971 à 2015
Angers-Beaucouzé : 1971 à 2015
Le Mans : 1971 à 2015
La Roche sur Yon : 1985 à 2015

Calcul de l'indicateur

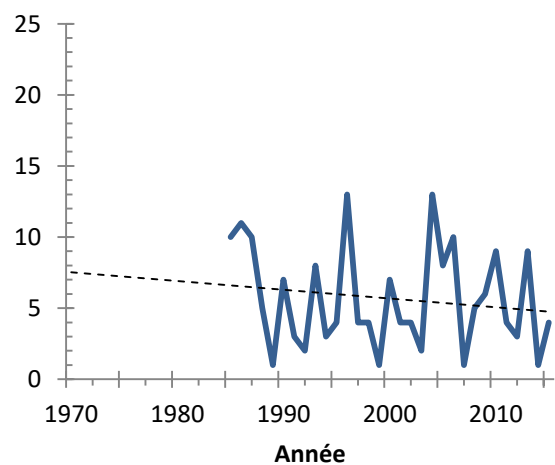
Dénombrement, entre le 1er mars et le 31 avril de chaque année, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

Évolution observée au Mans

St Nazaire - Montoir



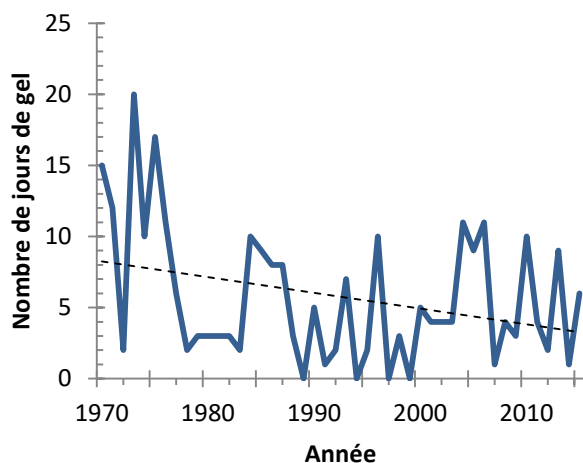
La Roche sur Yon





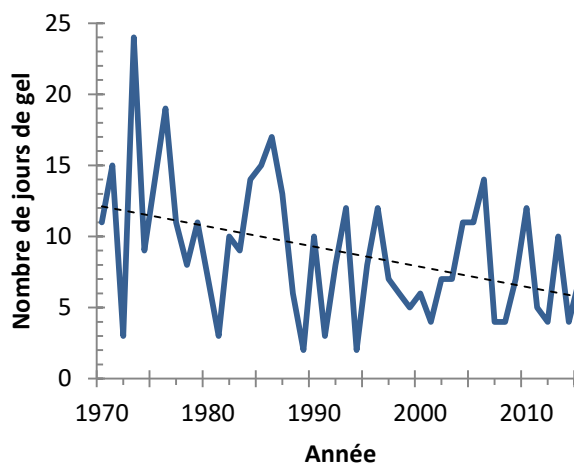
Nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril

Angers - Beaucouzé



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Le Mans



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Analyse

L'évolution du nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril pour les stations des Pays de la Loire depuis 1970 montre que :

- les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur les périodes d'étude (1970-2015) sont de :
 - **0,9 j par décennie à St Nazaire-Montoir** ($P < 0,1$) soit -4 j en 44 ans ;
 - **0,6 j par décennie à La Roche sur Yon** (NS) ;
 - **1,1 j par décennie à Angers-Beaucouzé** ($P < 0,05$) soit -5 j en 44 ans ;
 - **1,4 j par décennie au Mans** ($P < 0,01$) soit -6 j en 44 ans ;
- trois stations montrent des tendances à la baisse de leur nombre de jours de gel sur les mois de mars à avril. Seule la station de la Roche sur Yon montre une tendance non significative ;
- de fortes variations annuelles dans le nombre de jours de gel de mars à avril sont observées ($R^2 < 0,3$).

La diminution du nombre de jours de gel de mars à avril est cohérente avec la diminution du nombre de jours de gel dans l'année et avec la diminution de la période de gel à Angers-Beaucouzé et St Nazaire-Montoir (cf. fiches « Nombre de jours de gel » et « Début, durée et fin de la période de gel »). On retrouve également le même gradient croissant d'Ouest vers l'Est de la diminution du nombre de jours de gel.



Nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril

On observe une raréfaction du nombre de jours de gel de mars à avril mais la variation interannuelle de ce facteur fait que cette période de l'année reste sujette à des risques de gel.

La période du 1^{er} mars au 30 avril correspond à la période de réveil de la végétation de plusieurs cultures arboricoles et de la plantation des cultures de printemps. C'est une phase où les végétaux développent des organes plus sensibles aux froides températures. Cela correspond par exemple à la période de débourrement de la vigne ou à la floraison des pommiers en Anjou (cf. fiches « Date de début de floraison du pommier *Golden delicious* » et « Indice de Wingler ») (Mathieu, 2011 ; V'innopole, 2016). Le gel est également une problématique pour la culture du maïs qui est une plante sensible aux basses températures, de par son origine tropicale (Arvalis, 2016).

Les plantes ayant un développement plus précoce, de par le réchauffement de la saison printanière se trouveront alors sujettes au risque de gel printanier, malgré la diminution du nombre de jours à risque (Dubreuil *et al.*, 2012).

A RETENIR

Le nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril est en diminution significative sur trois des quatre stations étudiées dans la région Pays de la Loire.

Malgré cette tendance, l'avancement des stades phénologiques des cultures et la forte variation interannuelle du nombre de gelées font que le risque de gel reste une problématique pour les cultures de raisins, de pommes et pour les cultures de printemps



Pour en savoir plus

ARVALIS. ; 2016. Gel, de la levée à 8-10 feuilles. Les fiches accidents Maïs. [en ligne]. Disponible sur : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=3&type_acc=5&id_acc=154. Consulté le 12/07/2016

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012 : Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.

MATHIEU V. ; 2011. Cycle de développement du pommier. L'influence des conditions climatiques. *Infos Ctifl*(277), 34-44.

V'INNOPOLE. ; s.d. Gel et dégâts de gel sur vigne. IFV. [en ligne] Disponible sur : <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/gel-vigne.php>. Consulté le 13/09/2016

Indice de Huglin

Nature et source des données

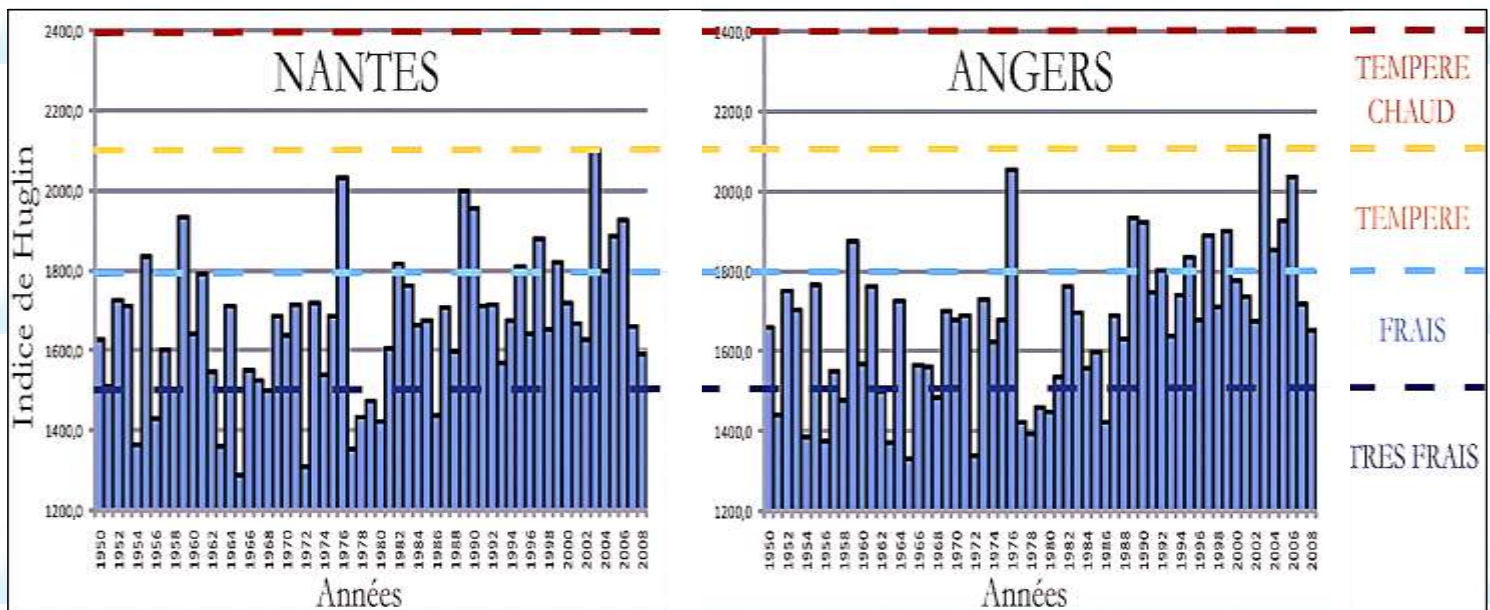
Données fournies par Météo France et traitées par Cyril Bonnefoy (COSTEL CNRS Rennes) et Etienne Neethling (INRA Angers-Nantes).

Indicateurs

Nantes : 1950 – 2008 /2010
Angers : 1950 – 2008 /2010
Saumur : 1950 – 2008 /2010

Calcul de l'indicateur

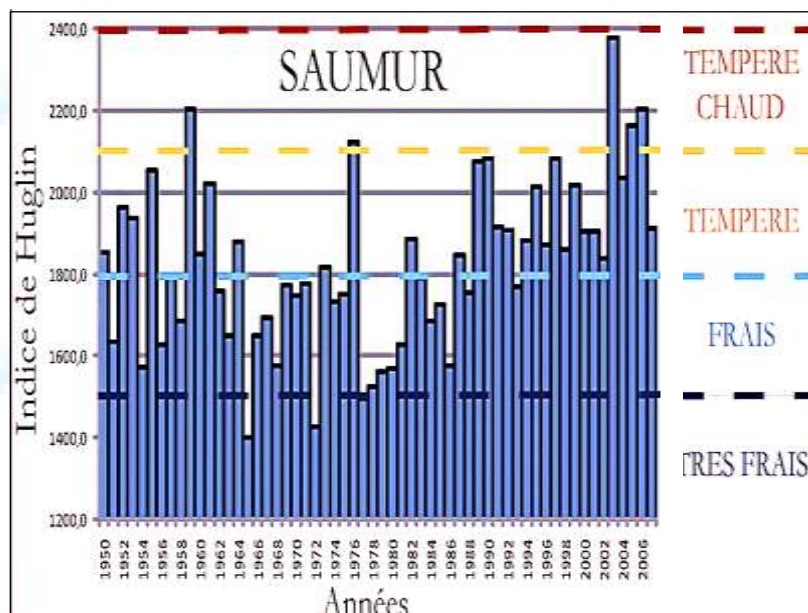
L'indice de Huglin est calculé sur la période du 1^{er} avril au 30 septembre, et correspond au cumul des températures moyennes et maximales journalières à partir d'un seuil de 10°C (zéro de végétation de la vigne) avec l'intégration d'un coefficient de la longueur du jour (1,05 pour le Val de Loire).



Source : Bonnefoy *et al.*, 2010



Indice de Huglin



Analyse

Source : Bonnefoy *et al.*, 2010

L'évolution de l'indice de Huglin pour les stations du Val de Loire sur la période 1950-2010 montre que :

- la tendance observée sur la période d'étude (1950-2010) par Neethling *et al.* (2011) est de :
 - + 240 unités à Nantes en 60 ans ($P < 0,01$) ;
 - + 322 unités à Angers en 60 ans ($P < 0,001$) ;
 - + 282 unités à Saumur en 60 ans ($P < 0,01$) ;
- la tendance est significative sur les trois stations.

L'indice de Huglin est corrélé avec la physiologie de la vigne, du fait de la prise en compte par cet indice de la durée d'ensoleillement en fonction de la latitude. De ce fait, il est lié à la teneur en sucre des baies, permettant de classer les régions viticoles parmi six climats viticoles (de très frais à très chaud). Cet indice permet de voir si les caractéristiques climatiques du Val de Loire, qui influencent la composition des raisins, ont changé. Par contre, il ne reflète pas les variations interannuelles de températures.

Les résultats de deux études sur l'évolution de l'indice de Huglin par Bonnefoy *et al.* (2010) et Neethling *et al.* (2011) montrent une hausse significative de l'indice de Huglin sur les trois stations du Val de Loire (sur des séries de mesures allant de 1950 à 2008 et de 1950 à 2010). Cette tendance est cohérente avec l'augmentation des températures annuelles et saisonnières sur les stations de la région (cf. fiches « Température moyenne annuelle » et « Température moyenne saisonnière »).



Indice de Huglin

L'augmentation est visible à partir de la fin des années 1980. Un test statistique a montré qu'une rupture des conditions climatiques a eu lieu pendant les années 80 sur les trois stations (1981 à Nantes, 1986 à Saumur et 1988 à Angers). Cette rupture correspond au début de l'accélération du réchauffement en France (cf. fiche « Température moyenne annuelle »). Nantes, Angers et Saumur ont donc évolué d'un climat frais vers un climat tempéré après les années 1980. En 2003, lors de l'année de canicule, les stations de Nantes, Angers et Saumur ont eu un climat tempéré chaud.

L'augmentation de la température, telle qu'elle est démontrée par l'indice de Huglin peut présenter un risque pour les cépages précoces comme le Merlot ou le Melon de Bourgogne, en provoquant un avancement de la maturité des raisins sur des périodes plus chaudes. La période de la maturation correspond désormais à une période plus chaude de l'année. Sous ces conditions, des cépages précoces, ont des raisins riches en sucres et peu acides, et cela peut occasionner des vins déséquilibrés qui manquent de fraîcheur. Au contraire, la hausse de l'indice est favorable aux cépages tardifs, comme le Cabernet en leur permettant de finir leur cycle sur des périodes plus favorables (Neethling *et al.*, 2016).

Pour aller plus loin : La hausse de l'indice de Huglin amène à croire que les raisins sont plus sucrés à l'heure actuelle qu'il y a 60 ans.

A RETENIR

L'indice de Huglin est en hausse sur les trois stations étudiées dans le Val de Loire entre 1950 et 2010. L'ensemble des stations de Nantes, Angers et Saumur ont évolué d'un climat frais, caractérisant le Val de Loire jusqu'aux années 80, vers un climat tempéré, c'est-à-dire le climat de Bordeaux avant la rupture climatique.

Cette évolution entraîne une augmentation de la teneur en sucre des raisins.



Pour en savoir plus

BONNEFOY C., QUENOL H., PLANCHON O., BARBEAU G. ; 2010. Températures et indices bioclimatiques dans le vignoble du Val de Loire dans un contexte de changement climatique, *EchoGeo*(14), 10p.

NEETHLING E., BARBEAU G., QUENOL H., BONNEFOY C. ; 2011. Evolution du climat et de la composition des raisins des principaux cépages cultivés dans le Val de Loire, *Climatologie*(8), 79-92.

NEETHLING E.; 2016. Impact du changement climatique sur le vignoble du Val de Loire (Intervieweurs : TIGNON E. et TRETON A.)



Indice de Wingle

Nature et source des données

Données fournies par Météo France et traitées par Cyril Bonnefoy (COSTEL CNRS Rennes) et Etienne Neethling (INRA Angers-Nantes).

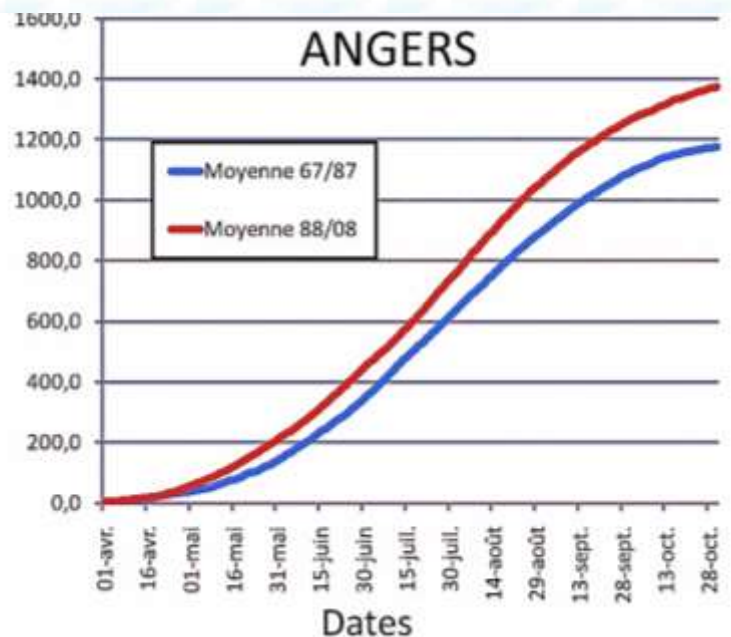
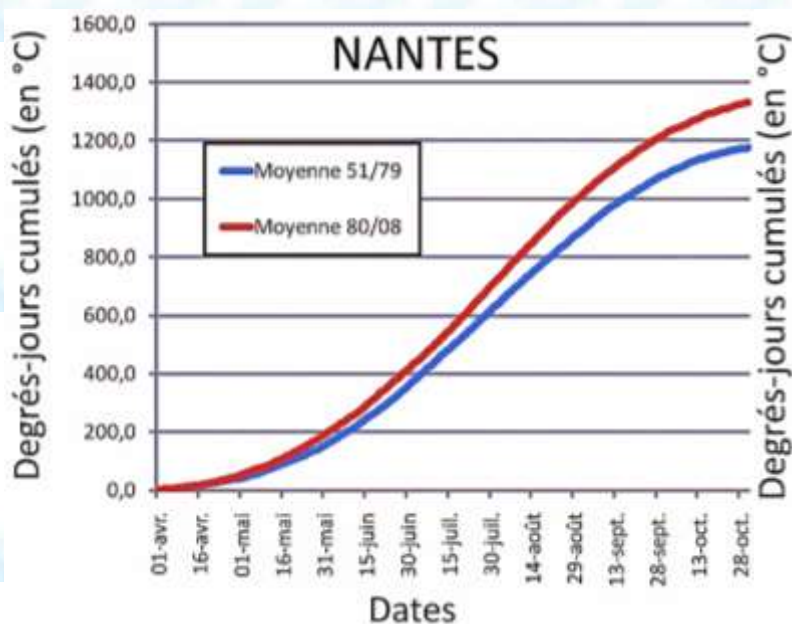
Indicateurs

Nantes : 1950 – 2010 (graphique : 1951 – 1979 /1980 – 2008)
Angers : 1950 – 2009 (graphique : 1967 – 1987 /1988 – 2008)
Saumur : 1950 – 2010 (graphique : 1967 – 1987 /1988 – 2007)

Calcul de l'indicateur

Cumul des températures moyennes journalières à partir de la base de 10°C (zéro de végétation de la vigne) pour la période du 1^{er} avril au 31 octobre.

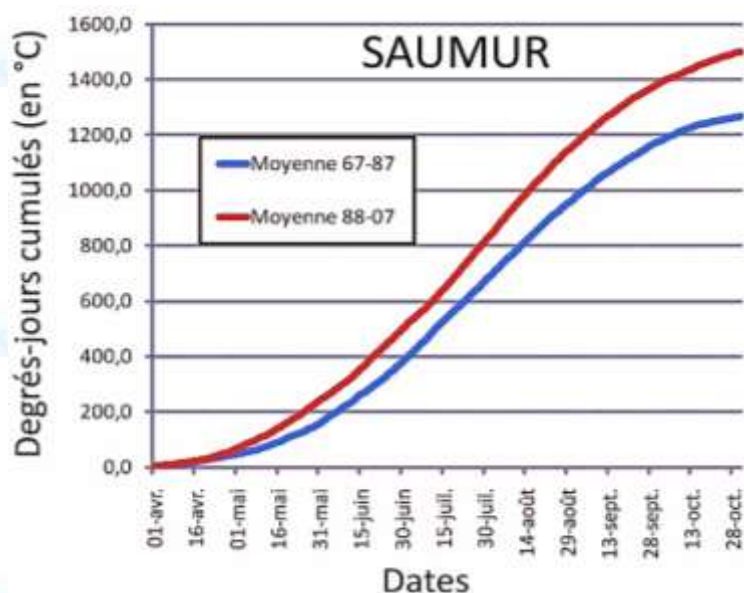
Évolution observée en Loire-Atlantique



Source : Bonnefoy *et al.*, 2010



Indice de Wingle



Les graphiques montrent la moyenne des cumuls des températures (base 10°C) sur deux périodes de mesures :

- une période avant la rupture climatique¹ propre à chaque station;
- une période après cette rupture.

Source : Bonnefoy *et al.*, 2010

Analyse

L'évolution de l'indice de Huglin pour les stations du Val de Loire sur les différentes périodes allant de 1950 à 2010 montre que :

- les tendances observées sur les périodes d'étude (1950 – 2010 /1950 – 2009) par Neethling *et al.* (2011) sont de :
 - + 262 °CJ à Nantes en 60 ans (P<0,001) ;
 - + 336 °CJ à Angers en 60 ans (P<0,001) ;
 - + 273 °CJ à Saumur en 60 ans (P<0,01) ;
- les tendances sont significatives sur les trois stations.

La plupart des végétaux ont besoin d'un certain cumul de températures pour accomplir leurs phases phénologiques (débourrement, floraison, maturité, ...). L'indice de Wingle permet de connaître l'offre disponible de température pour la vigne et permet de prévoir les dates des stades phénologiques.

¹ Cette rupture correspond au début de l'accélération du réchauffement en France



Indice de Wingle

L'indice de Wingle est en augmentation significative dans les trois stations étudiées. Cette hausse est parallèle à la hausse des températures moyennes annuelles et saisonnières (cf. fiche « Température moyenne annuelle » et « Température moyenne saisonnière »).

L'apport de chaleur supplémentaire a pour effet de raccourcir les phases phénologiques et donc d'avancer les stades clés de la vigne. L'avancement des dates de vendanges est l'exemple le plus documenté et médiatisé de l'avancement de ces phénophases. Dans le Val de Loire, les vendanges ont significativement avancé de 12 à 17 jours suivant les vignobles (cf. fiche « Date de vendanges du Val de Loire »).

Les vignes sont sensibles aux températures minimales inférieures à -2°C dès après le débourrement. En effet les jeunes feuilles nouvellement formées sont vulnérables aux basses températures (V'innopôle, 2016). La hausse de l'indice de Wingle entraînant un avancement des phases phénologiques, tel que le débourrement, cela a entraîné une avancée de la formation des jeunes feuilles sur la fin de l'hiver. Cette progression du débourrement sur l'hiver est visible en Alsace (ONREC, 2010). Et bien que le nombre annuel de jours de gel et le nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril soient en diminution, la réduction de la période de gel est un phénomène local (cf. fiches « Nombre de jours de gel », « Nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril » et « Début, durée et fin de la période de gel »). De plus la forte variabilité interannuelle du nombre de jours de gel sur les mois de mars et avril fait que malgré la diminution moyenne du nombre de jours de gel sur cette période, les risques de gel restent présents certaines années. La hausse des températures entraîne un avancement des stades sensibles sur des périodes à risques de gel.



Indice de Wingle

A RETENIR

L'indice de Wingle est en augmentation significative sur les trois stations du Val de Loire entre 1950 et 2010.

Cette hausse entraîne un avancement des stades phénologiques de la vigne. Cela s'accompagne d'un risque de gel accru, provoqué par l'avancement du débourrement et par la variabilité interannuelle du nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril.



Pour en savoir plus

BARBEAU A., ASSELIN C., MORLAT R., JACQUET A. PINNARD C. ; 1998. Comportement du cépage du Cabernet Franc dans différents terroir du Val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale. *J. Int. Vigne Vin*(32), 2, 69-81.

BONNEFOY C., QUENOL H., PLANCHON O., BARBEAU G. ; 2010. Températures et indices bioclimatiques dans le vignoble du Val de Loire dans un contexte de changement climatique, *EchoGeo*(14), 10p.

NEETHLING E., BARBEAU G., QUENOL H., BONNEFOY C. ; 2011. Evolution du climat et de la composition des raisins des principaux cépages cultivés dans le Val de Loire, *Climatologie*(8), 79-92.

NEETHLING E., TRETON A. ; 2016. Impact du changement climatique sur le vignoble du Val de Loire (Intervieweur : TIGNON E.)

ONERC. ; 2010. Catalogue des indicateurs du changement climatique. Ministère de l'écologie, du développement durable et de la mer [en ligne]. Disponible sur: www.onerc.gouv.fr. Consulté le 07/04/2016

V'INNOPOLE. ; s.d. Gel et dégâts de gel sur vigne. IFV. [en ligne] Disponible sur : <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/gel-vigne.php>. Consulté le 13/09/2016



Teneur en sucre et en acidité des raisins du Val de Loire

Nature et source des données

Données fournies par partir de l'ATV 49 et traitée par Etienne Neethling (INRA Angers-Nantes).

Indicateur

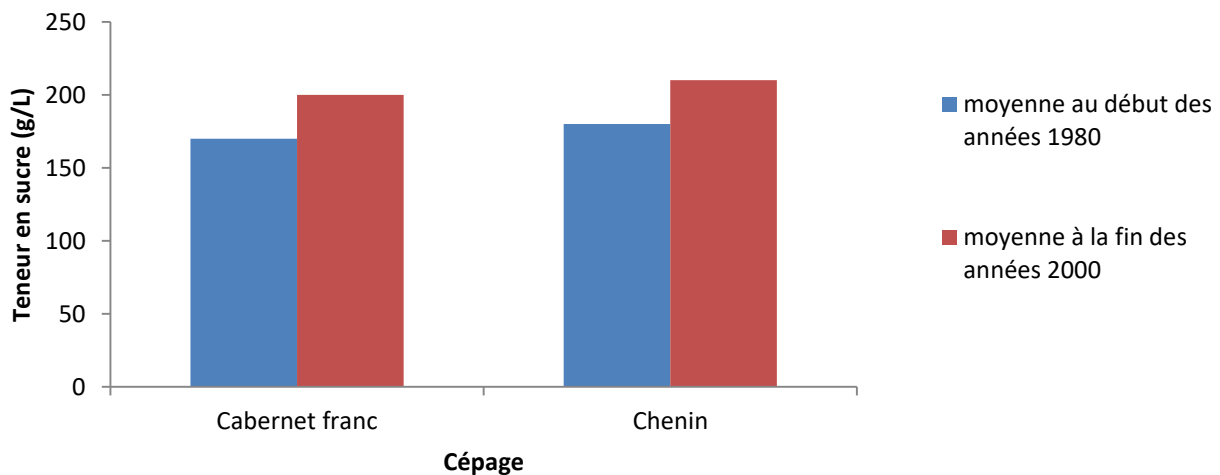
Anjou : 1981/1982/1983/1984 – 2010

Calcul de l'indicateur

Cinétiques d'accumulation des teneurs en sucres et de diminution de l'acidité totale tout au long de la maturation des raisins.

Évolution observée

Teneur en sucre





Teneur en sucre et en acidité des raisins du Val de Loire



Analyse

L'évolution de la teneur en sucre des raisins en Anjou de 1981 à 2010 montre que :

- la tendance observée sur les périodes d'étude est de :
 - + **38,2 g/L pour le Chenin** ($P < 0,001$) ;
 - + **25 g/L pour le Gamay** ($P < 0,01$) ;
 - + **36,5 g/L pour le Grolleau noir** ($P < 0,001$) ;
 - + **46,6 g/L pour le Cabernet franc** ($P < 0,001$) ;
- la tendance est statistiquement significative pour les quatre cépages en Anjou.

L'évolution de la teneur en acidité totale des raisins en Anjou de 1980 à 2010 montre que :

- la tendance observée sur les périodes d'étude est de :
 - **2 g/L pour le Chenin** ($P < 0,01$) ;
 - **1,2 g/L pour le Gamay** ($P < 0,01$) ;
 - **2 g/L pour le Grolleau noir** ($P < 0,001$) ;
 - **2,2 g/L pour le Cabernet franc** ($P < 0,001$) ;
- la tendance est significative pour les quatre cépages en Anjou.

Le sucre est à l'origine des degrés d'alcool dans le vin, par sa transformation en éthanol pendant la vinification. Les acides régulent le pH lors de la vinification et jouent un rôle dans les caractéristiques organoleptiques du vin. La teneur en sucre des raisins est corrélée négativement avec leur acidité totale.

La teneur en sucre des quatre cépages d'Anjou est en augmentation depuis 1980. Cette tendance est cohérente avec l'augmentation de l'indice de Huglin sur cette période (cf. fiche « Indice de Huglin »). Cette augmentation s'accompagne d'une diminution de l'acidité totale des raisins.

L'évolution de la composition des raisins n'est pas due uniquement au changement du climat. Le changement des pratiques culturales de ces trente dernières années a une influence dans la modification de la teneur en sucre des baies. Le désherbage systématique de l'inter-rang (par des produits phytosanitaires) se pratique de moins en moins. L'enherbement des inter-rangs est favorisé, provoquant une concurrence avec la vigne. Cela amène à une réduction de la vigueur de la vigne, de l'incidence des maladies et du rendement par cep (Neethling, 2011). L'affaiblissement de la vigueur de la vigne favorise une élévation du taux de sucre et une diminution de l'acidité (Barbeau, 1998). Dans le même temps, les travaux de taille ont été modifiés. L'effeuillage et l'éclaircissage des grappes permettent une meilleure exposition au soleil des raisins, augmentant le taux de sucre et diminuant l'acidité des baies (Neethling, 2011).



Teneur en sucre et en acidité des raisins du Val de Loire

A RETENIR

La teneur en sucre a augmenté dans les raisins de 4 cépages d'Anjou depuis 1980. Ce phénomène a été accompagné d'une diminution de l'acidité totale des baies.

Ces tendances sont expliquées par changement du climat viticole de Val de Loire, dû à une élévation de l'indice de Huglin, et par le changement de pratiques culturales qui favorise la teneur en sucre des raisins.



Pour en savoir plus

BARBEAU A., ASSELIN C., MORLAT R., JACQUET A. PINNARD C. ; 1998. Comportement du cépage du Cabernet Franc dans différents terroir du Val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale. *J. Int. Vigne Vin*(32), 2, 69-81.

BONNEFOY C., QUENOL H., PLANCHON O., BARBEAU G. ; 2010. Températures et indices bioclimatiques dans le vignoble du Val de Loire dans un contexte de changement climatique, *EchoGeo*(14), 10p.

NEETHLING E., BARBEAU G., QUENOL H., BONNEFOY C. ; 2011. Evolution du climat et de la composition des raisins des principaux cépages cultivés dans le Val de Loire, *Climatologie*(8), 79-92.



Date de vendange du Val de Loire

Nature et source des données

Données fournies par l'ATV 49 et traitée par Etienne Neethling (INRA Angers-Nantes).

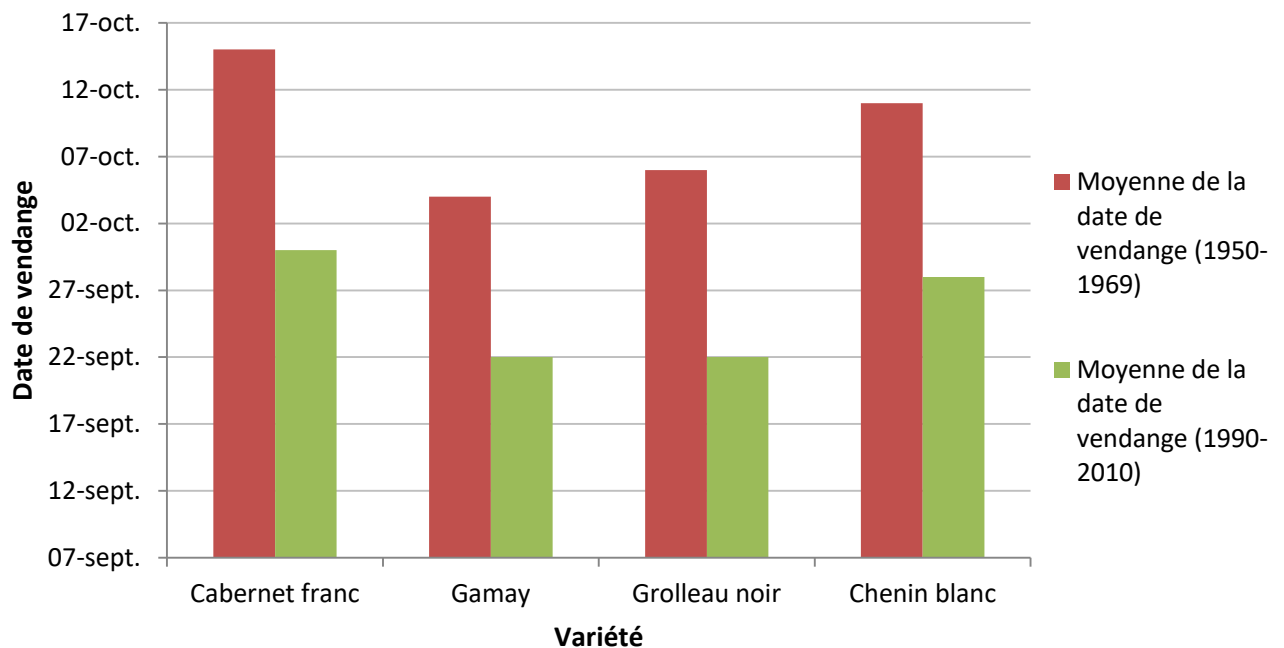
Indicateur

Anjou et Saumur : 1950 – 1969 et 1990 – 2010

Calcul de l'indicateur

Moyenne des dates de vendanges de quatre cépages en Anjou et à Saumur sur deux périodes 1950 – 1969 et 1990 – 2010.

Évolution observée





Date de vendange du Val de Loire

Analyse

L'évolution de la date de vendange en Anjou et Saumur entre la période 1950 – 1969 et 1990 – 2010 montre que :

- les tendances observées sur les périodes d'étude sont de :
 - **15 jours pour le Cabernet franc** ($P < 0,05$) ;
 - **12 jours pour le Gamay** ($P < 0,05$) ;
 - **14 jours pour le Grolleau noir** ($P < 0,05$) ;
 - **13 jours pour le Chenin blanc** ($P < 0,05$) ;
- la tendance est significativement en faveur d'un avancement des dates de vendange des quatre cépages en Anjou et Saumur.

Comme dans l'ensemble de la France, les dates de vendange dans le Val de Loire sont avancées de deux semaines environ depuis un demi-siècle. Cet avancement est dû à une hausse de l'indice de Winkler sur la même période (cf. fiche « Indice de Winkler »). L'avancement de la date de vendange est visible depuis la fin des années 1980, c'est-à-dire depuis la rupture climatique (cf. fiche « Indice de Huglin »).

L'avancement des vendanges entraîne un avancement de la maturité sur le mois d'août, sous des conditions plus chaudes favorisant une bonne composition des baies. La teneur en sucre étant corrélée négativement avec l'acidité des baies, il faut contrôler le ratio sucre / acidité des raisins afin de ne pas déséquilibrer la qualité des vins (Barbeau *et al.*, 1998).

Pour aller plus loin : Les stratégies d'adaptation à envisager pour limiter l'avancement des dates de récoltes et le déséquilibre des composants des raisins relève du choix des travaux culturaux afin de décaler le démarrage de la vigne et favoriser la vigueur.



Date de vendange du Val de Loire

A RETENIR

Les dates de vendange ont été avancées de deux semaines pour plusieurs cépages d'Anjou et de Saumur.

Cet avancement des stades phénologiques de la vigne est provoqué par la hausse des températures pendant la phase végétative de la vigne. La maturation est donc avancée sur une période plus chaude, plus favorable à la vinification dans le Val de Loire.



Pour en savoir plus

BARBEAU A., ASSELIN C., MORLAT R., JACQUET A. PINNARD C. ; 1998. Comportement du cépage du Cabernet Franc dans différents terroir du Val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale. *J. Int. Vigne Vin*(32), 2, 69-81.

BONNEFOY C., QUENOL H., PLANCHON O., BARBEAU G. ; 2010. Températures et indices bioclimatiques dans le vignoble du Val de Loire dans un contexte de changement climatique, *EchoGeo*(14), 10p.

NEETHLING E., BARBEAU G., QUENOL H., BONNEFOY C. ; 2011. Evolution du climat et de la composition des raisins des principaux cépages cultivés dans le Val de Loire, *Climatologie*(8), 79-92.

NEETHLING E., TRETON A. ; 2016. Impact du changement climatique sur le vignoble du Val de Loire (Intervieweur : TIGNON E.)



Date de début de floraison du pommier *Golden Delicious*

Nature et source des données

Observations en verger expérimental.
Données fournies par INRA Angers et Ctifl.

Indicateur

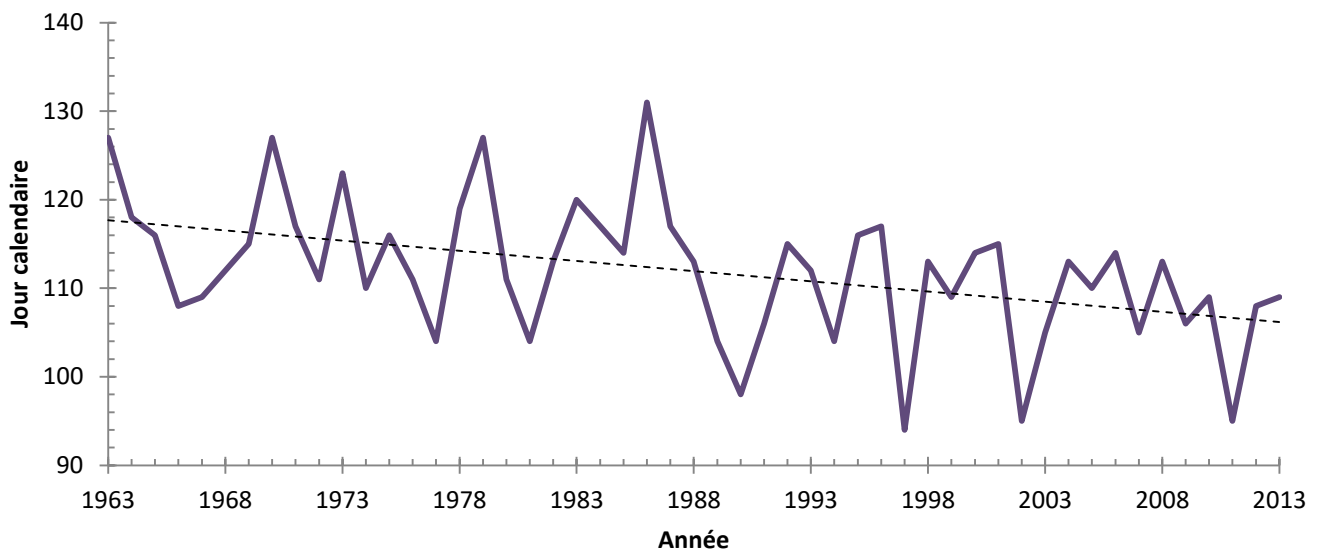
Angers : 1963 à 2013

Calcul de l'indicateur

Relevé de la date F1 (10% de fleurs épanouies).

Évolution observée

Angers





Date de début de floraison du pommier *Golden Delicious*



Analyse

L'évolution de la date de début de floraison du pommier *Golden delicious* à Angers depuis 1963 montre que :

- la tendance (ajustement linéaire) observée sur la période d'étude (1963-2013) est de : **-2,3 jours par décennie à Angers** ($P < 0,01$);
- la tendance est statistiquement significative ;
- de fortes variations annuelles dans la date de début de floraison sont présentes ($R^2 < 0,2$). Cette variabilité inter annuelle est supérieure à la variation tendancielle sur la période d'étude.

L'avancée de la date du début de la floraison du pommier *Golden delicious* à Angers est conforme à la situation des bassins fruitiers français (Legave, 2009). Elle résulte d'un allongement moyen de la durée de dormance associé à une réduction plus importante de la durée de la croissance florale (levée de dormance à floraison). Le réchauffement est responsable de cette avancée, en entraînant une moindre rapidité à satisfaire les besoins en froid et une plus grande rapidité à satisfaire les besoins en chaleur (Gleizer *et al.*, 2007). Chez le pommier, le manque de satisfaction des besoins en froid amène à des floraisons échelonnées et aux comportements différents. Une baisse de rendement est alors ressentie avec pour cause une réduction du nombre de fleurs ou une mauvaise nouaison en raison des pollinisations décalées (Mathieu, 2011).

Cet avancement du stade de floraison serait décelable depuis un phénomène de rupture climatique probable entre 1988 et 1989 (Legave, 2009). Ce même phénomène de rupture est visible sur les vignobles du Val de Loire (cf. fiche « Indice de Huglin).

Les fleurs sont les organes du pommier les plus sensibles aux basses températures. Le gel sur cet organe impacte directement le développement des futurs fruits (Legave, 2009). Sur la période de floraison, le nombre de jours de gel des mois de mars à avril a diminué et les dates de dernières gelées au printemps se sont avancées à Angers (cf. fiches « Nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril » et « Début, durée et fin de la période de gel »). L'avancement des dates de floraison s'accompagne donc d'une diminution du risque de gel sur cette période. Mais la forte variabilité interannuelle du nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril fait que le risque de gel est toujours présent sur cette période.

Les températures ont un rôle prédominant dans le développement du pommier car elles rythment le cycle de développement et elles influent sur la qualité du fruit. Les critères organoleptiques d'un fruit sont dépendants des températures. Le calibre des fruits est directement lié aux températures après floraison. Plus il fait froid, moins le calibre est important. En revanche la fermeté et la densité du fruit sont plus conséquentes (Mathieu, 2011).



Date de début de floraison du pommier *Golden Delicious*

Pour aller plus loin : Les stratégies d'adaptation à envisager relèvent d'abord des techniques culturales comme par exemple, les tailles tardives pour limiter les risques de gel et l'avortement floral. D'autres choix variétaux pourront ultérieurement être envisagés, en sachant qu'ils bouleversent les spécificités régionales (Legave, 2009).

A RETENIR

Les dates d'apparition du début de la floraison (10% de fleurs épanouies) ont significativement avancé ces 50 dernières années. Elles ont gagné plus de 2 jours par décennie et tendent à se rapprocher de la fin de l'hiver. Et malgré la diminution du nombre de jours de gel sur la période du 1^{er} mars au 30 avril, la forte variabilité interannuelle fait que de gel est encore une menace pour les pommiers.

L'avancement de la date de floraison n'est pas la seule conséquence du réchauffement climatique car il s'accompagne aussi d'un impact sur la qualité organoleptique du fruit.



Pour en savoir plus

GLEIZER B., LEGAVE J-M., BERTHOUMIEU J-F., MATHIEU V. ; 2007. Les arboriculteurs face aux changements climatiques. Evolution de la phénologie florale et du risque de gel printanier. *Ctifl*(235), 37-40.

MATHIEU V. ; 2011. Cycle de développement du pommier. L'influence des conditions climatiques. *Infos Ctifl*(277), 34-44.

LEGAVE J-M. ; 2009. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ? *Innovations Agronomiques*(7), 165-177.



Date de 1^{ère} capture du Carpocapse

Nature et source des données

Observations en verger expérimental.
Données fournies par la Fredon Pays de la Loire.

Indicateur

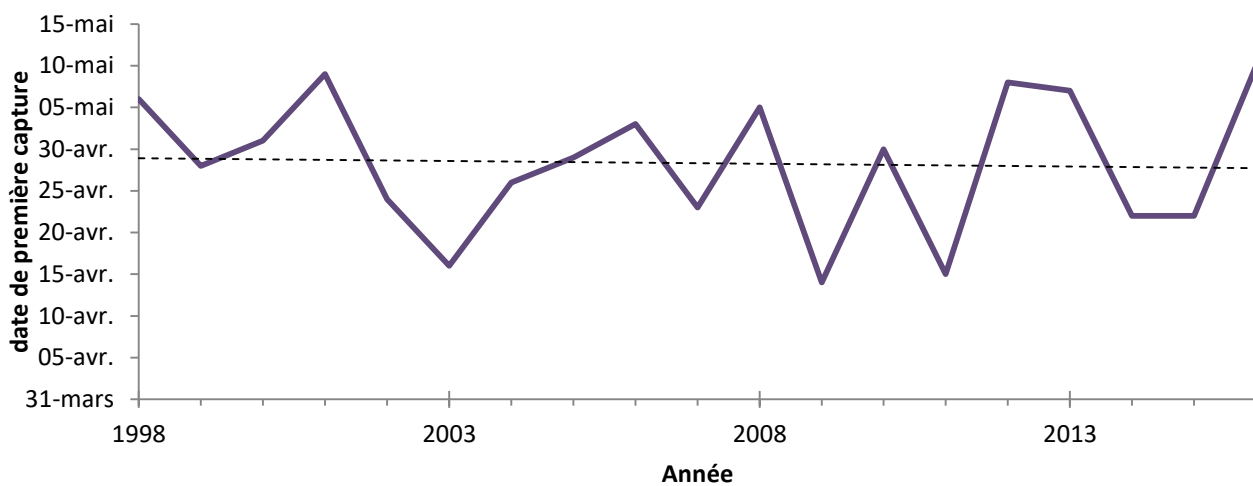
Pays de la Loire : 1998 à 2016

Calcul de l'indicateur

Relevé de la date de première capture du carpocapse sur les pommiers de la région Pays de la Loire.

Évolution observée

Pays de la Loire





Date de 1^{ère} capture du Carpocapse



L'évolution de la date de première capture du carpocapse en Pays de la Loire depuis 1998 montre que :

- la tendance (ajustement linéaire) observée sur la période d'étude (1998-2016) est de :
-0,6 jours par décennie à Angers (NS) ;
- la tendance n'est pas statistiquement significative ;
- de fortes variations annuelles sont présentes dans la date de première capture ($R^2 < 0,01$).

Les arthropodes (insectes) sont des organismes poïkilothermes, c'est-à-dire que leur température interne varie en fonction de la température extérieure. La température extérieure a donc un effet direct sur leurs caractéristiques biologiques. Une élévation de la température (dans la limite de leur température maximale de développement) peut entraîner une augmentation de leur vitesse de développement, favorisant une apparition plus précoce, une augmentation du nombre de cycles par an, une modification des aires de répartition des arthropodes et une perturbation de leur fécondité (de manière positive ou négative suivant l'espèce et la température). Ces effets sont valables pour les ravageurs des cultures, ainsi que pour leurs prédateurs (Brisson & Levraut, 2010).

Les dates de captures montrent qu'il n'y a pas de tendance à l'avancement comme on aurait pu le penser au vu du réchauffement des températures et de l'avancement des dates de floraison des pommiers (cf. fiches « Température moyenne annuelle » et « Date de floraison des pommiers *Golden delicious* »). Cela illustre le fait que les cycles phénologiques des différentes espèces ne réagissent pas de la même manière au changement climatique et que cela peut provoquer une asynchronie de la phénologie de deux espèces liées dans leurs développements (parasitisme, prédation, pollinisation, ...) (Brodeur *et al.*, 2013).

Au vu de la forte variabilité interannuelle, l'absence de significativité de la tendance peut provenir de la faible période de mesures de données (18 ans). Afin de vérifier cela, il est impératif d'allonger la période de mesure.

Pour aller plus loin : L'impact du changement climatique sur les ravageurs et pathogènes est unique à chaque espèce. L'analyse doit donc se faire au cas par cas.



Date de 1^{ère} capture du Carpocapse

A RETENIR

Les insectes sont des organismes qui réagissent aux variations du climat en modifiant leurs rythmes biologiques.

Le carpocapse n'a pas vu d'évolution de sa date de première capture depuis 1998 dans la région Pays de la Loire, malgré l'élévation des températures et l'avancement des dates de floraison des pommiers.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.

BRODEUR J., BOIVIN G., BOURGEOIS G., CLOUTIER C., DOYON J., GRENIER P., GAGNONA A. E. ; 2013. Impacts des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels : conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec. Rapport Ouranos. Rapport final du projet Ouranos N°5500005-103.

MAAARO ; 2011. Carpocapse de la pomme. Ontario [en ligne]. Disponible sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/codling.htm>. Consulter le 29/08/2016.



Croissance printanière de l'herbe

Nature et source des données

Données fournies par la Chambre départemental de la Mayenne.

Indicateurs

- Le Horps : 2000 - 2015
- Bazouges : 2000 - 2015

Calcul de l'Indicateur

Les données de la croissance de l'herbe sont mesurées toutes les semaines sur une dizaine de parcelles de l'exploitation grâce à un herbomètre de la 1^{ère} semaine de mars à la 2^{ème} semaine de juin.

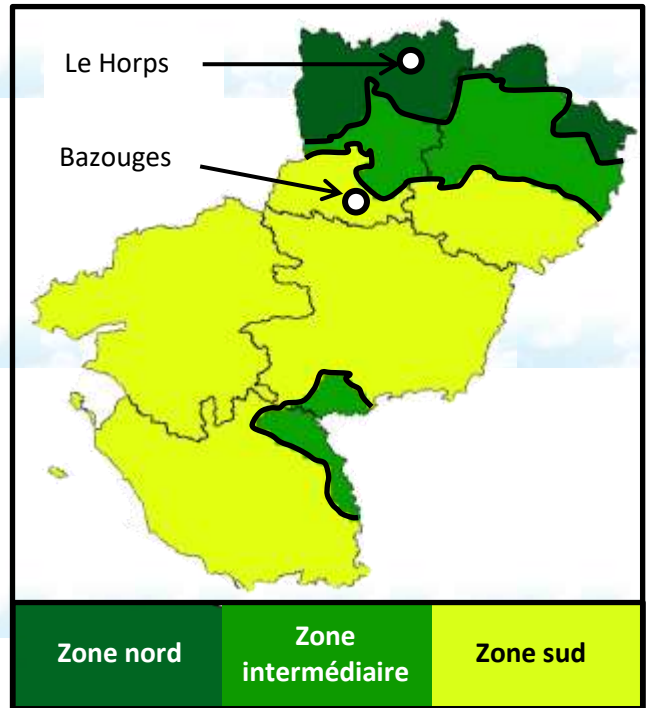
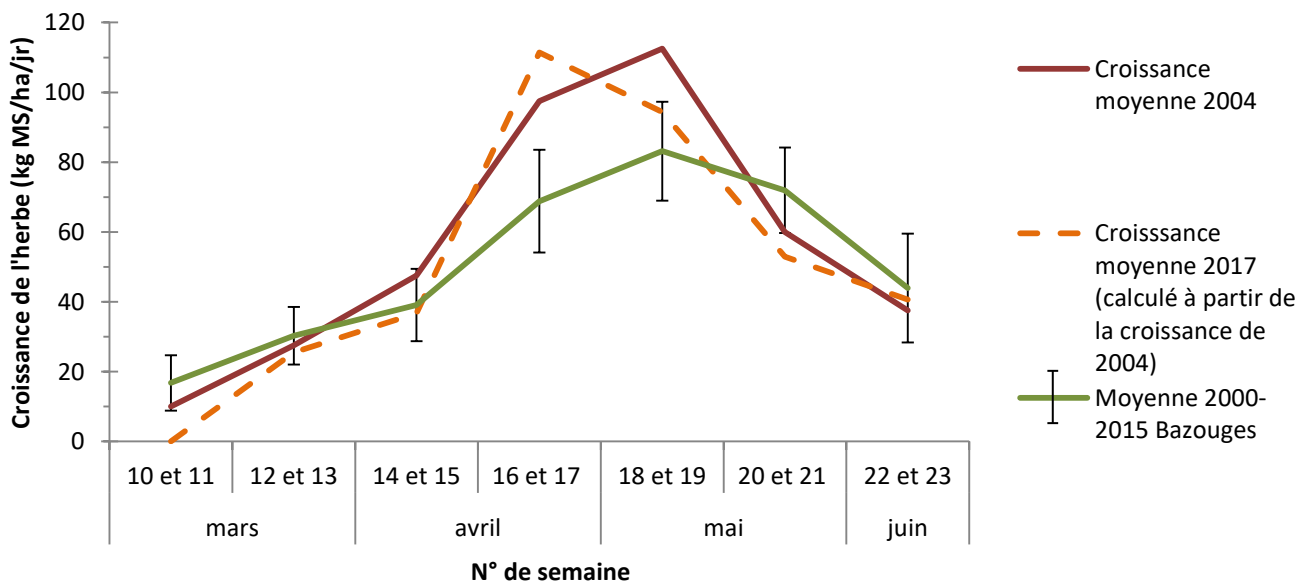


Figure 6: Carte du zonage climatique de la pousse de l'herbe des Pays de la Loire calculée à partir de paramètres climatiques (températures, bilan hydrique et rayonnement) confrontés aux profils de pousse mesurés dans la région.

Évolution observée

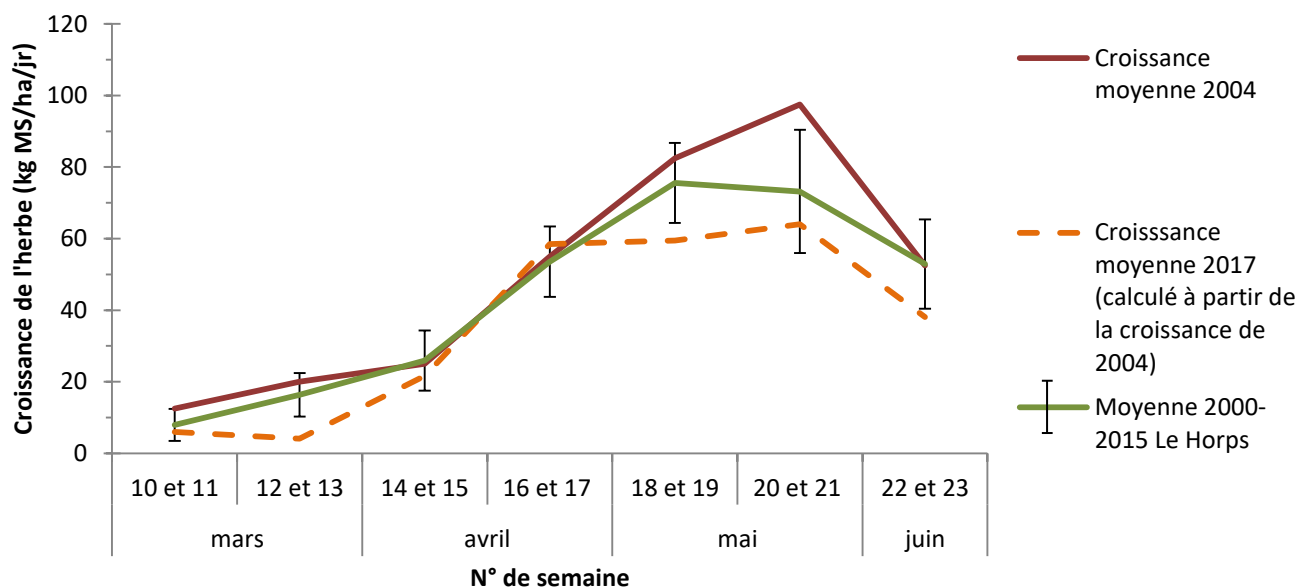
Courbes de croissance de l'herbe à Bazouges (zone climatique sud)





Croissance printanière de l'herbe

Courbes de croissance de l'herbe au Horps (zone climatique nord)



Analyse

L'évolution de la croissance de l'herbe à Bazouges de la première quinzaine de mars à la première quinzaine de juin sur la période 2000 – 2015 montre que :

- les tendances observées sur l'ensemble de la période sont de :
 - + 0,9 kg MS/ha/jr par décennie en mars (NS) ;
 - + 9,0 kg MS/ha/jr par décennie en avril (NS) ;
 - 13,9 kg MS/ha/jr par décennie en mai (NS) ;
 - 5,0 kg MS/ha/jr par décennie sur la première quinzaine de juin (NS) ;
- aucune tendance n'est significative à Bazouges ;
- les variations interannuelles de croissance sont fortes ($R^2 < 0,15$).

L'évolution de la croissance de l'herbe à Le Horps de la première quinzaine de mars à la première quinzaine de juin sur la période 2000 – 2015 montre que :

- les tendances observées sur l'ensemble de la période sont de :
 - 10,0 kg MS/ha/jr par décennie en mars ($P > 0,05$) soit une perte de 15 kg/ha/jr en 15 ans ;
 - + 9,0 kg MS/ha/jr par décennie en avril (NS) ;
 - 21,8 kg MS/ha/jr par décennie en mai ($P > 0,05$) soit une perte de 33 kg/ha/jr en 15 ans ;
 - 11,1 kg MS/ha/jr par décennie sur la première quinzaine de juin (NS) ;
- la diminution de la croissance de l'herbe est significative sur les mois de mars et de mai à Le Horps ;
- les variations interannuelles de croissance sont fortes ($R^2 < 0,3$).



Croissance printanière de l'herbe

Cette étude porte sur l'étude du profil de croissance printanière de l'herbe de deux exploitations situées dans deux zones climatiques différentes (zone nord pour Le Horps et zone sud pour Bazouges). Ces deux sites sont des exploitations laitières avec des prairies herbagées au Horps et des prairies Ray-grass/trèfle à Bazouges.

Les courbes des graphiques représentent :

- la courbe de croissance (par deux semaines) de l'année 2004. 2004 est l'année choisie car la courbe de croissance ressemble à une courbe de référence bien que la production soit plus élevée que la moyenne;
- une courbe de croissance (par deux semaines) de l'année 2017 simulée à partir des données de 2004 et des évolutions tendancielle calculées sur la période 2000 – 2015;
- une courbe qui regroupe la moyenne des croissances (par deux semaines) de 2000 à 2015 par site avec les écarts types représentant les variations interannuelles de croissance sur cette même période.

La zone climatique sud (cf. Figure 6) est marquée par un démarrage précoce de la végétation et par un déficit hydrique estival qui pénalise fortement la croissance de l'herbe dès le mois de juin. Lorsque l'on observe les moyennes de croissance mensuelle de l'herbe à Bazouges, aucune tendance n'est significative sur la période 2000 – 2015. Les différences que l'on peut voir entre la courbe de croissance de 2004 et la courbe de 2017 sont dues à des variations interannuelles.

La zone climatique nord (cf. Figure 6) correspond à une zone où la croissance de l'herbe est plus tardive, due aux températures plus fraîches en fin d'hiver et au déficit de rayonnement. Les sols sont profonds, ce qui permet de maintenir une croissance de l'herbe en fin de printemps et pendant l'été. Sur le site du Horps la croissance de l'herbe est significativement en baisse sur les mois de mars et de mai. Sur les mois d'avril et de juin les tendances ne sont pas significatives. La baisse de la production sur ces périodes est intrigante. On peut les lier à l'augmentation de l'ETP printanier et à la hausse des jours estivaux mais on ne peut pas écarter l'hypothèse d'une modification des pratiques culturales (cf. fiches « Cumul ETP saisonnier » et « Nombre de jours estivaux »).

Cette étude est à prendre avec du recul. La période de mesure est courte et ne permet pas de masquer les effets des variations interannuelles. De plus l'étude est menée sur seulement deux exploitations. De ce fait, l'importance des pratiques culturales n'est donc pas à écarter dans les tendances observées. Cela ne permet pas de comparer les deux sites, ni de les prendre comme référence pour leur zone climatique.



Croissance printanière de l'herbe

Le réchauffement climatique provoque des besoins en chaleur qui sont et seront plus rapidement atteints pour les prairies (cf. fiche « Température moyenne saisonnière »). Une anticipation des stades phénologiques, déjà repérable aujourd'hui, est à prévoir (Chuine *et al.*, 2006). Comme la température, le rayonnement et le CO₂ sont impliqués dans le potentiel de croissance des végétaux. Les estimations faites dans le projet CLIMATOR au niveau de la zone Ouest sur le rayonnement global annuel et sur le taux de CO₂ semblent envisager des augmentations et ce tout au long du XXI^{ème} siècle (Brisson & Levraut, 2010). Par contre, la température d'échauffage à 18°C est nettement inférieure à celle du blé (25°C). Or une hausse des jours estivaux pour une valeur de 25°C est déjà perceptible dans l'Est de la région (cf. fiche « Nombre de jours estivaux »). On peut penser que ce phénomène sera plus prononcé pour la pousse de l'herbe.

Selon le projet CLIMATOR, le réchauffement hivernal et la réduction des jours de gel devraient entraîner une hausse de la production hivernale et du début de printemps. Le pic de production printanier devrait être avancé et plus marqué du fait de l'anticipation des stades phénologiques et du réchauffement printanier. En revanche le déficit estival se creuserait et s'allongerait nettement, provoqué par les hausses d'échauffage thermique et de déficit hydrique (Brisson & Levraut, 2010; Ruget *et al.*, 2013). Enfin la production automnale devrait s'amplifier grâce au réchauffement automnal. Les Pays de la Loire devraient afficher dans un futur proche une hausse sur l'année de sa production.

Pour aller plus loin : Il faut continuer à mesurer la pousse de l'herbe en gardant les sites historiques afin de constituer une base de données. Les dates de mise à l'herbe et de reprise de la végétation sont des indicateurs qui permettraient de vérifier si un avancement de la période de production de l'herbe est possible, dans la limite de la portance des sols.



Croissance printanière de l'herbe

A RETENIR

Une tendance à la baisse de la croissance de l'herbe est observée sur 2 mois au Horps. Aucune autre évolution de la pousse de l'herbe n'est significative sur les deux sites de la période de mars à la mi-juin.

Au vu du nombre de biais méthodologiques, cette étude est à prendre avec du recul. Elle met en évidence l'importance de garder les mêmes sites de mesures d'une année sur l'autre.

Les études climatiques de CLIMATOR montrent que la courbe de production de l'herbe devrait se modifier, principalement sous l'effet de la hausse des températures et du déficit hydrique. La période de production devrait s'allonger sur la saison hivernale. Les pics de production au printemps et en automne seront amplifiés. La pause estivale devrait s'aggraver et s'étendre.



Pour en savoir plus

BRISSEON N., LEVRAULT F. ; 2010. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010)*. ADEME.

CHUINE I., MORIN X., ROY J., SALAGER J-L., SONIE L., STAUDT M. ; 2006. Fonctionnement d'une communauté végétale soumise à un réchauffement atmosphérique et à une sécheresse édaphique. Programme GICC (Gestion et Impact du Changement Climatique), séminaire de restitution, 11-12 mai 2006, Paris.

DUBREUIL V., PLANCHON O., LAMY C., BONNARDOT V., QUÉNOL H. ; 2012b. Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: *Changement climatique dans l'Ouest*, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30

DURAND J. L., LOREGAU J., PICON-COCHARD C., VOLAIRE F. ; 2013. Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fouragères et prairiales au changement climatique. Journées AFPP, 26-27 mars. 49-68.

RUGET F., DURAND J. L., RIPOCHE D., GRAUX A. I., BERNARD B., LACROIX B., MOREAU J. C. ; 2013. Impacts des changements climatiques sur les productions de fourrages (prairies, luzerne, maïs) : variabilité selon les régions et les saisons. Journées AFPP, 26-27 mars. 35-48.



Rendement en blé tendre

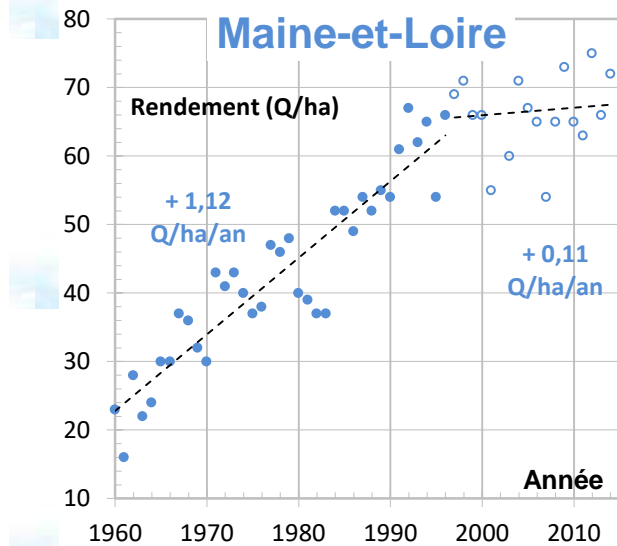
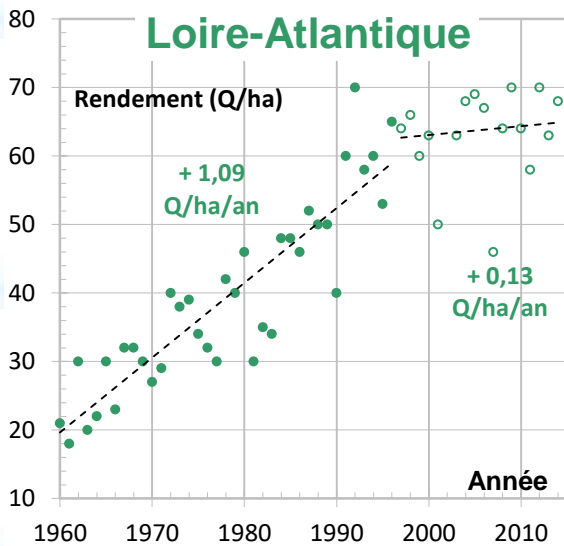
Nature et source des données

Données fournies par DRAAF, FranceAgriMer et Agreste.

Indicateurs

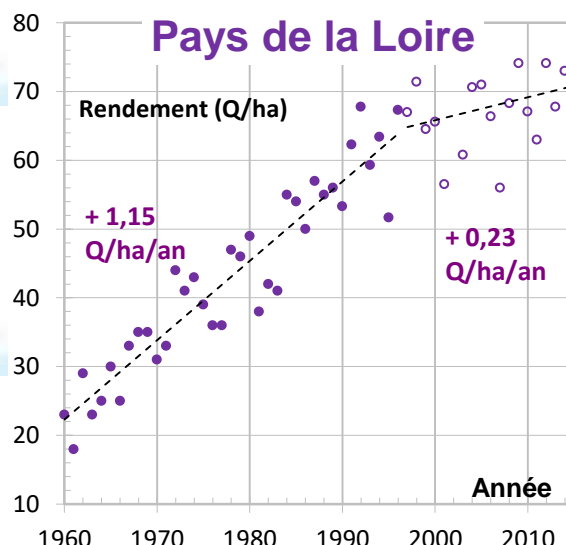
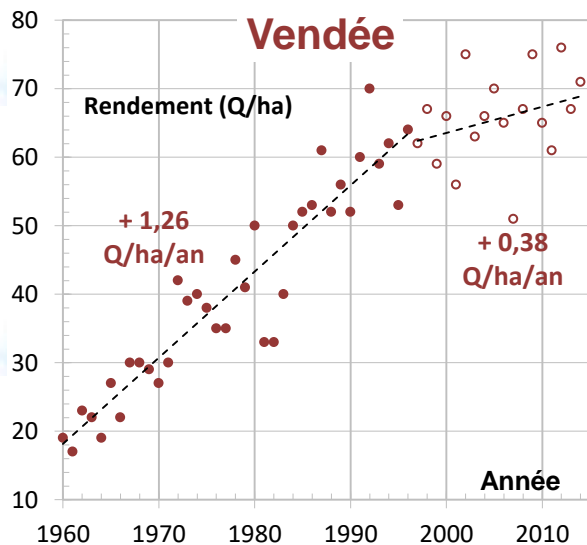
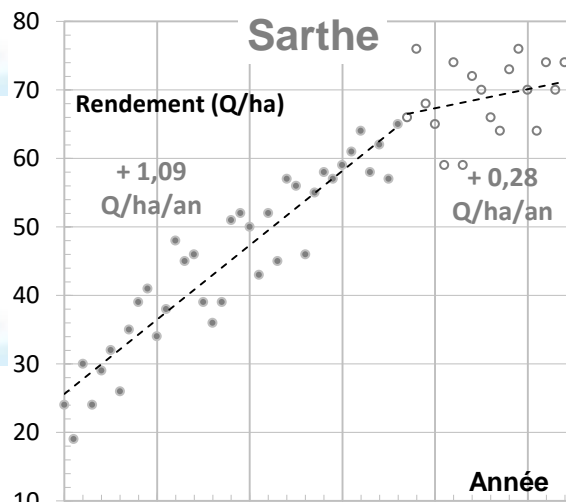
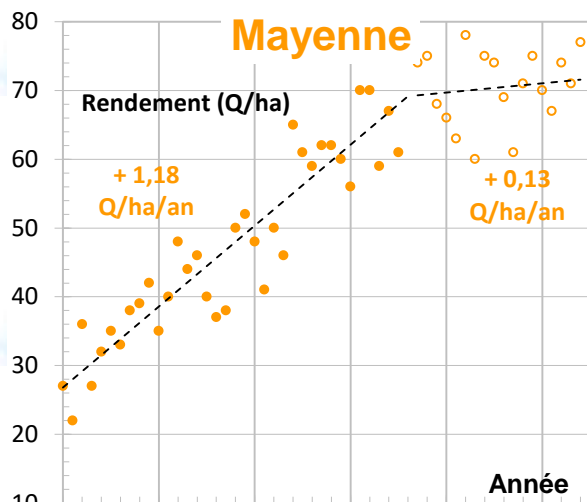
- Départements : 1960 à 2015
- Région : 1960 à 2015

Évolution observée





Rendement en blé tendre



Analyse

L'évolution des rendements en blé tendre observée en Pays de la Loire depuis 1960 et pour chaque département montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période 1960-2015 sont croissantes, mais marquées par une rupture de pente à la fin des années 90 :
+1,15 Q/ha/an en Pays de la Loire entre 1960 et 1996 ($P > 0,05$) soit un gain de plus de 40 quintaux en 36 ans ;
+0,23 Q/ha/an en Pays de la Loire de 1996 à 2015 (NS) ;
- les résultats sont similaires pour les 5 départements de la région.



Rendement en blé tendre

L'accroissement des rendements du blé tendre a marqué un plafonnement à partir de la fin des années 90. Ce phénomène n'est pas spécifique à notre région : il s'observe dans l'ensemble de la France ainsi que dans le reste de l'Europe (Ray *et al.*, 2012).

Le progrès génétique compense les pertes de rendement. Le gain de la génétique est stable depuis 1960 sur les variétés avec ou sans traitement fongicide (+ 0,9 Q/ha/an). Les progrès génétiques sur les variétés sans traitement indiquent également que la sensibilité du blé aux maladies n'est pas la cause de la stagnation des rendements (Brisson & Levrault, 2010). De plus, il n'y a pas de corrélation entre les années à forte nuisibilité et les années avec de faibles rendements (Gate *et al.*, 2009b).

La modification des pratiques culturales a contribué en partie à la diminution des rendements. Entre 1995 et 2006, il y a eu une forte modification dans le choix du précédent dans les rotations culturales du blé. En 1995, le pois protéagineux représentait un quart des précédents contre 10% en 2006. Le colza a connu une évolution contraire. La diminution de l'enrichissement du sol en azote par la légumineuse a entraîné une perte de rendement de l'ordre de - 0,1 Q/ha/an sur la période 1995 – 2006 (Gate *et al.*, 2009a).

La perte de rendement due au plafonnement de l'apport azoté, provoqué par la Directive Nitrates 91/676/CEE (1991), est faible (- 0,1 Q/ha/an). Elle est en partie compensée par le fractionnement des apports de nitrates (3 apports au lieu de 2 permettent une meilleure efficacité) (Brisson & Levrault., 2010).

La majorité de la perte de rendement peut être reprochée aux changements du climat (Brisson & Levrault, 2010). Deux facteurs climatiques sont à l'origine de cette stagnation de rendement : l'augmentation de l'échaudage et l'augmentation de la période de sécheresse pendant l'élongation de la tige et le remplissage des grains (Gate *et al.*, 2009b).

Les résultats climatiques, obtenus précédemment, ont montré une augmentation significative des journées estivales et d'une possible augmentation des jours échaudants (cf. fiches « Nombre de jours estivaux » et « Nombre de jours échaudants »). L'augmentation de l'ETP et la diminution printanière du contenu en eau des sols sont les prémices d'une tendance à l'accroissement des sécheresses printanières et estivales dans notre région (malgré la stagnation du DH et du nombre de jours en sécheresse) (cf. fiches « Cumul saisonnier de l'ETP », « Déficit hydrique climatique saisonnier », « Nombre de jours en sécheresse » et « Contenu saisonnier en eau des sols »). On peut en déduire que la cause principale de la perte de rendement du blé en Pays de la Loire depuis 1996 est due à un accroissement des journées estivales associé au renforcement de la sécheresse.

La stagnation des rendements depuis le milieu des années 90 dans la région Pays de la Loire est due à des pertes engendrées par le climat (échaudage et stress hydrique) et à des modifications de pratiques culturales, le tout compensé par la stabilité des progrès génétiques.



Rendement en blé tendre

A RETENIR

Il est observé en région Pays de la Loire comme dans le reste de la France un plafonnement des rendements de blé tendre à partir du milieu des années 90. Ce phénomène est en majorité lié au changement climatique, notamment à l'accroissement des températures en phase de fin de cycle du blé qui pénalise la croissance des grains et au renforcement de la sécheresse (Brisson & Levrault, 2010).



Pour en savoir plus

BRISSON N., GATE L., GOUACHE D., CHARMET G., OURY F.X., HUARD F. ; 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field crops research*(119), 201-212.

GATE P., BRISSON N., CHARMET G., GOUACHE D., & OURY F. X. ; 2009a. Les causes du plafonnement du rendement du blé en France ? Changement climatique : *Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, 20-34. Paris.

GATE P., VIGNIER L., DEUDON O., & GOUACHE D. ; 2009b. Changement climatique: impact sur le blé en France et pistes d'adaptation. *Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, 85-99. Paris.

RAY D. K., RAMANKUTTY N., MUELLER N. D., WEST P. C., & FOLEY J. A. ; 2012. Recent patterns of crops yield growth and stagnation. *Nature communications*(3), 7p.



Rendement en maïs ensilage

Nature et source des données

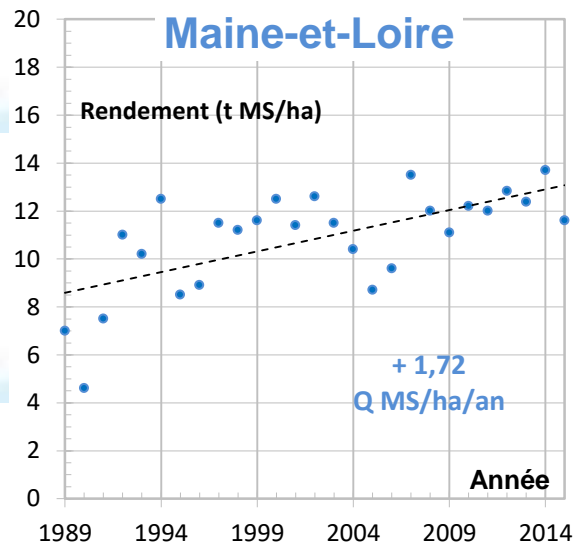
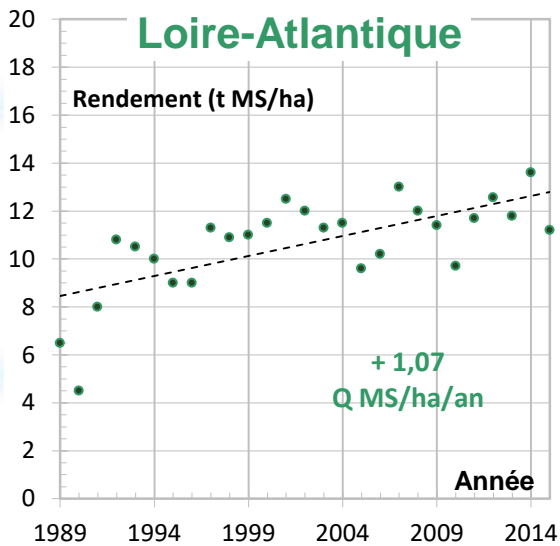
Données fournies par DRAAF, FranceAgriMer et Agreste

Les données utilisées proviennent d'une moyenne des surfaces de maïs irriguées et non irriguées

Indicateurs

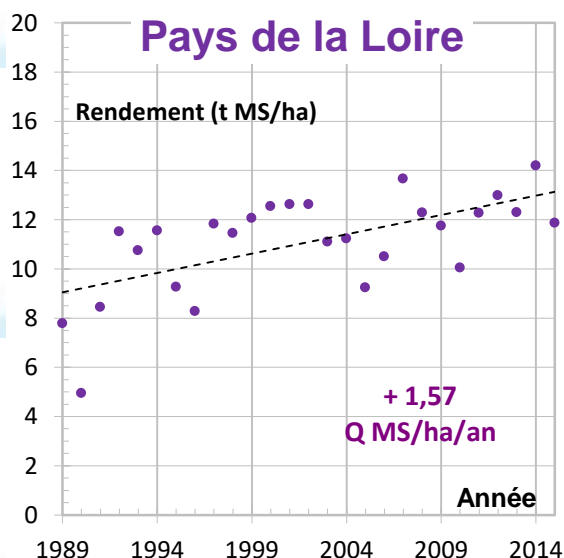
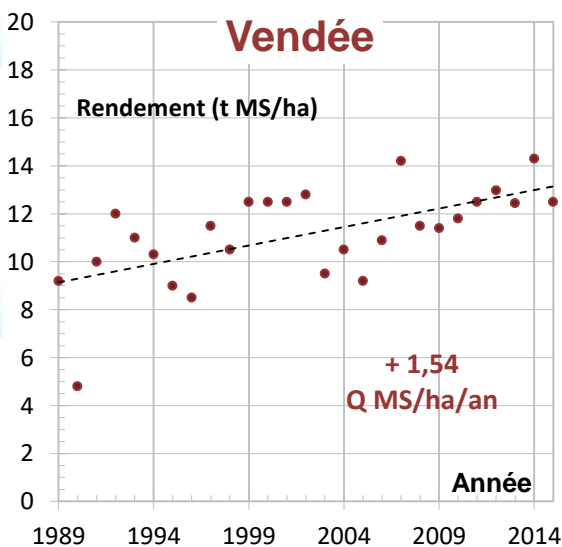
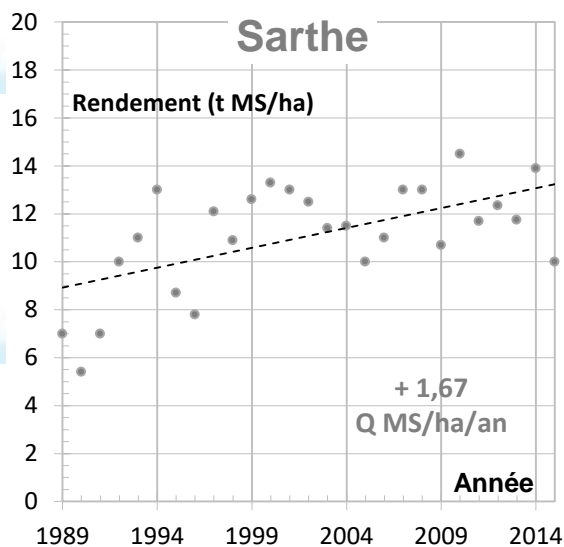
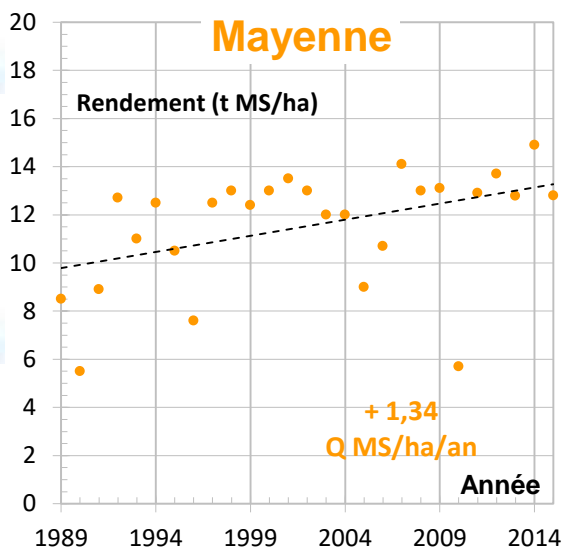
- Départements : 1989 à 2015
- Région : 1989 à 2015

Évolution observée





Rendement en maïs ensilage



L'évolution des rendements en maïs ensilage observée en Pays de la Loire depuis 1989 et pour chaque département montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période 1989-2015 sont croissantes :
+1,57 Q MS/ha/an en Pays de la Loire entre 1989 et 2015 (P<0,01) soit un gain de plus de 5,8 t MS en 37 ans
- les résultats sont similaires pour les 5 départements de la région.



Rendement en maïs ensilage

Le maïs ensilage connaît une forte augmentation de rendement sur la période 1989 – 2015 sur la région Pays de la Loire (+1,57 Q MS/ha/an) et sur les cinq départements. Ces résultats sont semblables au reste de la France où le gain de rendement du maïs grain (même espèce) est de 1,4 Q/ha/an depuis 1951, avec un léger frein depuis 1990 (1,2 Q/ha/an) (Lorgeou *et al.*, 2009). Cette augmentation se retrouve dans les pays du Nord de l'Europe. Dans les pays du Sud et de l'Est de l'Europe, comme l'Italie ou la Hongrie, le rendement du maïs stagne (Ray *et al.*, 2012).

L'apport du progrès génétique pour la culture de maïs est de + 1 à 2% supplémentaire par an depuis 23 ans, soit un gain de 1 à 1,4 Q/ha/an pour le maïs grain. Les gains de rendement liés à l'amélioration génétique correspondent à la progression annuelle des rendements (Lorgeou *et al.*, 2009).

Sur la période 1971 – 2015, la disponibilité thermique a augmenté dans la région Pays de la Loire (cf. fiche « Degré jour du maïs »), réduisant le temps de croissance de la plante et limitant la durée du cycle de la culture. Cela peut conduire à une diminution de la quantité de rayonnement reçue par la plante pendant son développement. Ce phénomène s'illustre par un avancement des dates de récolte en France, de l'ordre d'une semaine par décennie entre 1969 et 2003 (Lorgeou *et al.*, 2009). La durée du cycle étant un facteur de moins en moins limitant, des variétés plus tardives sont utilisées pour valoriser au mieux la période de rayonnement (Brisson & Levrault, 2010).

Le réchauffement de la température a aussi provoqué un déplacement géographique vers le nord d'espèces de ravageurs (ex. Sésamie) et l'accélération de leurs cycles de reproduction (ex. Pyrale) qui perturbent les cultures (Lorgeou *et al.*, 2009).

Le rendement du maïs est fortement influencé par la disponibilité de l'eau, de la moitié du stade montaison jusqu'au stade grains pâteux. Cette période sensible au stress hydrique s'étend de la mi-juillet à la mi-août pour un semis mi-avril. Un stress hydrique trop important provoque des problèmes de fécondation et des avortements peuvent apparaître (Arvalis, 2016). Cependant, une diminution des surfaces irriguées de maïs à l'échelle régionale est observée sur les dix dernières années, en partie provoquée par des restrictions croissantes de l'accès à l'eau en été (Lerbourg, 2012). Le nombre de sécheresses estivales a augmenté dans les deux dernières décennies, accompagné de températures plus élevées, sans que les conditions hydriques n'aient évolué sur la période estivale (cf. fiches « Cumul du déficit hydrique climatique » et « Contenu saisonnier en eau des sols »). Ces conditions ont engendré des restrictions de l'utilisation de l'eau plus ou moins importantes suivant l'état des réserves hivernales et elles ont provoqué des pertes significatives de rendement (Lorgeou *et al.*, 2009).



Rendement en maïs ensilage

A RETENIR

Il est observé en région Pays de la Loire une augmentation des rendements de maïs ensilage sur la période 1989 – 2015. L'augmentation des températures et du stress hydrique pendant les phases clés du cycle du maïs pénalisent la croissance des grains (Brisson & Levrault, 2010).

Des voies complémentaires d'adaptation sont envisageables :

- l'amélioration et la diffusion des méthodes et du matériel d'irrigation;
- l'esquive de ces stress, par des dates de semis avancées et des choix de variétés plus précoces ;
- le recours à des variétés tolérantes aux stress hydriques, mais qui sont encore à l'étude.



Pour en savoir plus

ARVALIS. ; 2016. Stress hydrique. Les fiches accidents Maïs. [en ligne] Disponible sur : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=3&type_acc=5&id_acc=155. Consulté le 27/05/2016

BRISSON N. & LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). *Ademe*, 334p.

LERBOURG J. ; 2012. Des surfaces irrigables en baisse à partir de 2000. *Agriste Primeur*, 292, 4p.

LORGEOU J., PIRAUX F., RUGET F., LACROIX B., SOUVERAIN F., CHARCOSSET A., BOUTHIER A., RENOUX J. P. ; 2009. Conséquence de l'évolution des conditions climatiques des 20 dernières années sur la production de maïs grain et stratégies d'adaptation. *Changement climatique: conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, (pp. 35-49). Paris.

RENOUX J. P. ; 2015. *Les experts maïs. Episode 2. L'irrigation : une chance pour l'agriculture française*. AGPM. [en ligne] Disponible sur : https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjvn4-s5fnMAhWEPRoKHYY9DTkQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agpm.com%2Fiso_album%2Fexpertsmais_episode_2_irrigation_bd.pdf&usq=AFQjCNHfvKOSKP38dSPhKeNBwj9-qsYWKg&sig2=c38r Consulté le 27/05/2016.

RAY D. K., RAMANKUTTY N., MUELLER N. D., WEST P. C., & FOLEY J. A. ; 2012. Recent patterns of crops yield growth and stagnation. *Nature communications*(3), 7p



Rendement en pois protéagineux

Nature et source des données

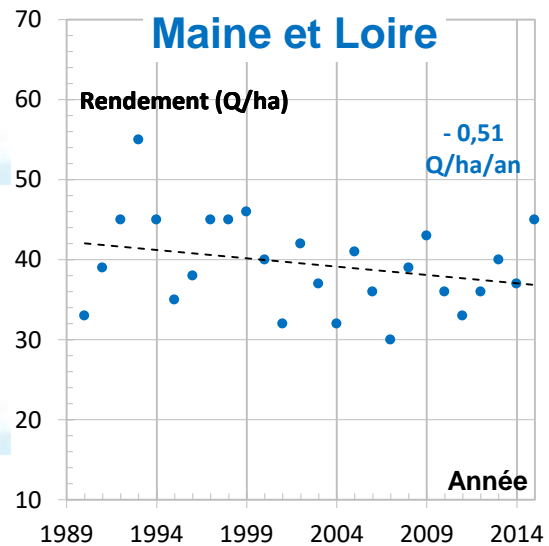
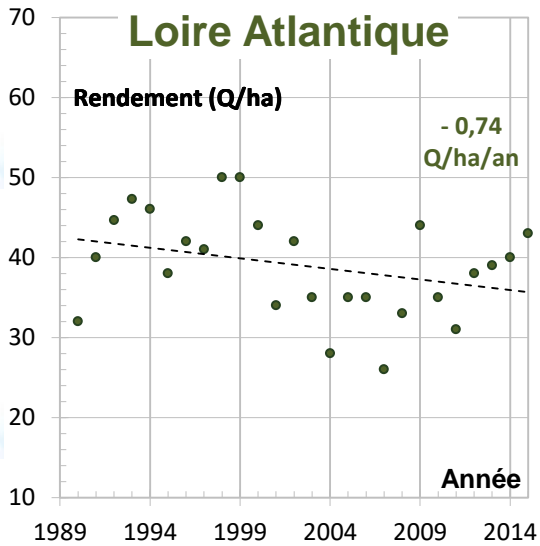
Données fournies par DRAAF, FranceAgriMer et Agreste

Indicateurs

- Départements : 1989 à 2015
- Région : 1989 à 2015



Évolution observée

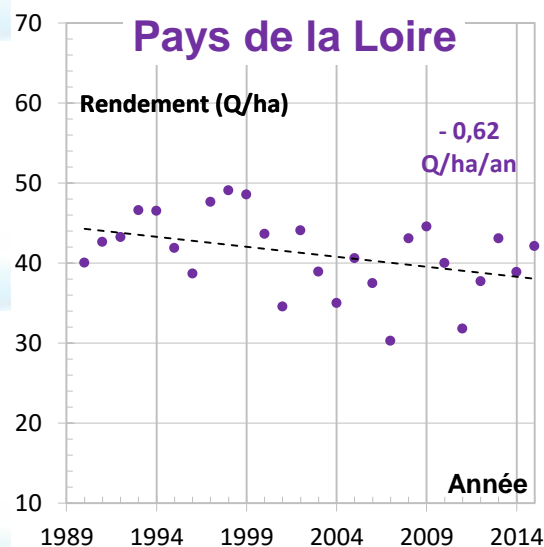
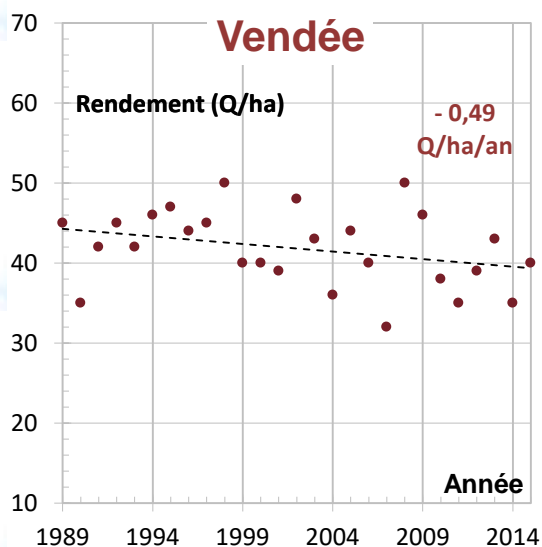
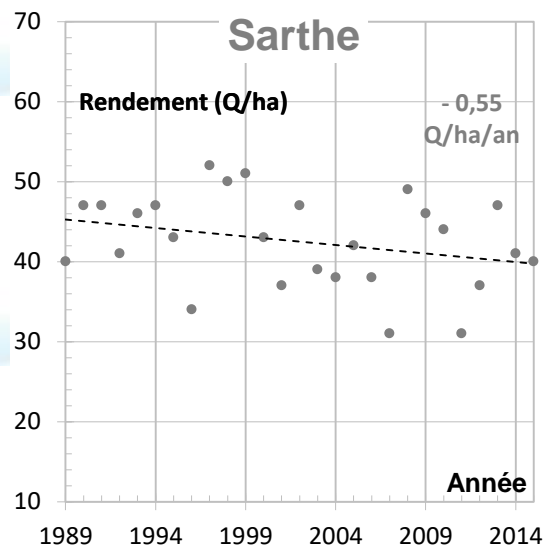
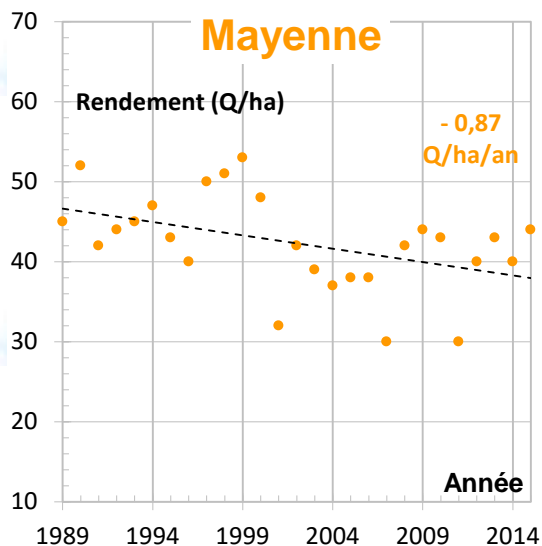


3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Rendement en pois protéagineux



Analyse

L'évolution des rendements en pois protéagineux observée en Pays de la Loire depuis 1989 et pour chaque département montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période 1989-2014 sont :
 - **significativement décroissantes** pour la moyenne régionale (- 0,62 Q/ha/an ; $P < 0,05$) et pour les départements de Loire Atlantique (- 0,74 Q/ha/an ; $P < 0,1$) et de Mayenne (- 0,87 Q/ha/an ; $P < 0,05$)
 - **non significative** pour les départements du Maine et Loire (- 0,51 Q/ha/an ; NS), Sarthe (- 0,55 Q/ha/an ; NS) et de Vendée (- 0,49 Q/ha/an ; NS)



Rendement en pois protéagineux

Le rendement du pois protéagineux dans les départements de la région Pays de la Loire, n'a pas augmenté sur la période 1989 à 2015. Au contraire, ce rendement est en diminution depuis 26 ans sur les départements de Loire Atlantique et de Mayenne, et surtout sur la moyenne régionale. Ce phénomène n'est pas spécifique à notre région : il s'observe, à quelques nuances près, dans d'autres régions françaises (Biarnès & Chaillet, 2012).

Il a été montré (Biarnès & Chaillet, 2012) que la diminution annuelle des rendements en pois protéagineux résultait en partie de conditions climatiques défavorables à la culture de pois protéagineux. Le stress hydrique et les fortes températures pendant la floraison et le remplissage des graines limitent le poids et le nombre des graines. Le stress hydrique est aussi un problème lors des jeunes stades, provoquant une carence en azote de la plante par une diminution de l'efficacité des symbioses avec les bactéries *Rhizobium leguminosarum*. L'irrigation est un moyen de garantir des rendements stables et de bonne qualité (taux en azote) (AgroParisTech, 2003).

L'augmentation du nombre de jours estivaux, provoquée par la hausse des températures observées sur la période 1971 – 2015, ne présage pas d'orientation climatique plus optimale pour le pois protéagineux dans notre région (cf. fiches « Nombre de jours estivaux » et « Température moyenne annuelle »).

La stratégie d'esquive de ces jours d'échauffage thermique et du stress hydrique en fin de cycle est un moyen possible d'adaptation pour pallier en partie à cette limitation, voire diminution des rendements. Cette esquive peut être obtenue par des semis plus avancés, l'utilisation de variétés plus précoces (AgroParisTech, 2003).

Ces solutions doivent cependant être réfléchies au vu d'autres risques liés au climat, comme l'impact sur les aspects sanitaires. Par exemple, l'antracnose du pois est la maladie la plus fréquente sur cette culture, pouvant causer des pertes de rendement allant jusqu'à 25 Q/ha. Cette maladie est favorisée par des pluies fréquentes et par des semis précoces entre autres (Gate, 2012).

Pour aller plus loin : La connaissance de l'évolution du nombre de jours de pluie par mois renseignerait sur l'évolution du risque sanitaire pendant certains stades critiques de la plante (floraison par exemple).



Rendement en pois protéagineux

A RETENIR

Il est observé en région Pays de la Loire une diminution ou une stagnation des rendements de pois protéagineux depuis la fin des années 1980. Ce phénomène est en partie lié au changement climatique et notamment à l'augmentation des jours échaudant et au stress hydrique à partir de la floraison qui pénalise la croissance des grains.

L'éviction de ces stress, par des dates de semis avancées et des choix de variétés plus précoces, tout en prenant en compte les risques sanitaires est une voie complémentaire d'adaptation.



Pour en savoir plus

AGROPARISTECH. ; 2003. *Le pois protéagineux*. Consulté le 26/05/2016, sur Agroparistech: <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/PHYTOTECHNIE/.../pdf/pois.pdf>

BIARNES V., & CHAILLET I. ; 2012. *Analyse fréquentielle du climat - Impact sur le rendement*. Consulté le 26/05/2016, sur UNIP : www.unip.fr/uploads/media/02_Climat_Biarnes.pdf

GATE P. ; 2012. Pois protéagineux: atouts, voies d'améliorations, perspectives et recommandations pour un développement plus durable. *Agrophysiologie des protéagineux*, (p. 12). Paris.



Leviers d'adaptation – Culture de blé

Analyse

La majeure partie de la baisse de rendement du blé est due à un nombre de plus en plus important d'accidents d'échaudage (Gate *et al.*, 2009). La stratégie d'esquive de ces jours d'échaudage thermique est un moyen possible d'adaptation pour pallier en partie à cette limitation des rendements. Cette esquive s'obtient par des semis plus avancés et par l'utilisation de variétés plus précoces, profitant de l'augmentation de la disponibilité thermique. Ces solutions doivent cependant être réfléchies au vu d'autres risques liés au climat dans le cas d'un avancement des phénophases :

- le gel méiose ou le gel d'épis à 1 cm restent des risques à prendre en compte même s'ils tendent à se réduire de par la diminution du nombre de jours de gel sur les mois de mars et avril (cf. fiche « Nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril »);
- le semis précoce est limité par le manque d'eau des sols à la sortie de l'été, qui tend à s'intensifier dans un futur moyen (Brisson & Levrault, 2010);
- les semis précoces sont également plus favorables aux pathogènes (piétins, ...).

Cette stratégie d'esquive est aussi limitée par les besoins physiologiques du blé d'hiver en vernalisation et en photopériode (Brisson & Levrault, 2010).

Le retour d'une légumineuse (pois, trèfle, luzerne, ...) comme précédent permettrait de combler les forts besoins de la culture en azote et de favoriser un bon enracinement, menant à une meilleure résistance aux stress abiotiques. C'est la symbiose Légumineuse - Rhizobium qui permet cet enrichissement du sol en azote. De même, le mélange pois / céréales est une solution pour accroître le rendement brut des deux espèces. Le mélange permet de limiter les pertes de rendement dues aux maladies, aux adventices et à la verse, et cela entraîne un bon taux en protéines au blé sans apport d'azote. De plus, les besoins en eau et en nutriments sont différents et décalés dans le temps. Malheureusement, la complexité du travail supplémentaire (fabrication du mélange, gestion de certains bio-agresseurs, ...) et la variation importante de la proportion de pois dans la récolte d'une année reste un frein à l'utilisation de cette pratique dans la région (Boissinot, 2015).

La substitution du blé par l'orge pourrait être avantageuse dans les terrains séchant avec une faible réserve utile (RU) (Gate *et al.*, 2009).

L'amélioration variétale orientée vers la tolérance aux stress thermiques et hydriques est une autre voie, actuellement à l'étude. Des nouvelles références régionales de dates de semis et de choix de variétés vont devoir être progressivement élaborées au titre de l'adaptation au changement climatique (Gate *et al.*, 2009).

		Leviers						
		Blé	Semis précoce	Utilisation de variétés tardives	Utilisation de variétés précoces	Variétés de printemps	Précédent légumineuse	Substitution par l'orge
Evolution climatique	Augmentation du nombre de journées estivales		Esquive les risques d'échaudage		Esquive les risques d'échaudage		Meilleur enracinement	Plante plus résistante à la sécheresse
	Augmentation des degrés jour		Mise à profit de l'augmentation d'énergie	Mise à profit de l'augmentation d'énergie		Mise à profit de la souplesse phénologique de la variété de printemps		
	Diminution du nombre de jours de gel		Diminution du risque de gel			Diminution du risque de gel		

Tableau X : Pistes d'adaptation au changement climatique pour la culture de blé





Leviers d'adaptation – Culture de blé

A RETENIR

Plusieurs solutions sont envisageables pour lutter contre les effets du changement climatique :

- mettre en place une stratégie d'esquive (semis et variétés précoces) pour éviter de faire coïncider les phases sensibles avec les jours d'échaudage, tout en prenant en compte les risques liés à une culture de blé précoce ;
- favoriser une culture de légumineuse avant le blé pour permettre une meilleure implantation de la culture ;
- favoriser les variétés les plus tolérantes aux stress thermiques et hydriques.



Pour en savoir plus

BOISSINOT F. (2015). Cultiver du blé panifiable : "une association réussie avec le pois protéagineux". *Grain de réussite Les agriculteurs témoignent de leurs réussites*(2), 6.

BRISSON N. & LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). *Ademe*, 334p.

GATE P., VIGNIER L., DEUDON O., & GOUACHE D. ; 2009. Changement climatique: impact sur le blé en France et pistes d'adaptation. *Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, (pp. 85-99). Paris.

LE PICHON D. ; 2011. Alternative à l'ensilage de maïs le sorgho sucrier BMR. *Cap élevage*(54), 16-18.

LORGEOU J., PIRAUX F., RUGET F., LACROIX B., SOUVERAIN F., CHARCOSSET A., BOUTHIER A., RENOUX J. P. ; 2009. Conséquence de l'évolution des conditions climatiques des 20 dernières années sur la production de maïs grain et stratégies d'adaptation. *Changement climatique: conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, (pp. 35-49). Paris.

RENOUX J. P. ; 2015. *Les experts maïs. Episode 2. L'irrigation : une chance pour l'agriculture française*. Consulté le 27/05/2016, sur AGPM:

https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjvn4-s5fnMAhWEPRoKHYY9DTkQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agpm.com%2Fiso_album%2Fexpertsmais_episode_2_irrigation_bd.pdf&usq=AFQjCNHfvKOSKP38dSPhKeNBwj9-qsYWKg&sig2=c38r.



Leviers d'adaptation – Culture de maïs

Analyse

La disponibilité thermique s'améliorant (cf. fiche « Degré jour du maïs »), il est possible de favoriser l'usage de variétés plus tardives dans le cas où la culture est irriguée. Cela permet d'augmenter les rendements en maïs ensilage ou grain dans notre région (car l'eau est le facteur limitant). L'usage de l'irrigation est une solution pour garantir des rendements stables d'une année à l'autre. Elle ne couvre actuellement que la moitié des surfaces de maïs et cette surface est en stagnation en France depuis une vingtaine d'années. De plus l'amélioration du matériel (aspersion, goutte à goutte...) et des conditions d'utilisation (absence de vent, ...) permettrait de limiter les pertes d'eau (Renoux, 2015).

Seulement, l'eau risque de devenir une ressource plus rare en saison estivale dans les prochaines années. La baisse des débits des fleuves et des aquifères associées à l'augmentation des températures, risque d'entraîner une augmentation du nombre de restrictions ou d'interdictions d'utilisation de l'eau en irrigation, ce qui serait alors très impactant pour les rendements. Il faut dans ce cadre favoriser les retenues d'eau avec remplissage en hiver pour l'irrigation estivale (Renoux, 2015).

Dans le cas de culture non irriguée, il faut alors favoriser une stratégie d'esquive pour éviter que les périodes les plus sèches coïncident avec les phases les plus sensibles de la culture, principalement la floraison et le remplissage des grains. Cela se fait par l'utilisation combinée de variétés plus précoces (cycle court) et de semis précoces (dès que la portance des sols le permet). De plus, la diminution du nombre jours de gel sur les mois de mars et d'avril limite le risque de gel lors des semis précoces (cf. fiche « Nombre de jours de gel du 1^{er} au 30 avril »). Cette stratégie est déjà utilisée dans les Mauges, notamment par les agriculteurs ne possédant pas d'irrigation (cf. fiche « Perception du changement climatique par les agriculteurs »).

Le gain de rendement passe aussi par la sélection de variétés plus tolérantes aux conditions de stress hydrique (Lorgeou, 2009).

La substitution du maïs fourrage par le sorgho grain ou le sorgho sucrier est une alternative intéressante lorsque l'eau est la ressource limitante. Le sorgho permet des rendements supérieurs au maïs ensilage dans des conditions de forte sécheresse, car il valorise mieux l'eau disponible. Le sorgho est par contre moins efficace pour la production de viande bovine, ne possédant pas une valeur alimentaire compatible avec des performances élevées (Le Pichon, 2011). La substitution du maïs par le sorgho n'est pas une alternative intéressante dans notre région pour notre climat actuel, mais les prédictions annoncent une augmentation des sécheresses qui pourraient rendre ce levier d'adaptation plus pertinent dans un futur moyen (Brisson & Levraut, 2010).



		Leviers					
		Maïs	Semis précoce	Utilisation de variétés tardives	Utilisation de variétés précoces	Irrigation / Amélioration du matériel d'irrigation	Substitution par le Sorgho
Evolution climatique	Augmentation des degrés jour		Allonge le cycle pour profiter de l'augmentation	Allonge le cycle pour profiter de l'augmentation d'énergie	Déplace le cycle pour esquiver les périodes de sécheresse	Garantie de rendements stables	
	Diminution du nombre de jours de gel		Déplace le cycle pour esquiver les périodes de sécheresse				
	Stagnation des conditions hydriques météorologiques				Déplace le cycle pour esquiver les périodes de sécheresses	Garantie de rendements stables	
	Augmentation des sécheresses agricoles au printemps					Garantie de rendements stables	Meilleure valorisation de l'eau

Tableau XI : Pistes d'adaptation au changement climatique pour la culture de maïs



Leviers d'adaptation – Culture de maïs

A RETENIR

Plusieurs solutions sont envisageables pour lutter contre les effets du changement climatique :

- irriguer permet de garantir des rendements stables;
- mettre en place une stratégie d'esquive (semis et variétés précoces) pour éviter de faire coïncider les phases sensibles avec les phases les plus stressantes;
- favoriser les variétés les plus tolérantes à la sécheresse;
- au climat actuel, la substitution du maïs fourrage par du sorgho (grain ou sucrier) n'est pas une alternative intéressante.



Pour en savoir plus

BRISSON N. & LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). *Ademe*, 334p.

LE PICHON D. ; 2011. Alternative à l'ensilage de maïs le sorgho sucrier BMR. *Cap élevage*(54), 16-18.

LORGEOU J., PIRAUX F., RUGET F., LACROIX B., SOUVERAIN F., CHARCOSSET A., BOUTHIER A., RENOUX J. P. ; 2009. Conséquence de l'évolution des conditions climatiques des 20 dernières années sur la production de maïs grain et stratégies d'adaptation. *Changement climatique: conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, (pp. 35-49). Paris.

RENOUX J. P. ; 2015. *Les experts maïs. Episode 2. L'irrigation : une chance pour l'agriculture française*. AGPM. [en ligne]. Disponible sur :

https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjvn4-s5fnMAhWEPRoKHYY9DTkQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agpm.com%2Fiso_album%2Fexpertsmais_episode_2_irrigation_bd.pdf&usq=AFQjCNHfvKOSKP38dSPhKeNBwj9-qsYWKg&sig2=c38r. Consulté le 27/05/2016



Leviers d'adaptation – Prairies

Analyse

L'augmentation des températures au printemps et à l'automne permet une utilisation de la prairie plus longue, plus précoce au printemps et plus tardive en automne. Il faut favoriser cette nouvelle période de production (dans la limite de la portance des sols), afin de compenser au mieux la perte de production estivale, provoquée par les fortes températures et le manque d'eau qui sont amenés à s'amplifier dans un futur proche (Brisson & Levrault, 2010 ; Ruget *et al.*, 2013). Par contre, le faible rayonnement pendant ces nouvelles périodes d'exploitations risque d'entraîner une baisse de la qualité fourragère (Durand, 2007). Cet aspect peut être compensé par un fort apport en azote dans les prairies avec une faible quantité de légumineuses pour améliorer le taux en protéines des rations et limiter les impacts de la sécheresse grâce à une meilleure ramification racinaire.

Favoriser les prairies multi espèces contenant des légumineuses permet une meilleure implantation des graminées, entraînant une meilleure résistance au stress hydrique du couvert. Cette méthode limite les variations de rendement d'une année sur l'autre, grâce à la variété d'espèces, mais le choix des espèces est important pour limiter le tri par les animaux et pour s'adapter au mieux aux différentes typologies édaphiques. Le choix des espèces peut se faire sur des différences de précocité et d'origine géographique (méditerranéenne par exemple) pour favoriser l'alternance des espèces dans le temps (CRA des Pays de la Loire, 2007 ; Durand *et al.*, 2013).

Dans les parcelles avec une faible réserve utile (RU), une substitution du trèfle par la luzerne est une solution. La luzerne est une plante méditerranéenne qui supporte mieux le manque d'eau et dont certaines espèces sont adaptées à la région Pays de la Loire. De même, il est intéressant dans ces terrains de favoriser les espèces de graminées avec une dormance estivale, comme la fétuque élevée ou le dactyle, pour limiter la mortalité. Certains territoires avec des faibles RU nécessiteront une adaptation des calendriers de mise à l'herbe et de production pour concorder au mieux à la production d'herbe et à la pause estivale (Brisson & Levrault, 2010 ; Durand *et al.*, 2013).

Les recherches génétiques actuelles s'orientent vers des plantes prairiales traditionnelles (ray grass, trèfles, ...) plus adaptées au stress hydrique et à l'adaptation de nouvelles espèces importées aux conditions régionales (climatiques, édaphiques, culturelles, ...) (Durand *et al.*, 2013).

		Leviers						
		Prairies	Avancement de la période d'utilisation au printemps	Recul de la période d'utilisation en automne	Apport en azote	Mélange multi-espèces	Substitution avec la luzerne, le dactyle, la fétuque élevée, ...	Adaptation des calendriers de production
Evolution climatique	Augmentation des températures printanières		Augmente la période de productivité		Meilleur enracinement / Meilleur ratio de protéine dans les rations	Augmente la période de productivité avec différents groupes de précocité		
	Augmentation des températures estivales					Meilleur enracinement / Différences de sensibilité aux fortes températures	Plantes plus résistantes aux fortes températures, dormance estivale	Utilisation optimale de la production
	Augmentation des températures automnales			Augmente la période de productivité	Compensation de la faible luminosité en fin de période de production	Augmente la période de productivité avec différents groupes de précocité		
	Augmentation des sécheresses agricoles au printemps		Déplace la période de productivité		Meilleur enracinement	Meilleur enracinement / Différences de sensibilité à la sécheresse	Plantes plus résistantes à la sécheresse	



Tableau XII : Pistes d'adaptation au changement climatique pour les prairies



Leviers d'adaptation – Prairies

A RETENIR

Plusieurs solutions sont envisageables pour lutter contre les effets du changement climatique :

- profiter des nouvelles périodes de production en fin et en début d'hiver pour compenser les pertes de production estivale;
- favoriser des prairies avec des mélanges adaptés à chaque parcelle;
- profiter de la résistance de certaines espèces (luzerne, fétuque élevée, ...) à la sécheresse dans les terrains les plus secs.



Pour en savoir plus

BRISSON N. & LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). *Ademe*, 334p.

CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE. ; 2007. La prairie multi-espèce. Angers.

DURAND J. L. ; 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*, 190, 181-195.

DURAND J. L., LOREGAU J., PICON-COCHARD C., VOLAIRE F. ; 2013. Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fourragères et prairiales au changement climatique. Journées AFPF, 26-27 mars. 49-68.

RUGET F., DURAND J. L., RIPOCHE D., GRAUX A. I., BERNARD B., LACROIX B., MOREAU J. C. ; 2013. Impacts des changements climatiques sur les productions de fourrages (prairies, luzerne, maïs) : variabilité selon les régions et les saisons. Journées AFPF, 26-27 mars. 35-48.

4 ADAPTATIONS AGRICOLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement Climatique

Perception des agriculteurs au regard du changement climatique

🔑 Nature et source des données

763 entreprises agricoles des Mauges (cf. Figure 7) ont reçu l'enquête en ligne, soit plus d'un tiers des exploitations de ce territoire et 137 chefs d'exploitations ont répondu, soit un taux de participation de 18%.

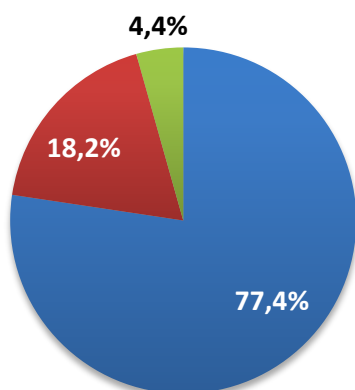
🕒 Indicateurs

Enquête diffusée par mail entre le 17 et 31 mai 2016.

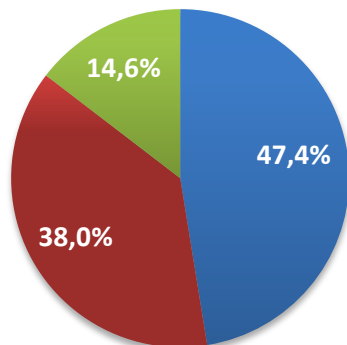


Figure 7 : Localisation du territoire des Mauges dans la région Pays de la Loire

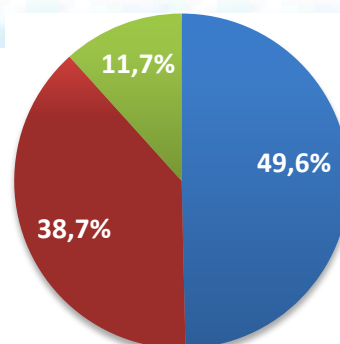
📊 Résultats observés



Considérez-vous le changement climatique comme une réalité?



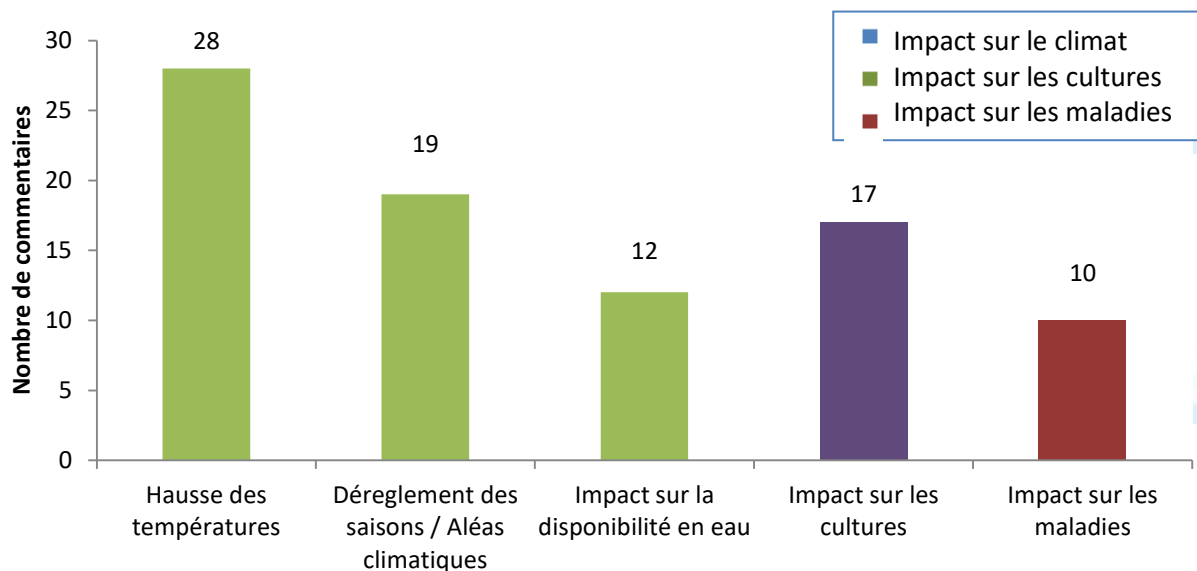
Est-ce que vous pensez que l'agriculture de votre département est déjà impactée par le changement climatique?



Est-ce que vous pensez que le changement climatique est un enjeu important pour la viabilité de votre exploitation?



Perception des agriculteurs au regard du changement climatique



Répartition des 63 commentaires à la question : « Sur quel facteur pensez-vous que l'agriculture est impactée ? »

Analyse

Dans cette étude, une grande majorité des agriculteurs répondant (77%) considère le changement climatique comme une réalité et la moitié pense que l'agriculture est déjà impactée et que le changement climatique est un enjeu pour leur activité.

Parmi les agriculteurs des Mauges ayant conscience du changement climatique, 64% pensent que celui-ci a un impact sur l'agriculture de leur région et surtout la moitié d'entre eux (53%) considère que cela pourrait menacer leur activité. Parmi ceux qui ne considèrent pas le changement climatique comme une réalité (18%), un sur cinq pense tout de même que celui-ci pourrait avoir un impact futur sur leur exploitation.

Les agriculteurs perçoivent peu les évolutions des normales climatiques sur le long terme (plusieurs décennies). Ils sont par contre sensibles aux fréquences des aléas climatiques. Lorsque l'on demande une précision sur ce qui, à leur avis, est le plus impactant pour l'agriculture de la région, la majorité des commentaires (81%) porte sur des modifications du climat. Ils citent :

- la hausse des températures et, notamment, la réduction du nombre de jours de gelées et leurs intensités : « Hausse des températures », « Les hivers sont trop doux », « Absence de gel », ...
- le dérèglement des saisons : « Il n'y a plus de saisons réelles, météo plus capricieuse !!! », « Désaisonnalité », « Des saisons moins marquées (hivers moins froids, étés moins chauds...) », ...



Perception des agriculteurs au regard du changement climatique

- la fréquence de plus en plus rapide et violente des aléas climatiques : « *Les "catastrophes" climatiques sont de plus en plus fréquentes...* », « *Episodes météo extrêmes plus marqués* », « *Changement de météo plus violent* » ...
- la diminution de la ressource en eau : « *Manque d'eau* », « *Les sécheresses estivales à répétition...* », ...

Il faut prendre en compte dans ces réponses l'impact de l'hiver et du printemps 2016 qui ont été exceptionnellement chauds et pluvieux (Météo France, 2016).

Peu d'agriculteurs imputent au changement climatique un impact négatif direct sur le rendement (2 commentaires) mais ils sont sensibles aux décalages des dates de semis et de récolte (24% des commentaires) et aux problèmes de bio-agresseurs (16% des commentaires) provoqués par le changement climatique qui peuvent donc ainsi avoir un impact sur les rendements.

Une seule des 63 remarques laissées porte sur un impact positif que pourrait avoir le changement climatique : « *On peut semer du maïs plus tardif donc plus productif* ».

A RETENIR

Les agriculteurs du territoire des Mauges sont conscients du changement climatique et de la problématique que celui-ci apporte sur leur activité. Ils en perçoivent principalement les effets négatifs par des modifications climatiques qui perturbent leur activité, ainsi que par des difficultés supplémentaires sur leurs cultures (décalages des dates de semis et de récolte, problèmes sanitaires, ...) qui conduisent à des pertes de rendement.



Pour en savoir plus

SERVICE DE L'OBSERVATION ET DES STATISTIQUES. ; 2013. Repères Chiffres clés du climat France et Monde Edition 2013. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. [en ligne]. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Chiffres_cles_du_climat_en_France_et_dans_le_monde_2013.pdf. Consulté le 05/04/2016.

METEO FRANCE. ; 2016. Bilan climatique de l'hiver 2015-2016. Comprendre Météo France. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2016/hiver>. Consulté le 05/07/2016.

Lexique simplifié

Adaptation Ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter les opportunités bénéfiques. En agriculture, l'adaptation :

- diffère en fonction du système de production et de sa localisation notamment ;
- peut concerner tout ou partie de chaque système de production ;
- consiste à atténuer les effets néfastes du changement climatique tout autant qu'à exploiter ses opportunités ;
- nécessite la connaissance des évolutions probables du climat et des relations entre climat et production végétale.

Atténuation Réduction des émissions de gaz à effet de serre issues des activités humaines destinées à réduire l'ampleur du changement climatique.

Chaîne SIM (SAFRAN-ISBA-MODCOU) Chaîne de calcul opérationnelle de Météo France dédiée à l'étude spatialisée du bilan d'eau et d'énergie au pas de temps journalier depuis 1958. Elle couvre la France métropolitaine avec une grille de 8 km x 8 km. Elle permet notamment d'étudier l'évolution de l'humidité du sol et des pluies efficaces (infiltration + ruissellement) à l'échelle de territoires.

Impact Effet du changement climatique sur une activité humaine ou sur son environnement. S'étudie généralement en l'absence de toute mesure d'adaptation.

Observation Information issue d'un constat ou d'une mesure in situ. Elle correspond à une réalisation véritable du phénomène étudié. Les séries longues d'observations permettent d'identifier d'éventuelles tendances climatiques ou agricoles en lien avec le changement climatique.

Modélisation Représentation virtuelle d'un système et de ses lois de fonctionnement permettant de reproduire son fonctionnement, notamment par voie informatique. Modélisation climatique et modélisation agronomique sont utilisées pour estimer les effets futurs à long terme (mi XXIème et fin XXIème siècle) du changement climatique sur l'agriculture.

Ré-analyse Utilisation a posteriori des modèles numériques de prévision du temps pour reconstruire le climat passé à partir de l'ensemble des données météorologiques disponibles. Dans le cadre du projet Climsec, une réanalyse hydro-météorologique a été effectuée sur la période 1958-2008 en utilisant la chaîne de modèles Safran-Isba-Modcou (SIM).

Série climatologique Suite – idéalement continue - de données météorologiques en un lieu donné, suffisamment longue (30 ans au moins) pour caractériser le climat de ce lieu.

Lexique simplifié

Série homogénéisée (SH) Série climatologique corrigée à l'aide de méthodes statistiques des biais et des ruptures liés aux modifications dans les conditions de la mesure (déplacement de la station, changement de capteur...) ayant impacté la valeur mesurée. Non corrigés, ces biais et ruptures peuvent conduire à des conclusions erronées sur les évolutions climatiques observées. Les séries homogénéisées constituent donc des références pour analyser l'évolution du climat des décennies écoulées. Pour un usage agricole, leur principale limite réside dans leur pas de temps mensuel.

Série quotidienne de référence (SQR) Série climatologique à pas de temps journalier et sans correction des biais et ruptures, jugée apte à l'étude du changement climatique observé. Elle est sélectionnée par identification dans les SH (Cf. série homogénéisée) de périodes supposées homogènes pour chaque série de données. Pour un usage agricole, leur principal atout réside dans leur pas de temps journalier qui permet le calcul d'indicateurs agro-climatiques.

Scénario d'émission (de gaz à effet de serre) Hypothèse d'évolution future des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les concentrations en gaz à effet de serre issues des scénarios d'émission, permettent d'alimenter les modèles climatiques de description des climats futurs possibles.

Qu'est-ce qu'ORACLE_{Pays-de-la-Loire} ?

ORACLE_{Pays-de-la-Loire} (Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE) établit un constat objectif du changement climatique en région Pays-de-la-Loire et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale. Il s'appuie principalement sur des observations qui sont mises à jour une fois par an.

ORACLE_{Pays-de-la-Loire} est organisé en 5 thèmes, signalés en tête de chaque fiche.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

2 AGRO CLIMAT

3 IMPACTS AGRICOLES

4 ADAPTATIONS

5 ATTENUATIONS

ORACLE_{Pays-de-la-Loire} est destiné à tous ceux qui se sentent concernés par l'avenir de l'agriculture régionale en lien avec le changement climatique : agriculteurs, conseillers agricoles, agents des services de l'état, élus et agents de collectivités territoriales, gestionnaires de ressources ou de territoires, membres d'associations, enseignants, élèves.

Contacts :

Sarah PETIARD-COLOMBIE Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire.

Sarah.PETIARD-COLOMBIE@pl.chambagri.fr;

Frédéric LEVRAULT Chambre régionale d'agriculture de Poitou Charentes.

Frederic.LEVRAULT@poitou-charentes.chambagri.fr;

Etude menée par Emeline TIGNON (Université de Strasbourg)

emeline.tignon@laposte.net
