



CLIMAT  
AGROCLIMAT  
IMPACTS  
ADAPTATIONS  
ATTENUATIONS

AGRICILES



# oracle

## Centre Val-de-Loire

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

Edition mars 2019





**Avec le soutien financier de :**

ADEME DR Centre Val-de-Loire  
Agence de l'Eau Loire Bretagne  
Agence de l'Eau Seine-Normandie  
Chambre Régionale d'Agriculture de Centre Val-de-Loire  
Conseil Régional Centre Val-de-Loire

**Comité de pilotage :**

ADEME DR Centre Val-de-Loire  
Agence de l'Eau Loire Bretagne  
Agence de l'Eau Seine-Normandie  
Chambre Régionale d'Agriculture de Centre Val-de-Loire  
Conseil Régional de Centre Val-de-Loire  
BRGM  
DRAAF Centre Val-de-Loire  
DREAL Centre Val-de-Loire  
Météo France DIR Centre

**Direction éditoriale et expertise agronomique**

Chambre Régionale d'Agriculture de Centre Val-de-Loire

**Données et expertise climatiques**

Météo France



**Contributions :**

Chambre Régionale d'Agriculture de Centre Val-de-Loire,

**Documents téléchargeables sur :**

[www.centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr](http://www.centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr)

**Edition 2019**

---



### Qu'est-ce qu'ORACLE Centre Val-de-Loire ?

ORACLE Centre Val-de-Loire est un Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique. Il établit un constat objectif du changement climatique et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale. Il s'appuie sur des observations qui sont mises à jour régulièrement.

ORACLE Centre Val-de-Loire est organisé en 5 thèmes :

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

2 AGRO CLIMAT

3 IMPACTS AGRICOLES

4 ADAPTATIONS

5 ATTENUATIONS

ORACLE Centre Val-de-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 :

Christophe BEAUJOUAN – Chambre Régionale d'Agriculture de Centre Val-de-Loire  
[christophe.beaujouan@loir-et-cher.chambagri.fr](mailto:christophe.beaujouan@loir-et-cher.chambagri.fr)



Edition 2019 : liste des fiches

## 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

A1-Température moyenne annuelle.....	7
A2-Nombre de jours estivaux annuel.....	13
A3-Nombre de jours de gel annuel.....	18
A4-Cumul annuel des pluies.....	23
A5-Cumul saisonnier des pluies.....	28
A6-Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP).....	32
A7-Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP).....	35
A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP).....	39

## 2 AGRO CLIMAT

B1-Nombre de jours échaudants au printemps.....	44
B2-Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril.....	48
B3-Début, durée et fin de la période de gel.....	52
B4-Indice de Winkler.....	58
B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre.....	67
B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire.....	68
B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire.....	73
B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire.....	74
B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe.....	75
B8-Episodes pluvieux intenses.....	81

## 3 IMPACTS AGRICOLES

C1 - Rendement en blé tendre.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
-----------------------------------	------------------------------------

## 4 ADAPTATIONS

A venir

## 5 ATTENUATIONS

E1-Surface en protéagineux.....	93
---------------------------------	----



## Statistiques

---

Les indicateurs présentés ont été traités statistiquement à l'aide d'une régression linéaire sur le logiciel de statistiques R (test F-statistic et p-value).

L'objectif de ce test statistique est de modéliser par une droite la relation entre deux variables quantitatives. 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 sur 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. Par la suite, on a défini ces classes exprimant l'importance de la variabilité interannuelle :

- $R^2 < 0,1$  : extrêmement importante
- $0,1 < R^2 < 0,2$  : très importante
- $0,2 < R^2 < 0,3$  : importante
- $R^2 > 0,3$  : moyenne

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 (ou P-valeur noté P) que l'on prend à se tromper de conclusion. Une tendance avec un  $P < 0,001$  est considérée comme très fiable, puisque cela signifie qu'il y a à 0,1 % de chance que la tendance soit due au hasard.

Ainsi, on a défini ces classes exprimant la force de la tendance :

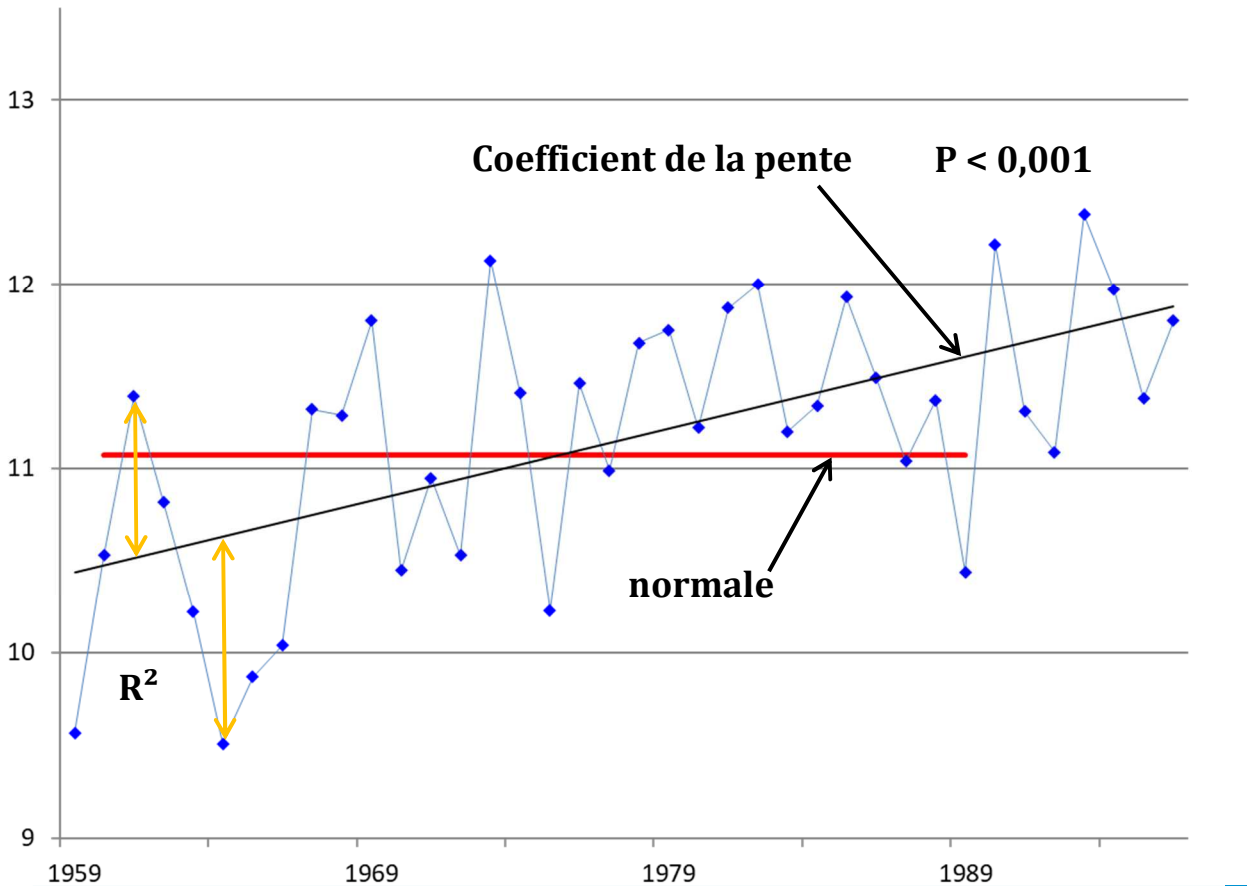
- $P < 0,001$  : très hautement significative
- $0,001 < P < 0,01$  : hautement significative
- $0,01 < P < 0,05$  : significative
- $P > 0,05$  : non significative, noté parfois NS.

Dans le cas d'une tendance non significative, la courbe de tendance n'est pas transcrite sur le graphique.

Pour caractériser le climat d'un lieu donné, les climatologues utilisent des normales climatiques : ils calculent les valeurs moyennes sur 30 ans des principaux paramètres météorologiques (valeur préconisée par l'Organisation Météorologique Mondiale). Le choix d'une durée de 30 ans pour caractériser un climat permet de disposer d'un nombre d'observations suffisamment grand pour que le résultat soit robuste. Cette durée est également bien adaptée pour s'affranchir de la variabilité interannuelle du climat (les variations d'une année sur l'autre) et pour mettre en évidence d'éventuelles évolutions du climat. La moyenne d'un paramètre météorologique sur une durée de 30 ans est appelée « normale ». A Météo-France, les normales sont recalculées tous les 10 ans, à chaque nouvelle décennie. Les dernières normales en vigueur sont actuellement les moyennes calculées sur la période 1981-2010. Ainsi, sur les stations utilisées dans ce livret, trois normales différentes ont été calculées : 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010. Les comparer permet de suivre l'évolution du climat sur la fin du 20ème siècle.



Par exemple, la température moyenne à Tours depuis 1980.



- $R^2$  : Le coefficient de détermination est une mesure de la qualité de la prédiction d'une régression linéaire et varie entre 0 et 1. Plus la somme des écarts entre les valeurs et la courbe de tendance (flèche orange) est grande plus la valeur de  $R^2$  est petite et plus la variabilité interannuelle est grande.
- Le coefficient de la pente donne l'évolution de la régression linéaire. Ici : «  $y = 0,039 x$  » signifie que la tendance est de + 0,039°C/an, soit + 0,39 °C tous les 10 ans. A noter que si la tendance n'est pas significative ( $P < 0,05$ ), alors la courbe de tendance n'est pas transcrite.
- Le test de significativité P est indiqué pour exprimer la force de la tendance. Ici  $P < 0,001$  ce qui signifie que la tendance est très hautement significative.
- La normale est une moyenne trentenaire. En comparant les 3 normales : 1961-1990, 1971-2000 et 1981-2010 (si elles sont disponibles), cela permet d'appréhender la vitesse d'évolution de la tendance.



## A1-Température moyenne annuelle

### 🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2017

### 🕒 Indicateur 1

Séries de 1959 à 2017 sur 6 stations :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres
- 36 : Châteauroux Déols
- 37 : Tours
- 41 : Romorantin
- 45 : Chambon-la-Forêt

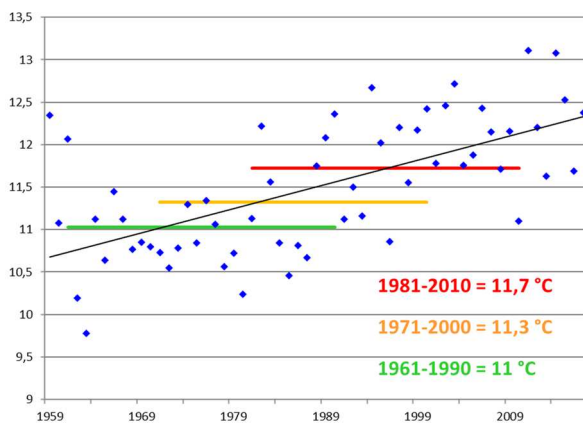
### 🧮 Calcul de l'indicateur 1

- Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire des températures moyennes annuelles (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

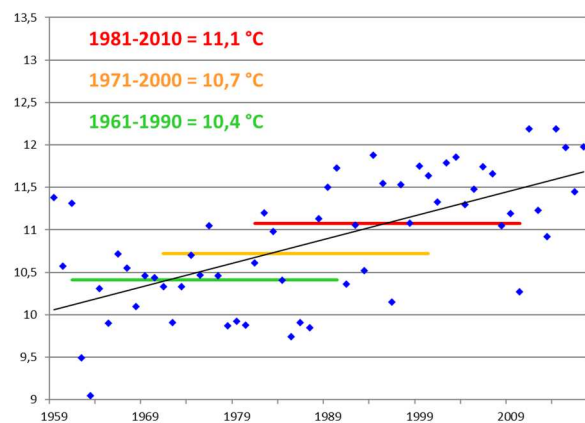
### 📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Température moyenne en °C

#### Bourges



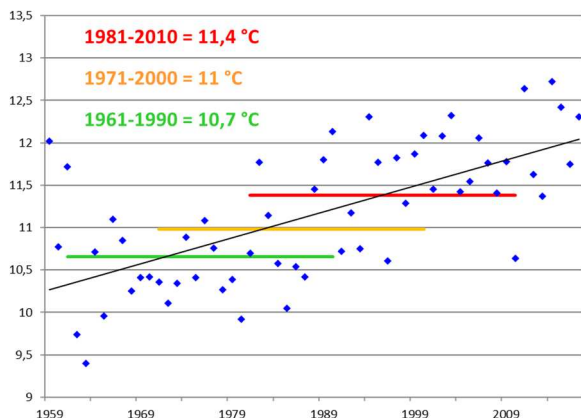
#### Chartres



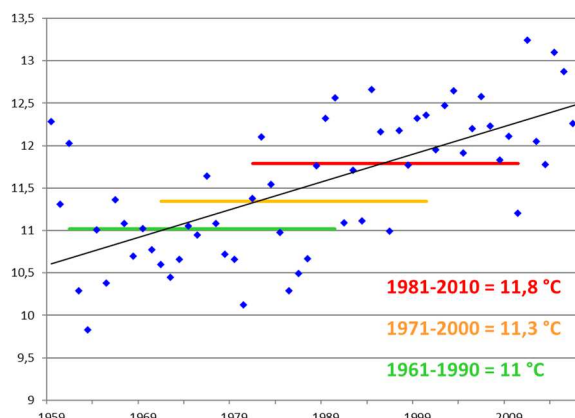


## A1-Température moyenne annuelle

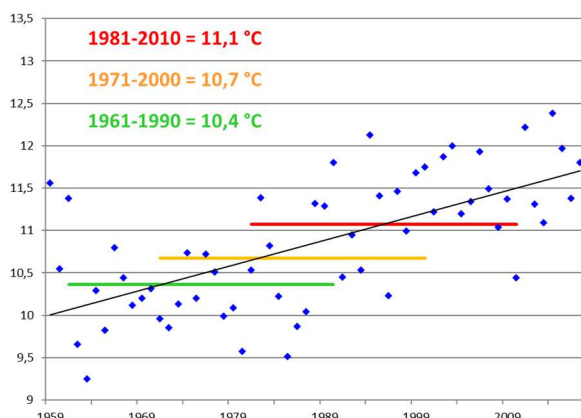
Châteauroux Déols



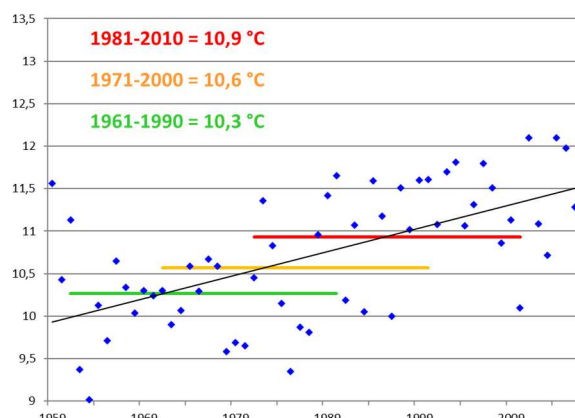
Tours



Romorantin



Chambon-la-Forêt



## Analyse

Dép.	Stations	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution °C /10 ans	évolution °C /59 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	0,28	+1,68 °C	8,31E-08	très hautement significative	0,40
28	Chartres	1959	59	0,28	+1,65 °C	4,87E-08	très hautement significative	0,41
36	Châteauroux Déols	1959	59	0,31	+1,81 °C	1,70E-08	très hautement significative	0,43
37	Tours	1959	59	0,33	+1,93 °C	5,25E-09	très hautement significative	0,45
41	Romorantin	1959	59	0,29	+1,73 °C	3,58E-08	très hautement significative	0,42
45	Chambon-la-Forêt	1959	59	0,28	+1,63 °C	3,33E-07	très hautement significative	0,37

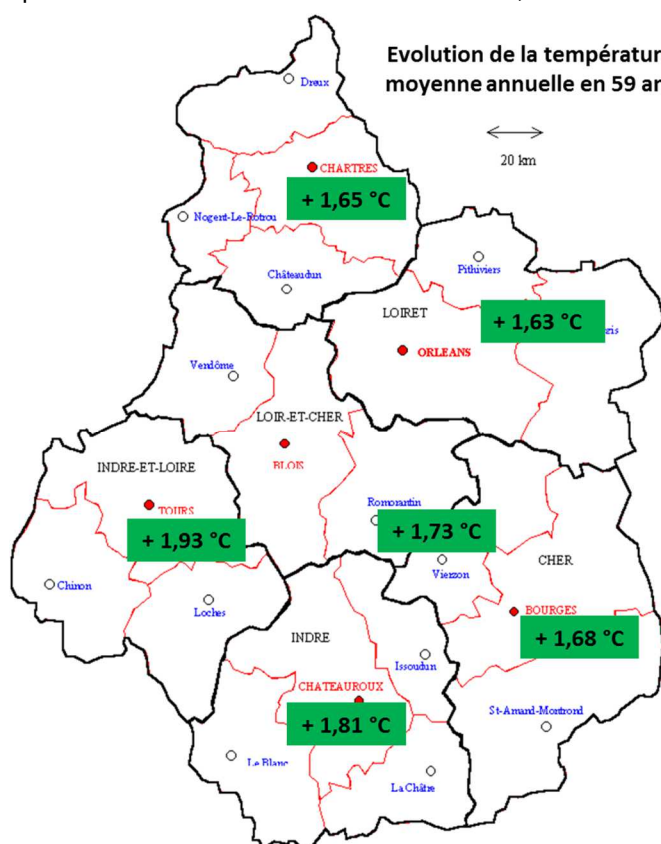




## A1-Température moyenne annuelle

L'évolution de la température moyenne observée en Région Centre Val-de-Loire depuis 59 ans pour chaque station montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période 1959-2017 sont de :
  - + 0,28°C par décennie à Bourges soit + 1,68°C en 59 ans
  - + 0,28°C par décennie à Chartres soit + 1,65°C en 59 ans
  - + 0,31°C par décennie à Châteauroux Déols soit + 1,81°C en 59 ans
  - + 0,33°C par décennie à Tours soit + 1,93°C en 59 ans
  - + 0,29°C par décennie à Romorantin soit + 1,73°C en 59 ans
  - + 0,28°C par décennie à Chambon-la-Forêt soit + 1,63°C en 59 ans



- l'augmentation des températures est significative dans les 6 stations de la région ( $P < 10E-06$ ).
- Il semble que ce réchauffement climatique augmente lorsque l'on compare les 3 moyennes trentennaires. En moyenne, sur les 6 départements :
  - + 0,31 °C entre « 1985 » (1961-1990) et « 1975 » (1971-2000)
  - + 0,39 °C entre « 1995 » (1981-2010) et « 1985 » (1961-1990)
- les variations de température d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) sont moyennes car  $R^2$  moyen = 0,4.
- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :
  - + 0,35°C par décennie à Angers en 44 ans (Colombie et al, 2017),
  - + 0,44°C par décennie au Mans en 44 ans (Colombie et al, 2017),
  - + 0,24°C par décennie pour Poitiers de 1950 à 2000 (Levrault et al, 2015).



## A1-Température moyenne annuelle

### 🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2017

### 🕒 Indicateur 2

Séries de 1959 à 2017 sur la station de :

- 37 : Tours

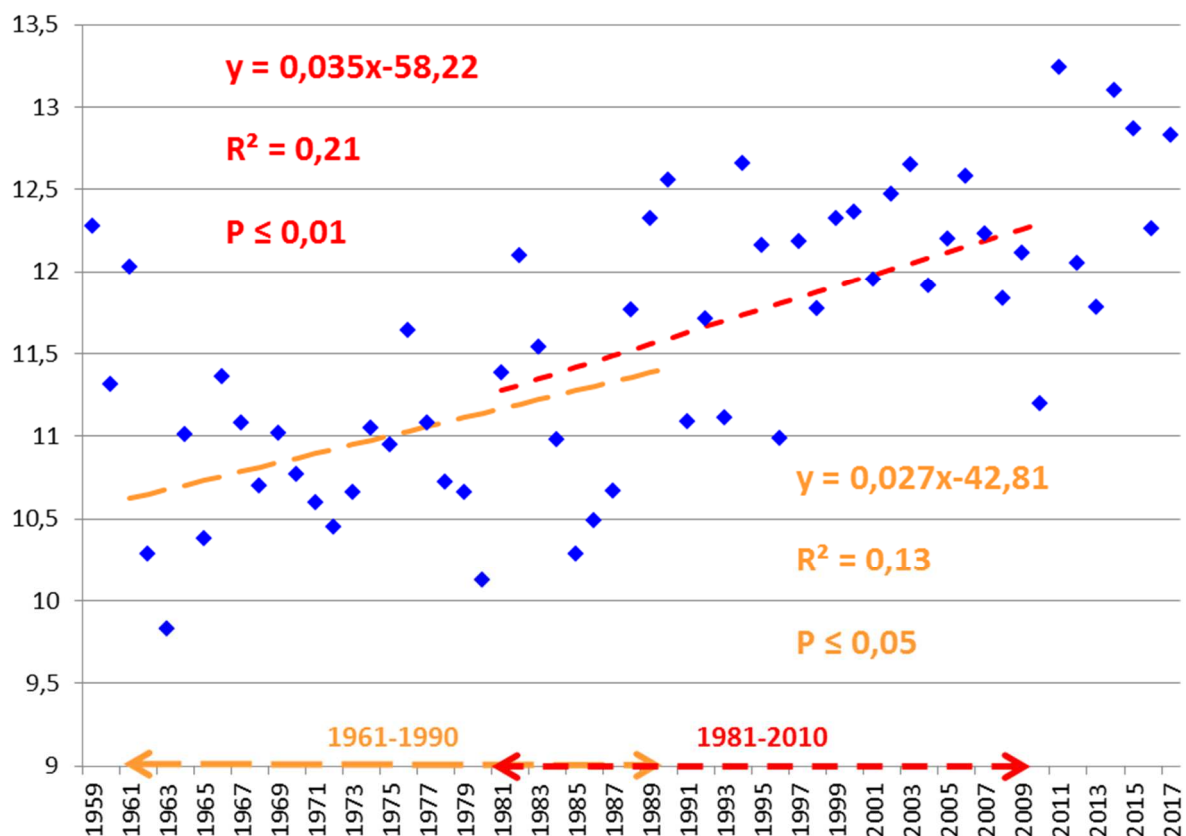
### 📊 Calcul de l'indicateur 2

- Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire des 2 périodes ayant servi au calcul des normales : pente orange : 1961-1990 et pente rouge : 1981-2010

### 📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Température moyenne en °C

#### Tours





## A1-Température moyenne annuelle

- L'accroissement sur un siècle (1901-2000) des températures moyennes en France est important (de 0,7 °C à plus de 1,1 °C), soit entre + **0,07 et 0,11 °C/10 ans**. Il est plus marqué sur le sud-ouest du territoire (Moisselin et al., 2002).



**Cartographie des tendances 1901-2000 de la température moyenne** (en °C/siècle)  
(à partir de 70 séries)

- Les résultats de l'indicateur 1 montrent une augmentation de 1,7 °C (moyenne des 6 stations de la Région Centre Val-de-Loire) en 59 ans (1959-2017), soit **0,29 °C/10 ans**. Ce réchauffement semble donc s'accélérer à partir du milieu du XXème siècle : accroissement 3 fois plus important entre 1959 – 2017 (= tendance régionale) par rapport à 1901 – 2000 (= tendance nationale).
- L'indicateur n°3 nous indique également une accélération du réchauffement climatique sur la station de Tours. La tendance linéaire observée sur la période de 1961-1990 indique une augmentation de **0,27 °C/10 ans** alors que celle de 1981-2010 indique une augmentation de **0,35 °C/10 ans**.
- Au niveau mondial, la température annuelle des terres et des océans a augmenté à un taux moyen de 0,07 °C par décennie depuis 1880 ; cependant, le taux moyen d'augmentation est deux fois plus élevé depuis 1980. Ainsi, les 18 années les plus chaudes appartiennent au XXIème siècle (OMM).

Années les plus chaudes depuis 1880	Anomalie (en °C)
2016	0,95
2015	0,91
2017	0,85
2018	0,79
2014	0,75
2010	0,7
2013	0,67
2005	0,66
2009	0,64
1998	0,64

**Classement des dix années les plus chaudes** (température annuelle moyenne mondiale terres et océans) **enregistrées en 138 ans** (1880-2017)  
Source NOAA



## A1-Température moyenne annuelle

- Selon l'indicateur n°2, les fortes variations de température d'une année à l'autre (variabilité dite inter annuelle) sont fréquemment supérieures à 1,5 °C, perturbant ainsi la perception de la tendance. Par exemple à Romorantin, il existe une différence de la température moyenne annuelle de 1,78 °C entre 2010 (10,44 °C) et 2011 (12,22 °C)
- La température moyenne journalière est la moyenne de la température journalière minimale et maximale. Une étude plus poussée aurait permis de montrer que les températures minimales sont plus en hausse (de 0,7 à 1,7 °C/siècle) que les maximales (de 0 à 1,3 °C/siècle), ce qui a entraîné une diminution de l'amplitude thermique au cours du XXème siècle (Moisselin et al., 2002).
- L'accélération du réchauffement impacte fortement l'agriculture au travers notamment du raccourcissement des calendriers culturaux et de l'augmentation des stress thermiques des cultures. L'augmentation des températures va également faire augmenter l'évaporation au niveau des plantes (stress hydriques) mais également au niveau des plans d'eau et des cours d'eau. Le dernier rapport du GIEC, 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.



### A retenir

Les différentes séries de données disponibles en Région Centre Val-de-Loire mettent en évidence une évolution des températures moyennes cohérente avec l'évolution observée en France et dans le monde. Depuis 1959, la température moyenne annuelle s'est élevée de **0,29 °C par décennie** (moyenne des 6 stations départementales), soit **+ 1,74 °C en 59 ans**.

Cette évolution semble s'accroître à la fin du XXème siècle : **+ 0,35 °C/décennie** sur la station de Tours entre 1981 et 2010.

Cet accroissement important des températures, de plus en plus rapide ces dernières décennies, impose au conseiller agricole de réactualiser les références climatiques utilisées (dates de semis, choix de variétés) pour mieux anticiper les conditions thermiques des prochaines années. Cependant, la variabilité inter-annuelle reste présente ( $R^2=0,4$ ) 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 cultures proposés.



### Pour en savoir plus

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M., CANELLAS M., MESTRE O. (2002) : Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, La Météorologie n° 38, 45-56.

Organisation Météorologique Mondiale - <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/lorganisation-m%C3%A9t%C3%A9orologique-mondiale-confirme-que-2017-se-classe-parmi>

National Centers For Environmental Information (NOAA) - <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>

# 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

## A2-Nombre de jours estivaux annuel

### 🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2017

### 🕒 Indicateur 1

Séries de 1959 à 2017 sur 5 stations :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres
- 36 : Châteauroux Déols
- 41 : Romorantin
- 45 : Orléans

Séries de 1982 à 2017 sur 1 station :

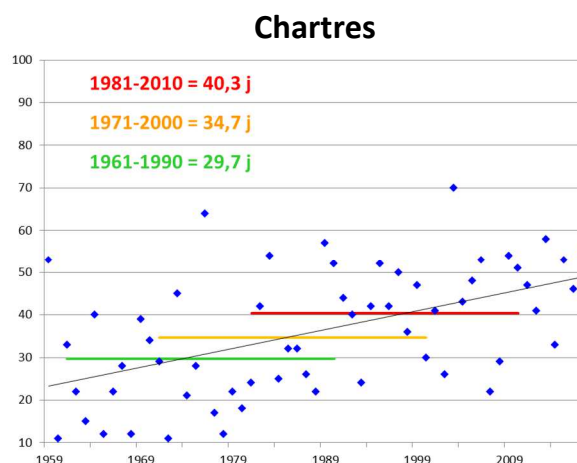
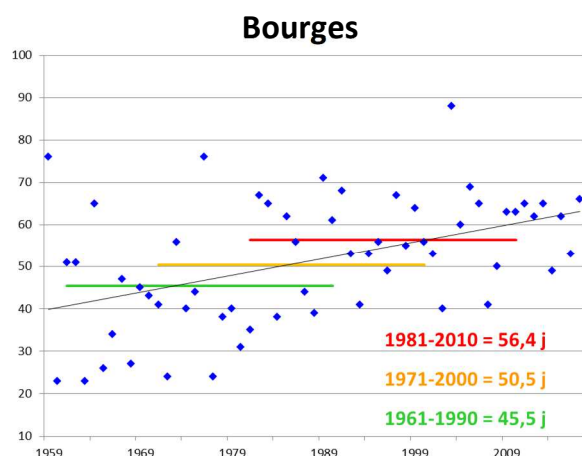
- 37 : Tours

### 📊 Calcul de l'indicateur 1

- Nombre de jours pour chaque année où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du nombre de jours estivaux (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

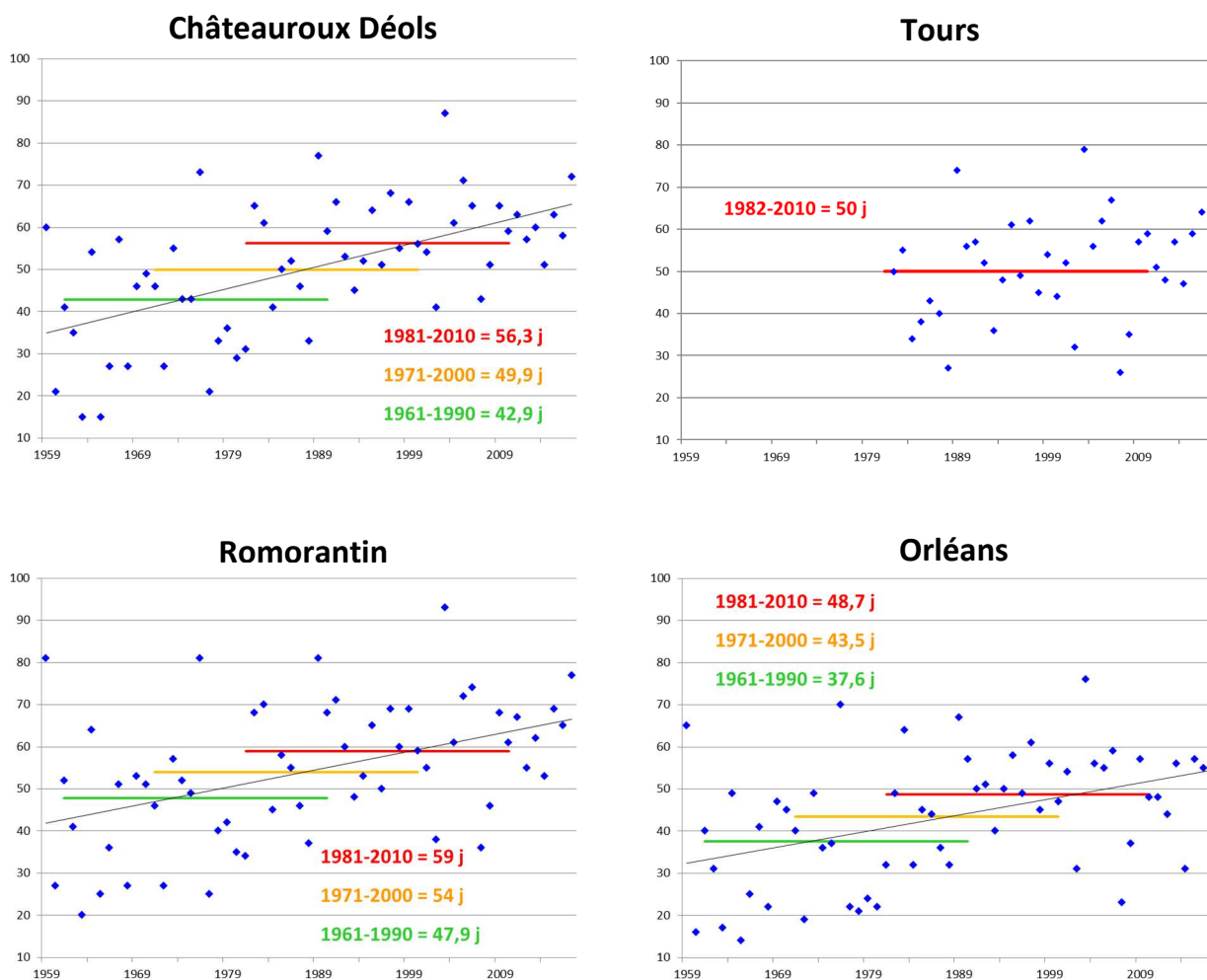
### 📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de journées estivales par an





## A2-Nombre de jours estivaux annuel



## Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	pente	évolution /10 ans	évolution /59 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	0,403	4,026	+ 23,8 j	2,32E-04	très hautement significative	0,21
28	Chartres	1959	59	0,443	4,430	+ 26,1 j	3,34E-05	très hautement significative	0,26
36	Châteauroux Déols	1959	59	0,528	5,278	+ 31,1 j	2,03E-06	très hautement significative	0,33
37	Tours	1982	36	0,323	3,232	+ 19,1 j	1,06E-01	non significative	0,08
41	Romorantin	1959	59	0,425	4,246	+ 25,1 j	3,85E-04	très hautement significative	0,20
45	Orléans	1959	59	0,379	3,791	+ 22,4 j	5,81E-04	très hautement significative	0,19

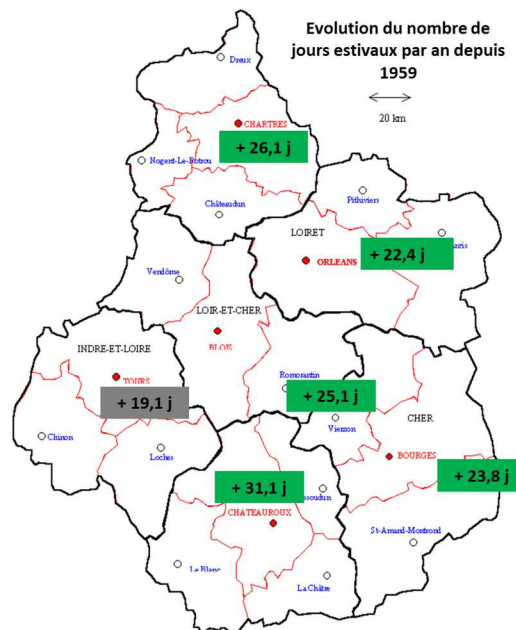


## A2-Nombre de jours estivaux annuel

L'évolution du nombre de jours estivaux en Région Centre Val-de-Loire depuis 1959 (1982 pour la station de Tours) montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- + 4,0 j par décennie à Bourges, soit + 24 j en 59 ans
- + 4,4 j par décennie à Chartres, soit + 26 j en 59 ans
- + 5,3 j par décennie à Châteauroux Déols, soit + 31 j en 59 ans
- + 3,2 j par décennie à Tours (NS)
- + 4,2 j par décennie à Romorantin, soit + 25 j en 59 ans
- + 3,8 j par décennie à Orléans, soit + 22 j en 59 ans



- Toutes les stations montrent une tendance significativement à la hausse sauf Tours qui n'est pas significatif mais à cause sans doute d'une période trop courte de mesures. En 59 ans, le nombre de journées estivales a été multiplié par 1,7 (moyenne des 5 stations), entre 1959 et 2017, voire par 2 pour Chartres et Châteauroux.

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :

- + 4,5 j par décennie à Poitiers (Levrault et al, 2015),
- + 5,0 j par décennie au Mans (Colombie et al, 2017).

- Le nombre de jours estivaux par an est très variable d'une année à l'autre car  $R^2$  moyen = 0,2.

- l'évolution du nombre de jours estivaux semble être constant lorsque l'on compare les 3 moyennes trentenaires (disponibles sur 5 départements seulement) :

- + 5,8 j entre « 1985 » (1961-1990) et « 1975 » (1971-2000)
- + 5,6 j entre « 1995 » (1981-2010) et « 1985 » (1961-1990)



## A2-Nombre de jours estivaux annuel

Pour l'agriculture régionale, cette augmentation des jours estivaux renvoie à trois 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, mais leur impact réel sur les cultures (céréales à paille en particulier) dépend également de l'avancement des calendriers culturaux (esquive) liée à l'augmentation de la température (Brisson et al., 2010) ;
- 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.
- le nombre de jours par an à forte évapotranspiration s'accroît en raison de la relation étroite entre température et évapotranspiration potentielle
- le nombre de jour estivaux par an va avoir un impact sur les essences forestières. C'est l'année 2003 qui possède le record de jours très chauds annuels pour toutes les stations avec 82 jours en moyenne (record de **93 jours pour Romorantin**). Tous les forestiers ont en mémoire cette année record car elle a eu des répercussions importantes sur les massifs forestiers.
- 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).

### A Retenir

Le nombre de jours estivaux par an a nettement augmenté en Centre Val-de-Loire au cours de ces 59 dernières années avec **+ 4,3 jours par décennie en moyenne**.

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

### Pour aller plus loin

Ces résultats ne permettent pas de localiser cette augmentation de jours estivaux dans une année. Pour cela, il faudrait examiner, soit par saison, soit mois par mois, l'évolution du nombre de jours estivaux, afin de préciser comment la distribution intra-annuelle des épisodes de fortes chaleurs évolue (voir Nombre de jours échaudants au printemps).





## A2-Nombre de jours estivaux annuel

---



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.

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

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.

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>



## A3-Nombre de jours de gel annuel

### 🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2017

### 🕒 Indicateur 1

Séries de :

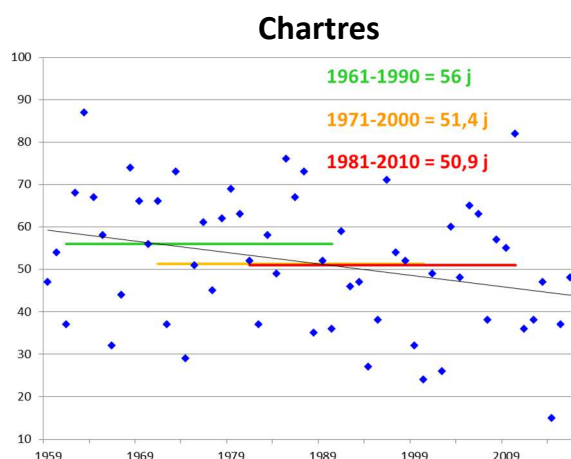
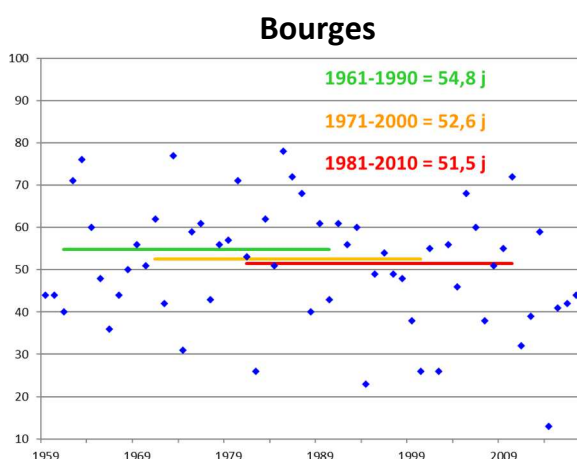
- 18 : Bourges, 1959 à 2017
- 28 : Chartres, 1959 à 2017
- 36 : Pellevoisin, 1963 à 2017
- 37 : Tours, 1982 à 2017
- 41 : Romorantin, 1988 à 2017
- 45 : Chambon-la-Forêt, 1983 à 2017

### 🧮 Calcul de l'indicateur 1

- Nombre de jours pour chaque année où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période disponible (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du nombre de jours de gel par an (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### 📈 Évolution observée

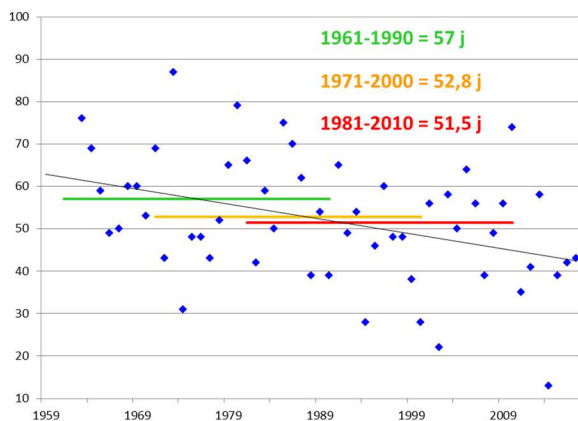
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours de gel par an



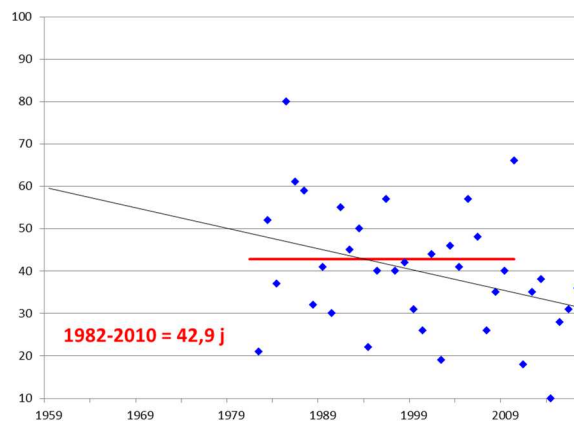


## A3-Nombre de jours de gel annuel

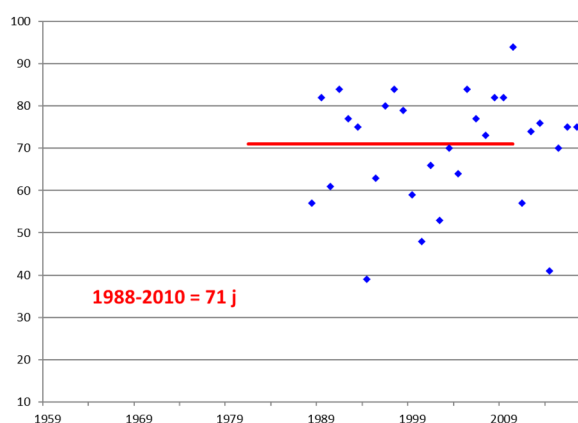
Pellevoisin



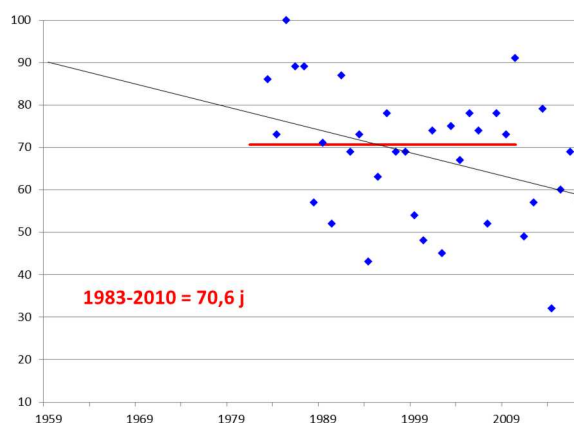
Tours



Romorantin



Chambon-la-Forêt



## Analyse

Analyse de la tendance linéaire sur la période disponible

Dép.	Stations	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	-1,8	-5,5 j	0,0912	non significative	0,05
28	Chartres	1959	59	-2,7	-8,1 j	0,0225	significative	0,09
36	Pellevoisin	1963	55	-3,5	-10,6 j	0,0036	hautement significative	0,15
37	Tours	1982	36	-4,8	-14,5 j	0,0414	significative	0,12
41	Romorantin	1988	30	1,3	3,8 j	0,6639	non significative	0,01
45	Chambon-la-Forêt	1983	35	-5,4	-16,2 j	0,0344	significative	0,13



## A3-Nombre de jours de gel annuel

L'évolution du nombre de jours de gel annuel en Région Centre Val-de-Loire montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- 1,8 j par décennie à Bourges (NS)
- **2,7 j par décennie** à Chartres, soit -8,1 j en 30 ans
- **3,5 j par décennie** à Pellevoisin, soit -10,6 j en 30 ans
- **4,8 j par décennie** à Tours, soit -14,5 j en 30 ans
- + 1,3 j par décennie à Romorantin (NS)
- **5,4 j par décennie** à Chambon-la-Forêt, soit -16,2 j en 30 ans

- Seules les stations de Chartres et Chambon-la-Forêt ne montrent pas de tendance significative sur le nombre de jours de gelée annuelle. Les 4 autres stations montrent une tendance significativement en baisse, de **- 4 jours par décennie** en moyenne.

- La tendance du nombre de jours de gel est beaucoup moins significative (3 % de chance en moyenne que la tendance soit due au hasard) que le nombre de jours estivaux (0,02 % de chance en moyenne que la tendance soit due au hasard).

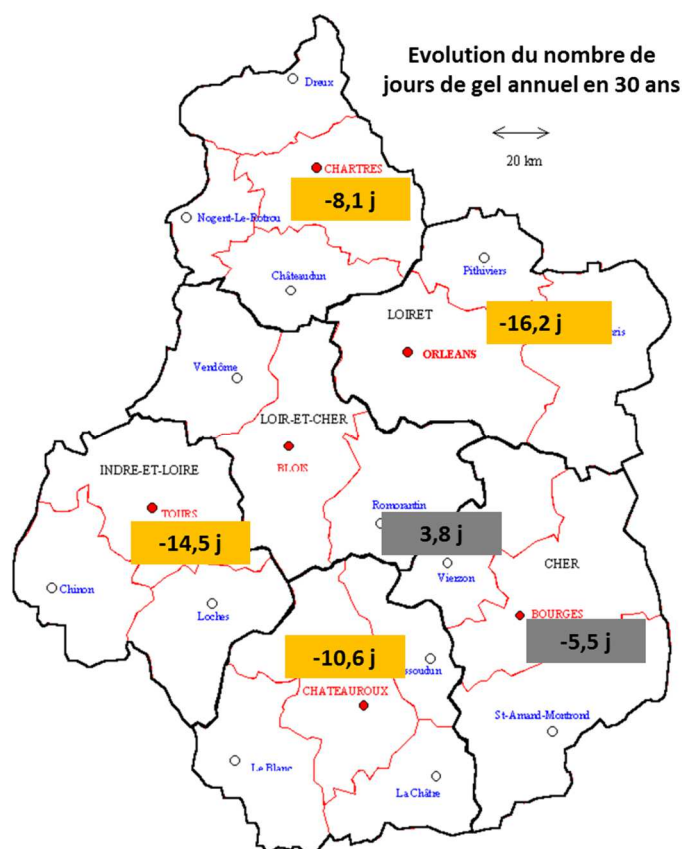
- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :

- **2,5 j par décennie** à Poitiers (Levrault et al, 2015),
- **5,0 j par décennie** au Mans (Colombie et al, 2017).

- Le nombre de jours de gel par an est très variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car  $R^2$  moyen = 0,1 (sur les stations avec tendance significative).

- l'évolution du nombre de jour de gel semble ralentir lorsque l'on compare les 3 moyennes trentennaires (disponibles sur 3 départements seulement) :

- 3,7 j entre « 1985 » (1961-1990) et « 1975 » (1971-2000)
- 1,0 j entre « 1995 » (1981-2010) et « 1985 » (1961-1990)





### A3-Nombre de jours de gel annuel

A priori, on n'observe pas de différence d'évolution entre les départements (différence est-ouest ou nord-sud).

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 :

- l'impact de la durée et la levée de dormance sur la qualité de la floraison chez les espèces fruitières (Mathieu, 2013) mais également maraîchère (exemple de l'asperge).
- l'impact du gel sur la résistance des organes fructifère. Par exemple, pour le colza, le stade le plus sensible au froid est du stade « ouverture du bouton » à 20 jours après la pollinisation (Lardon, 1995). Autre exemple concernant la qualité de la pré-floraison chez le tournesol.

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 végétaux.

Les conséquences de cette diminution du nombre de jours froids sur les productions agricoles régionales doivent être examinées au cas par cas car les décalages phénologiques des cultures liées à l'élévation tendancielle de la température pourrait faire persister le risque de gel sur les cultures.



#### A Retenir

Le nombre de jours de gel a décliné en Centre Val-de-Loire au cours des 40 dernières années d'environ - **4,1 jours par décennie en moyenne**. Cette tendance est moins significative que l'évolution du nombre de jours estivaux.

Cette réduction du nombre de jours froids n'est pas forcément synonyme de réduction de risque de gel printanier pour les cultures sensibles car l'avancement phénologique des plantes découlant du réchauffement climatique peut faire évoluer les dates des périodes à risque. Les impacts de cette réduction du nombre de jours froids sur les productions agricoles doivent donc être étudiés au cas par cas.



#### Pour aller plus loin

Ces graphiques 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 cela il faudrait dénombrer les jours de gel saison par saison, voire mois par mois.

Au vu du nombre de jours de gel en diminution, tous les végétaux qui pouvaient subir des gels létaux auparavant vont bénéficier de ce changement climatique mais ces conséquences doivent être étudiées au cas par cas : sensibilité au gel fort ( $< -5^{\circ}\text{C}$ ) par rapport au gel faible ( $-5^{\circ}\text{C} < x < 0^{\circ}\text{C}$ ), apparition du gel soudaine ou progressive, évolution des cycles végétatifs par rapport à la date de première gelée...



## A3-Nombre de jours de gel annuel

---



Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>

LARDON A, Thèse intitulée Effet du gel sur la floraison de colza d'hiver, 1995, Sensibilité des organes reproducteurs, impacts sur le rendement grainier et recherche de marqueurs biochimiques de résistance – résumé disponible sur

[http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/Cultures/Colza/accidents/Note\\_impact\\_gel\\_colza\\_2.pdf](http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/Cultures/Colza/accidents/Note_impact_gel_colza_2.pdf)

Consulté le 18 juillet 2018.



## A4-Cumul annuel des pluies

### 🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2017

### 🕒 Indicateur 1

Séries de 1959 à 2017 sur 6 stations :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres
- 36 : Châteauroux Déols
- 37 : Tours
- 41 : Vendôme
- 45 : Orléans

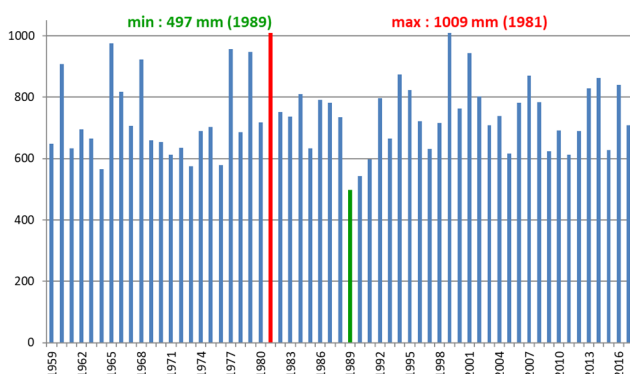
### 📊 Calcul de l'indicateur 1

- Cumul annuel des pluies journalières (diagramme bleu)
- Tendence linéaire sur la période disponible (courbe noire)
- Cumul annuel minimum (en vert) – Cumul annuel maximum (en rouge)

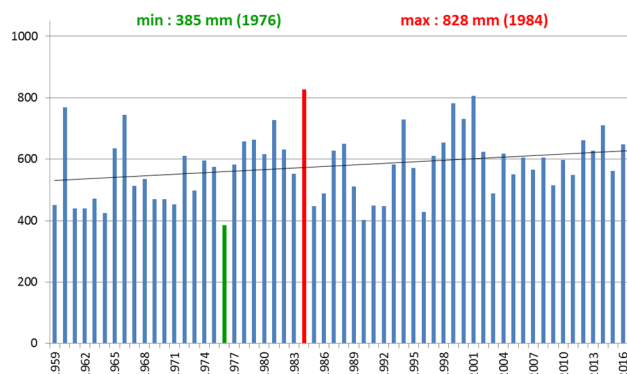
### 📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Pluies en mm

#### Bourges



#### Chartres



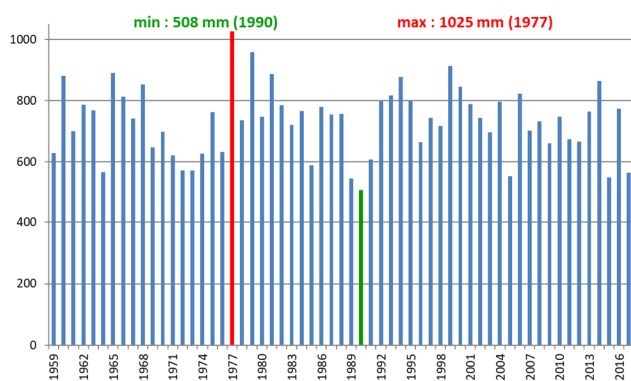
# 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



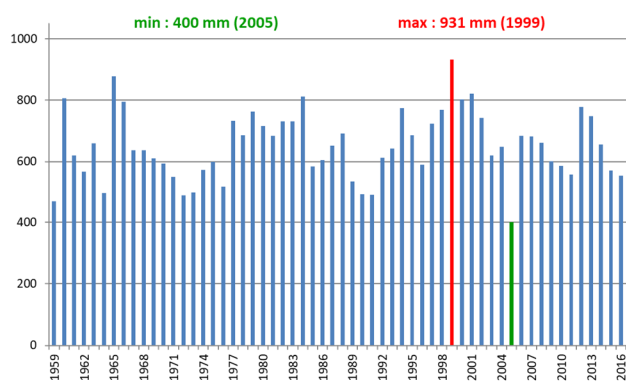
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## A4-Cumul annuel des pluies

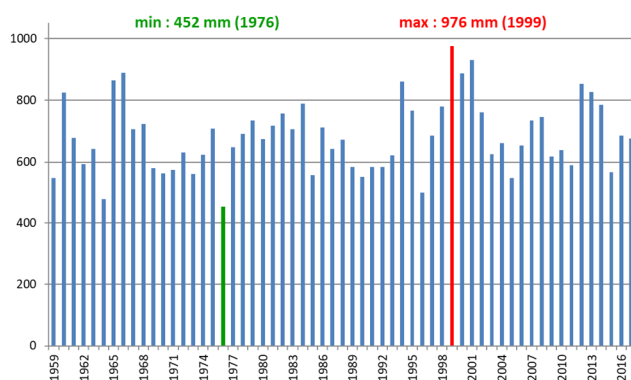
Châteauroux Déols



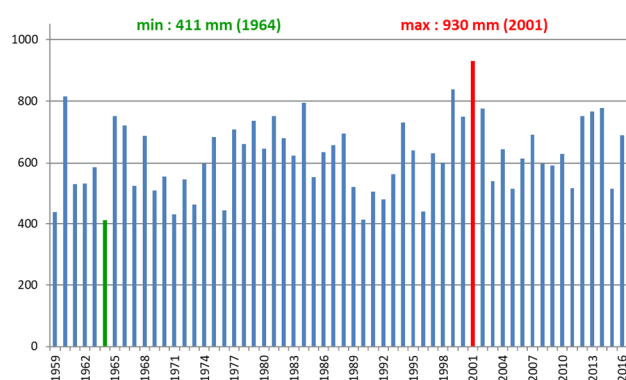
Tours



Vendôme



Orléans



### Analyse

Analyse de la tendance linéaire sur la période disponible

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	pente	évolution /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	0,506	5,064	0,593	non significative	0,01
28	Chartres	1959	59	1,703	17,035	0,038	significative	0,07
36	Châteauroux Déols	1959	59	-0,425	-4,254	0,623	non significative	0,00
37	Tours	1959	59	0,383	3,833	0,652	non significative	0,00
41	Vendôme	1959	59	1,164	11,639	0,186	non significative	0,03
45	Orléans	1959	59	1,466	14,659	0,105	non significative	0,05





## A4-Cumul annuel des pluies

L'évolution du cumul annuel des pluies en Région Centre Val-de-Loire montre que :

- les tendances par ajustement linéaire observées sur l'ensemble de la période sont de :

+ 5,1 mm par décennie à Bourges (NS)

**+ 17,0 mm par décennie à Chartres, soit +100,5 mm en 59 ans**

- 4,2 mm par décennie à Châteauroux Déols (NS)

+ 3,8 mm par décennie à Tours (NS)

+ 11,6 mm par décennie à Vendôme (NS)

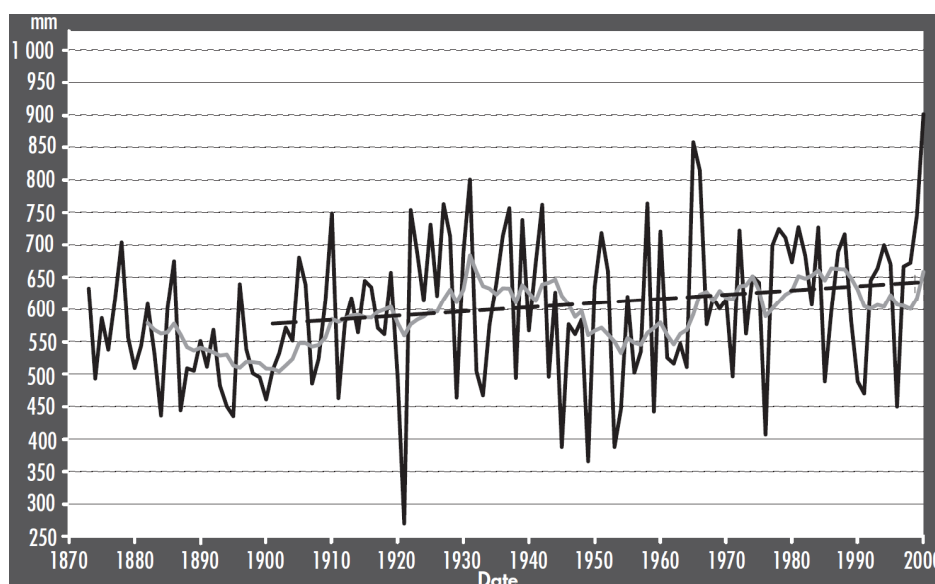
+ 14,7 mm par décennie à Orléans (NS)

- La plupart des tendances observées pour le cumul annuel des pluies ne sont pas significatives ce qui signifie que ces départements ont un cumul annuel **relativement constant depuis 59 ans**. Seule la station de Chartres montre une augmentation significative des pluies en cumul annuel (+100 mm / an depuis 1959).

- On observe de fortes variations de précipitations d'une année à l'autre pouvant atteindre jusqu'à 400 mm d'écart entre deux années consécutives (exemple de la station de Bourges entre l'année 1964 et 1965 avec respectivement 565 et 976 mm en cumul annuel). Cette variation annuelle (caractérisé par un  $R^2 < 0,1$ ), nettement supérieure à la variation tendancielle sur la période d'étude, perturbe la perception d'une tendance éventuelle.

- ORACLE Pays de la Loire montre également que les stations aux mêmes latitudes que la région Centre Val-de-Loire ne dégagent pas de tendance claire. Par exemple : Le Mans et la Roche-sur-Yon n'ont pas d'évolution significative alors qu'Angers a eu une augmentation de 26 mm par décennie (Colombie et al.)

- La station de Paris-Montsouris permet de remonter jusqu'en 1873 (voir graphique ci-dessous). Cela conforte également les données de la Région Centre Val-de-Loire car la hausse des cumuls des précipitations est visuelle (coefficient de Spearman = 0,17) mais n'est pas significative statistiquement (Moisselin et al.).

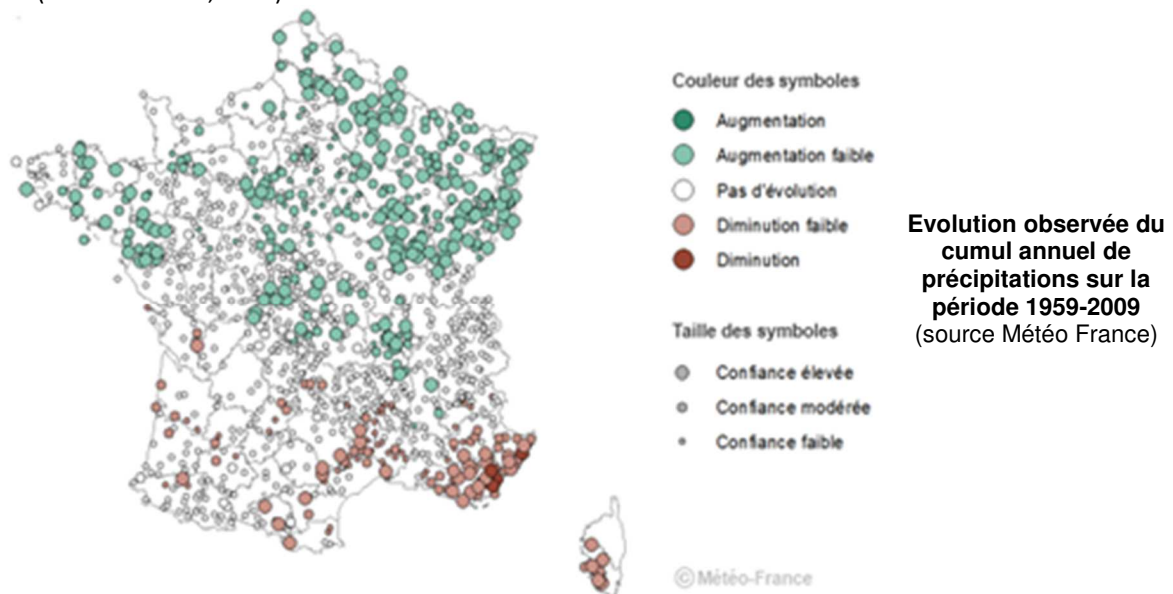


Evolution de 1873 à 2000 du cumul annuel des précipitations (en mm) à Paris-Montsouris, en noir. Moyenne glissante sur 15 ans en gris, tendance 1901-2000 en traits discontinus (Moisselin et al.)

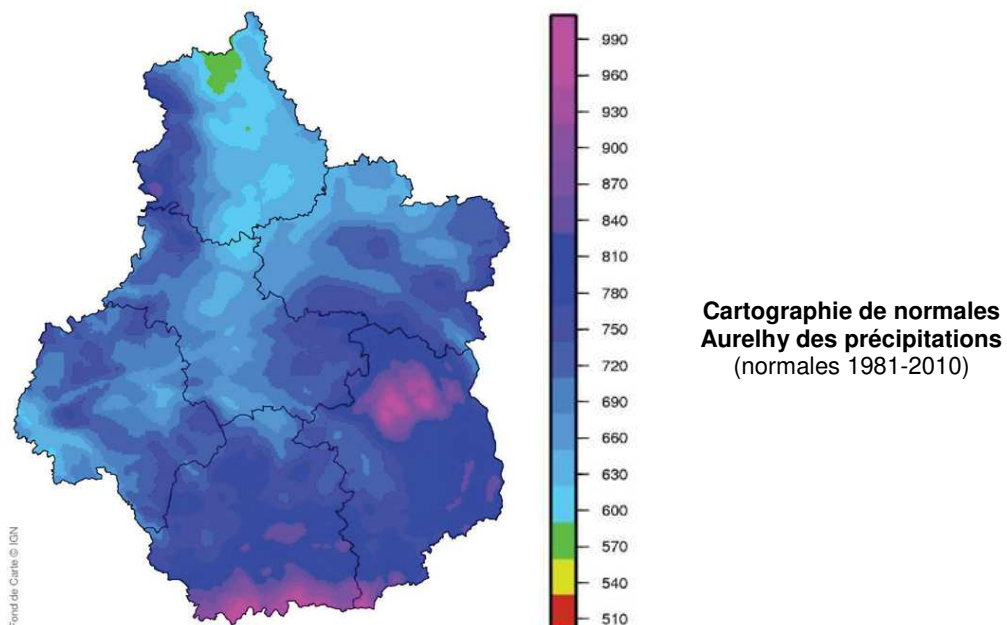


## A4-Cumul annuel des pluies

- Une étude à l'échelle française montre que les 2/3 nord du pays présentent une hausse des cumuls mais non significatif alors que la partie sud de la France présente des baisses, mais non significatives (Moisselin et al., 2002).



- Les précipitations régionales ne montrant pas d'évolutions importantes depuis 59 ans ; la carte des normales des précipitations 1981-2010 (voir cartographie ci-dessus) qui semble indiquer des précipitations supérieures au sud-est, conservera sûrement ces différences dans un futur proche.



- Ces résultats sont cohérents avec ceux du GIEC, à savoir une augmentation de 0,5 à 1 % par décennie du cumul annuel sur le XXème siècle aux moyennes et hautes latitudes continentales de l'hémisphère nord (Houghton et al, 2001).



## A4-Cumul annuel des pluies

### A Retenir

Au cours des 59 dernières années, on n'observe pas de tendance marquée du cumul annuel des pluies en région Centre Val-de-Loire, ce qui signifie une situation assez stable au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. Seule la station de Chartres (au nord de la Région Centre-Val-de-Loire) présente une augmentation significative des pluies de l'ordre de + 17 mm par décennie.

### Pour aller plus loin

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 voire mensuelles.

### Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, N. Noguer, P. J. van der Linden, D. Xiaosu, K. Maskell and C. A. Johnson. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. 2001. 881 pp. ISBN 0521 01495 6.

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M., CANELLAS M., MESTRE O. (2002) : Les changements climatiques en France au XX<sup>ème</sup> siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, La Météorologie n° 38, 45-56.



## A5-Cumul saisonnier des pluies

### 🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2017

### 🕒 Indicateur 1

Séries de 1959 à 2017 sur 6 stations :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres
- 36 : Châteauroux Déols
- 37 : Tours
- 41 : Vendôme
- 45 : Orléans

### 📊 Calcul de l'indicateur 1

Cumul sur 3 mois des pluies journalières (diagramme bleu)

- Hiver : Décembre à Janvier
- Printemps : Mars à Mai
- Été : Juin à Août
- Automne : Septembre à Novembre

Tendance linéaire sur la période disponible (courbe noire)

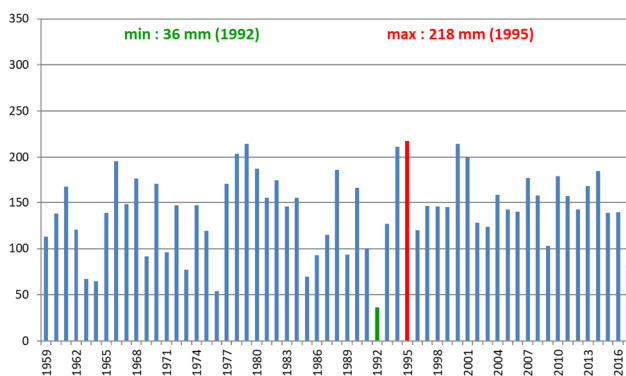
Cumul saisonnier minimum (en vert) – Cumul saisonnier maximum (en rouge)

### 📈 Évolution observée à Chartres

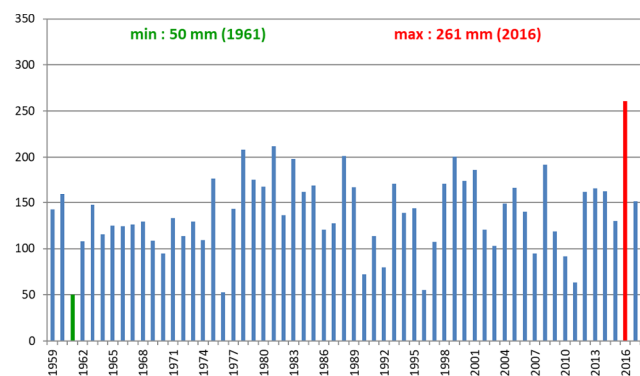
Seule la station de **Chartres** a été présentée sous forme de graphique, les autres stations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Pluies en mm

#### Hiver



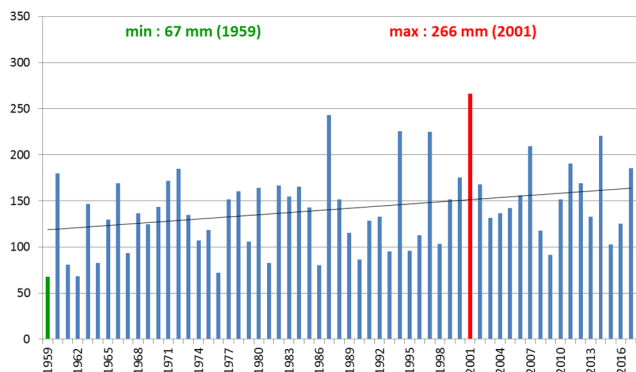
#### Printemps



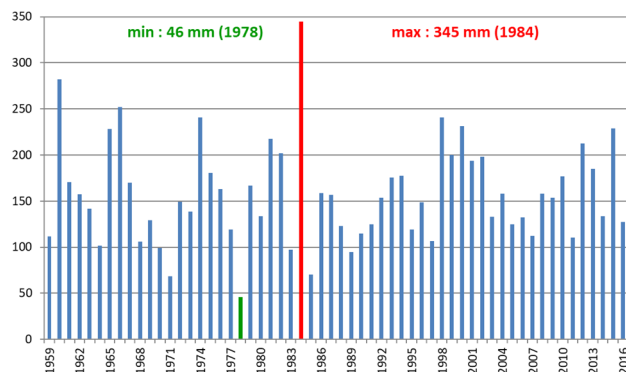


## A5-Cumul saisonnier des pluies

### Eté



### Automne



### Analyse

Analyse de la tendance linéaire sur la période disponible des 6 stations départementales

	Bourges	Chartres	Châteauroux Déols	Tours	Vendôme	Orléans
Hiver	-0,8 (NS)	4,1 (NS)	-5,1 (NS)	1,1 (NS)	5,1 (NS)	0,4 (NS)
Printemps	3,4 (NS)	4,6 (NS)	-1,2 (NS)	1,3 (NS)	2,8 (NS)	3 (NS)
Eté	2,4 (NS)	7,7 (P=0,02)	4,8 (NS)	2,2 (NS)	6,3 (NS)	10,9 (P=0,01)
Automne	-0,6 (NS)	0,4 (NS)	-3,5 (NS)	-1,1 (NS)	-1,3 (NS)	0,2 (NS)

Evolution saisonnière des pluies en mm par décennie (NS = Non significatif)

Les observations saisonnières affinent l'interprétation de la tendance annuelle non significative des cumuls de précipitations. On note qu'aucune tendance n'est significative, à part la saison estivale de Chartres et d'Orléans qui montrent une augmentation des pluies de respectivement 8 et 11 mm par décennie. Sans être significatif, on a :

- 6 stations sur 6 en hausse en **été** (dont 2 significatives)
- 5 stations sur 6 en hausse au **printemps**
- 4 stations sur 6 en hausse en **hiver**
- 4 stations sur 6 en baisse en **automne**

Ces observations diffèrent sensiblement de l'étude réalisée à l'échelle de la France (étude sur 40 séries départementales) où il avait été observé deux saisons caractéristiques (Moisselin et al.) :

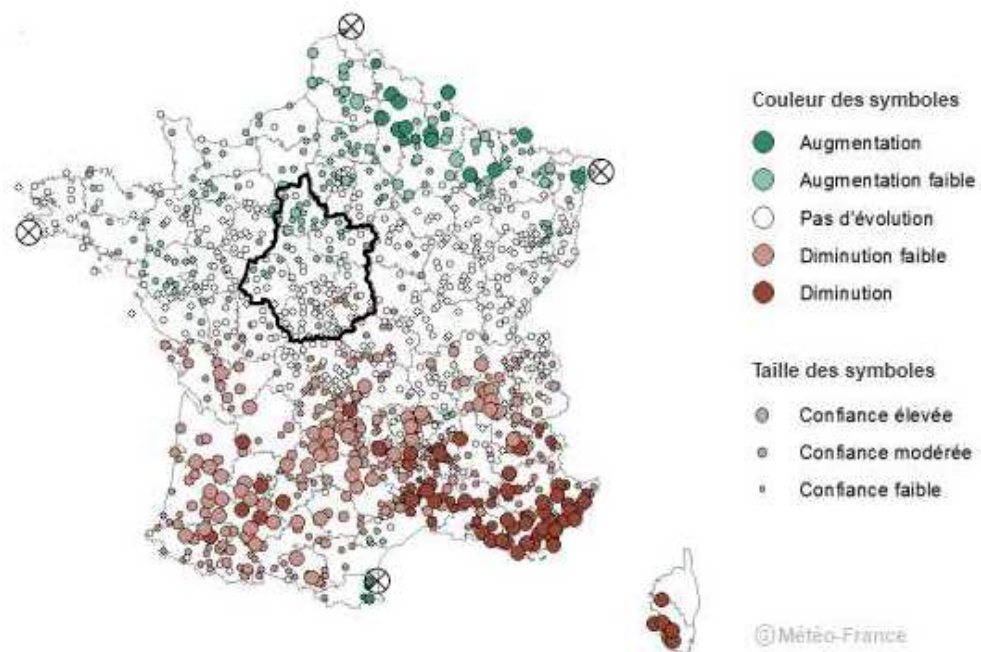
- en hiver, uniquement des séries de précipitations à la hausse (un tiers de ces hausses étant significatives).
- en été, une majorité de baisses, dont aucune cependant n'est significative.
- l'automne et le printemps présentent des résultats intermédiaires, la répartition obtenue pour l'automne le rapprochant plutôt de l'hiver (majorité de hausses), celle obtenue pour le printemps le rapprochant plutôt de l'été (un tiers de baisses).



## A5-Cumul saisonnier des pluies

- ORACLE Pays de la Loire montre qu'aucune saison n'a de tendance significative à l'augmentation des précipitations (entre 1971 et 2015). La seule augmentation se situe en automne à Angers avec +12 mm par décennie.
- Concernant les précipitations hivernales, Météo-France a détecté une augmentation des précipitations hivernales au nord de la France et une diminution au sud de la France. La Région Centre se situe en zone intermédiaire où aucune évolution franche n'a été détectée. On retrouve ces résultats en hiver sur la Région Centre, mais non significatifs :
  - Augmentation du cumul de pluie hivernale au nord (Chartres, Orléans et Vendôme),
  - Diminution du cumul de pluie hivernale au sud (Châteauroux et Bourges)

Evolution observée entre 1960 et 2010 du cumul hivernal des précipitations en France (Météo-France)





## A5-Cumul saisonnier des pluies

### A Retenir

Au cours des 60 dernières années, on n'observe pas de tendance marquée, à la hausse ou à la baisse, du cumul saisonnier des pluies en région Centre Val-de-Loire. Seules 2 stations du nord de la Région Centre-Val-de-Loire, Orléans et Chartres, présentent une augmentation significative des pluies de l'ordre de + 9 mm par décennie en été. Cette observation va à l'encontre des études publiées qui mentionnent plutôt une majorité de baisse des pluies estivales.

L'hiver semble être de plus en plus arrosé (non significatif) plutôt au nord de la Région Centre ce qui corrobore les études publiées.

### Pour aller plus loin

Il s'agit ici de cumul trimestriel (= saison) de pluie qui cache peut-être des variations plus localisées ; il serait intéressant d'étudier l'évolution des précipitations mensuelles. De plus, ces évolutions ne décrivent en rien les « modalités » précises de ces précipitations ; il serait intéressant d'étudier également le nombre d'épisodes pluvieux, les pluies intenses, le nombre de jours consécutifs sans pluie...

### Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M., CANELLAS M., MESTRE O. (2002) : Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, La Météorologie n° 38, 45-56.



## A6-Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### 🔑 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'ETP sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur la Région Centre Val-de-Loire.

Données fournies par Météo France

### 🕒 Indicateur 1

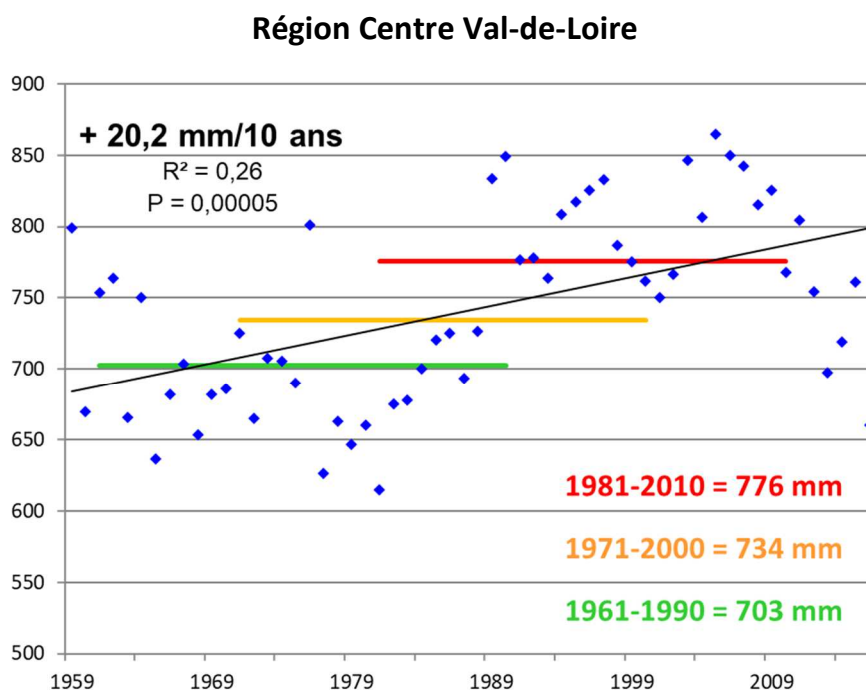
ETP modélisé par la chaîne SIM sur la Région Centre Val-de-Loire

### 🧮 Calcul de l'indicateur 1

- Cumul sur l'année des évapotranspirations potentielles.
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du cumul annuel d'ETP (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### 📈 Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Evapotranspiration potentielle en mm







## A6-Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### Analyse

L'évapotranspiration est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère sous forme de vapeur (Good et al, 2015) :

- à 64 % par transpiration des plantes (au niveau des stomates des feuilles).
- à 27 % par interceptions des précipitations sur la végétation et directement évaporé
- à 9 % par évaporation des sols et des étendues d'eau

Cette évapotranspiration, difficile à calculer à l'échelle d'une exploitation ou d'un département, va être modélisée. L'évapotranspiration potentielle (ETP), ou demande évaporative de l'atmosphère va dépendre de la température, du rayonnement, du vent et de l'humidité de l'air. Cette ETP va être définie par une référence : disponibilité en eau non limitative et couverture végétale homogène (exemple du modèle de Penman-Monteith).

L'ETP est donc le maximum d'eau (en mm) que peut évaporer le sol et transpirer la plante dans des conditions optimales : sol avec une réserve utile pleine et recouvert d'un «gazon» homogène, sans limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique.

L'ETP caractérise donc une demande évaporative de l'atmosphère mais ne donne pas de réponse quant aux besoins réels des plantes. L'accroissement de l'évapotranspiration potentielle (en lien étroit avec l'augmentation des températures) traduit une augmentation des besoins en eau des plantes.

L'ETR est une fraction de l'ETP égale à 1 tant que le couvert est en situation hydrique confortable et inférieure dès lors que le manque d'eau dans la zone racinaire contraint le végétal à refermer partiellement les stomates des feuilles.

Dans les déserts chauds, l'évapotranspiration potentielle (ETP) est très importante en raison de la chaleur et l'ensoleillement. Mais l'évapotranspiration réelle (ETR) est très faible, car le manque d'eau disponible pour le sol et les plantes (sécheresse) est un facteur limitant.

L'évolution du cumul annuel des évapotranspirations potentielles en région Centre Val-de-Loire depuis 1959 montre que :

- la tendance linéaire est de 20,2 mm par décennie, soit +117 mm en 59 ans.
- cette tendance est très hautement significative car  $P = 0,00005$  (soit 99,995 % de chance que la tendance ne soit pas due au hasard).
- il existe de variations interannuelles importantes ( $R^2 = 0,26$ )
- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple, + 37 mm par décennie pour la région Poitou-Charentes (soit + 203 mm en 55 ans).

- Les projections climatiques du projet CLIMATOR indiquent une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle dans le futur proche. A Versailles, on aurait un cumul annuel d'évapotranspiration de + 60 mm entre « 2035 » (moyenne 2020-2049) et « 1985 » (moyenne 1970-1999) (Brisson et al., 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. cumul saisonnier d'ETP).



## A6-Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### A Retenir

Depuis 1959, l'évapotranspiration potentielle annuelle augmente de +20 mm par décennie.

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 aller plus loin

La caractérisation de l'état hydrique réel des cultures sur cette période d'étude nécessiterait le calcul de l'évapotranspiration réelle<sup>1</sup> des plantes durant les cycles culturaux.

<sup>1</sup> : L'ETR est la quantité totale d'eau que peut évaporer le sol et transpirer la plante lorsque le sol est à son taux d'humidité naturel (où l'eau peut être limitante). Il va dépendre de coefficients culturaux spécifiques pour chaque plante et également de la réserve utile des sols. Des modélisations de l'ETR sont également disponibles.

### Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M., CANELLAS M., MESTRE O. (2002) : Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, La Météorologie n° 38, 45-56.

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.

GOOD S., NOONE D, BOWEN G, « Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes », Science, vol. 39, no 6244, 10 juillet 2015, p. 175-177



## A7-Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### 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'ETP sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur la Région Centre Val-de-Loire.

Données fournies par Météo France

### Indicateur 1

ETP modélisé par la chaîne SIM sur la Région Centre Val-de-Loire

### Calcul de l'indicateur 1

Cumul sur 3 mois des évapotranspirations potentielles depuis 1959.

- Hiver : Décembre à Février (en bleu)
- Printemps : Mars à Mai (en rouge)
- Été : Juin à Août (en vert)
- Automne : Septembre à Novembre (en violet)

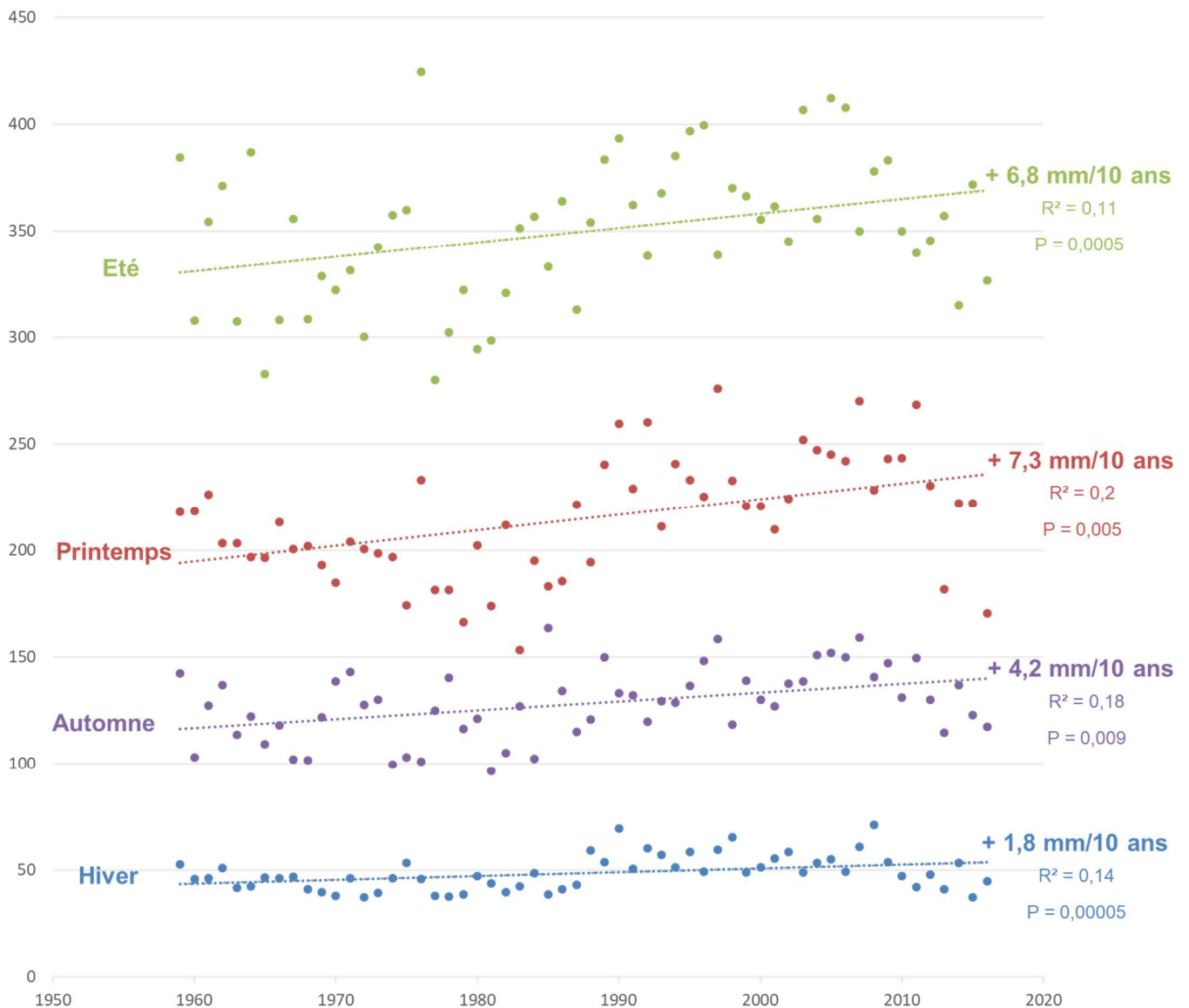
### Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Evapotranspiration potentielle en mm



## A7-Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### Région Centre Val-de-Loire





## A7-Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### Analyse

L'évolution du cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle pour la Région Centre Val-de-Loire montre que :

- Les tendances par ajustement linéaire observées depuis 1959 sont de :
  - + 1,8 mm par décennie en hiver, soit + 10 mm en 59 ans ;
  - + 7,3 mm par décennie au printemps, soit + 43 mm en 59 ans ;
  - + 6,8 mm par décennie en été, soit + 40 mm en 59 ans ;
  - + 4,2 mm par décennie en automne, soit + 24 mm en 59 ans ;
- toutes les saisons montrent une tendance significative à la hausse mais cette augmentation est plus marquée au printemps et en été ;
- de très fortes variations des évapotranspirations potentielles d'une année à l'autre sont présentes ( $R^2 < 0,2$ ).

La tendance à l'augmentation annuelle de l'ETP en Région Centre Val-de-Loire (+ 20 mm/10 ans) s'explique par l'élévation des valeurs de l'ETP sur toutes les saisons (car la tendance est significative dans tous les cas).

Cependant les augmentations sont nettement plus marquées au printemps (37 % du cumul annuel) et en été (34 %) par rapport à l'automne (21%) et à l'hiver (9 %). En faisant le parallèle avec une relative stabilité des précipitations, cette augmentation de l'évapotranspiration implique donc un durcissement des conditions hydriques du printemps et de l'été.

Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple, la station du Mans, sur une période de 45 ans, montre une augmentation des ETP (Colombie et al.):

- en hiver de +4 mm/10 ans et à l'automne de de +4 mm/10 ans
- en été de +8 mm/10 ans et au printemps de de +9 mm/10 ans

### A Retenir

Depuis 1959, une augmentation des ETP est observée sur toutes les saisons en Région Centre Val-de-Loire, avec le printemps et l'été qui affichent les hausses les plus marquées. Du fait de la relative stabilité des précipitations, cela implique un durcissement des conditions hydriques printanières et estivales.



## A7-Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)

---

### Pour aller plus loin

L'étude de la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle saisonnières permettrait de calculer le déficit hydrique par saison des plantes (voir indicateur déficit hydrique) et pourrait donner une idée de l'évolution du besoin potentiel en irrigation. Le besoin en irrigation devra également prendre en compte une probable disponibilité moindre de la ressource en eau (étiages plus tardifs et plus précoces, réalimentation des nappes plus variables ...) ou une nécessité d'un partage plus grand de la ressource avec les autres usagers.

### Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>



## A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

### 🔑 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 les indicateurs d'ETP et de précipitations sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur la Région Centre Val-de-Loire.

Données fournies par Météo France

### 🕒 Indicateur 1

Déficit hydrique climatique annuel

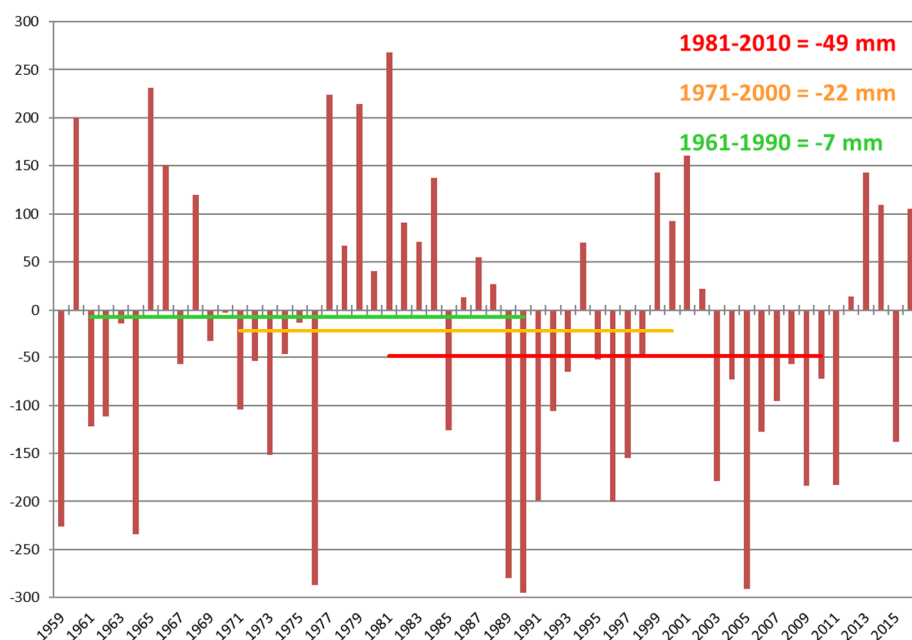
### 📊 Calcul de l'indicateur 1

- Déficit hydrique climatique (Précipitations – ETP régionaux) annuel
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2016 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du déficit hydrique climatique (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### 📈 Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Déficit hydrique climatique en mm

#### Région Centre Val-de-Loire





## A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

### Analyse

- L'évolution du déficit hydrique climatique annuel pour la Région Centre Val-de-Loire depuis 1959 montre une tendance (ajustement linéaire) observée sur l'ensemble de la période de - 8,9 mm par décennie mais qui n'est pas significative ( $P=0,44$ ).
- Le déficit hydrique climatique annuel est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car  $R^2$  moyen = 0,01.

### Indicateur 2

Déficit hydrique climatique saisonnier sur la Région Centre Val-de-Loire

### Calcul de l'indicateur 2

Déficit hydrique climatique (Précipitations – ETP régionaux) saisonnier

- Hiver : Décembre à Janvier (en bleu)
- Printemps : Mars à Mai (en rouge)
- Été : Juin à Août (en vert)
- Automne : Septembre à Novembre (en violet)

Tendance linéaire sur la période disponible (courbe noire)

### Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Déficit hydrique climatique en mm



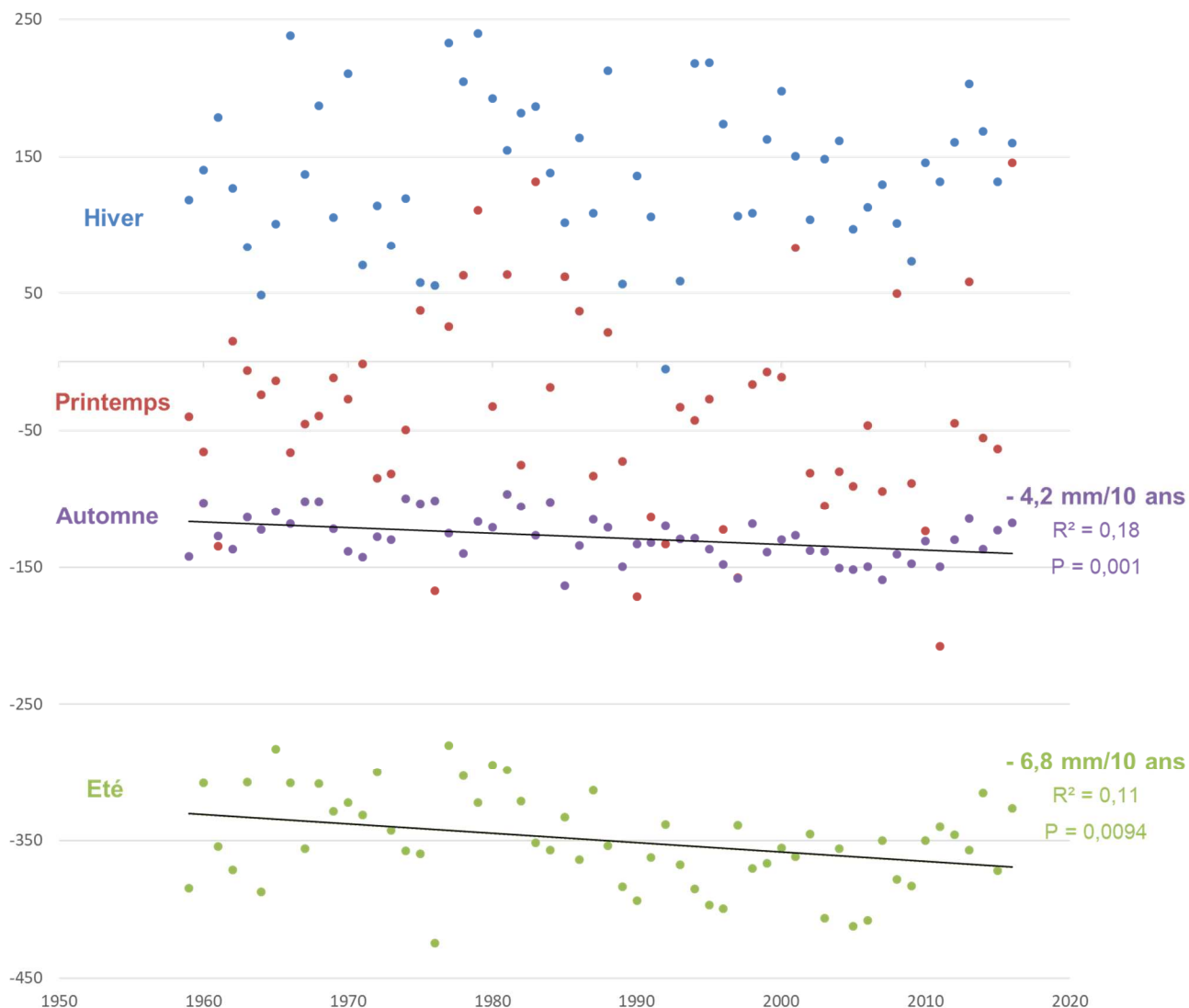
# 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

### Région Centre Val-de-Loire



Période	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution en mm /10 ans	évolution en mm/58 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
annuelle	1959	58	-8,839	-51,26 mm	0,444	non significative	0,01
hivernale	1959	58	1,291	7,49 mm	0,763	non significative	0,00
printannière	1959	58	-3,855	-22,36 mm	0,516	non significative	0,01
estivale	1959	58	-6,833	-39,63 mm	0,009	hautement significative	0,11
automnale	1959	58	-4,156	-24,11 mm	0,001	hautement significative	0,18



## A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

L'évolution du déficit hydrique climatique saisonnier pour la Région Centre Val-de-Loire montre que :

- Les tendances par ajustement linéaire observées depuis 1959 sont de :
  - + 1,3 mm par décennie en hiver (NS) ;
  - 3,9 mm par décennie au printemps (NS) ;
  - **6,8 mm par décennie en été**, soit - 40 mm en 58 ans ;
  - **4,2 mm par décennie en automne**, soit - 24 mm en 58 ans ;
- Toutes les saisons montrent une tendance à la baisse sauf l'hiver qui présente une tendance à la hausse (+1,3 mm/10 ans) mais non significative. Les saisons estivales et automnale montrent une baisse du déficit hydrique significatif avec respectivement -6,8 mm et -4,2 mm tous les 10 ans.
- De très fortes variations des déficits hydriques d'une année à l'autre sont présentes ( $R^2 < 0,2$ ).
- 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 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...).
- Ces données de déficit hydrique corroborent les données des précipitations et de l'ETP puisque :
  - Concernant les précipitations : pas d'observation de tendance marquée quelle que soit la saison pour les 6 stations de la Région Centre Val-de-Loire (sauf 2 stations au nord en été).
  - Concernant l'ETP : une augmentation des ETP est observée sur toutes les saisons en Région Centre Val-de-Loire, avec le printemps et l'été qui affichent les hausses les plus marquées (+ 7 mm par décennie).

Le déficit hydrique étant la soustraction de l'ETP aux précipitations, on retrouve l'été et l'automne comme saison significativement en baisse. Il est surprenant de ne pas voir apparaître le printemps en baisse significative car l'augmentation de l'ETP printanière (+7 mm/décennie) est plus importante que l'ETP automnale (+4 mm/décennie) mais cela peut s'expliquer par les précipitations saisonnières qui possèdent une forte variabilité interannuelle.

- A noter que dans l'ORACLE Pays de la Loire (notamment à Angers et au Mans), il n'a pas été trouvé de tendance significative du déficit hydrique saisonnier (Colombie et al, 2017).



## A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)



### A Retenir

Depuis 1959, Le bilan hydrique climatique annuel n'a pas évolué de manière significative. Idem pour le bilan hydrique hivernal et printanier. Par contre, le bilan hydrique climatique automnal (-4,2 mm tous les 10 ans) et estival (-6,8 mm tous les 10 ans) a baissé significativement, ce qui implique un durcissement des conditions hydriques à ces périodes.



### Pour aller plus loin

Les valeurs de déficit hydrique 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 et le type de couverture du sol.



### Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>



**oracle**  
Centre Val-de-Loire

## 2 AGRO CLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

### B1-Nombre de jours échaudants au printemps

---

#### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

#### Indicateurs 1

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

#### Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C entre le 1er avril et le 30 juin (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du nombre de jours échaudants (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

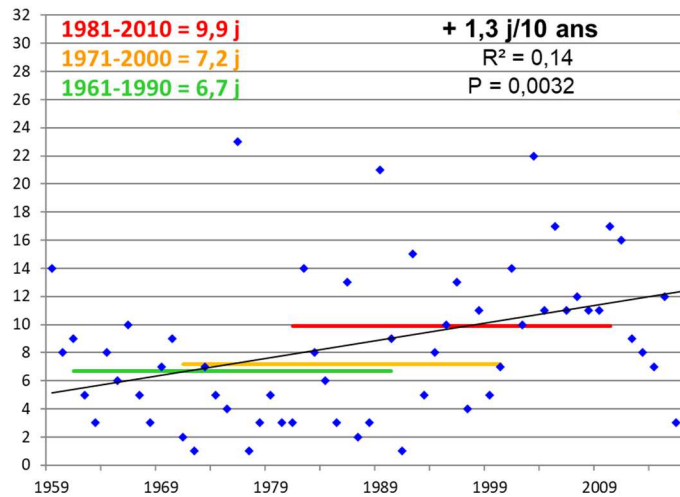
#### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours échaudant

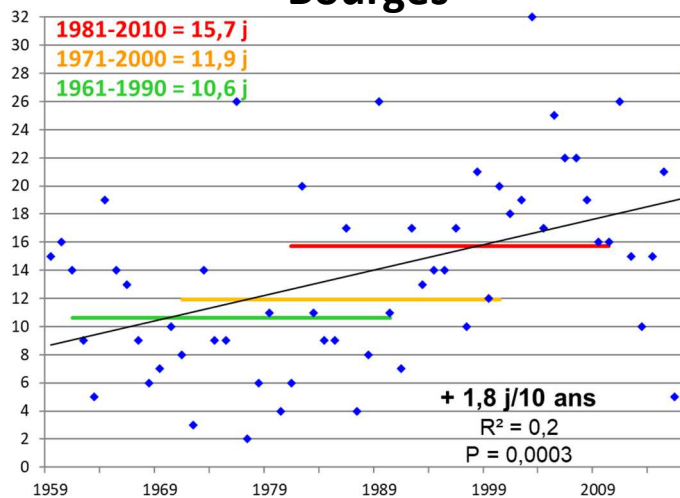


## B1-Nombre de jours échaudants au printemps

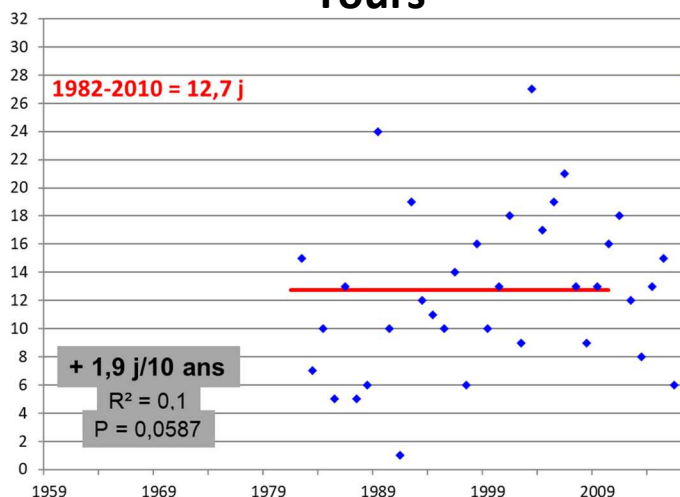
### Chartres



### Bourges



### Tours





## B1-Nombre de jours échaudants au printemps



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	1,8	5,4	3,4E-04	très hautement significative	0,20
28	Chartres	1959	59	1,3	3,8	3,2E-03	hautement significative	0,14
37	Tours	1959	36	1,3	3,8	0,06	non significative	0,10

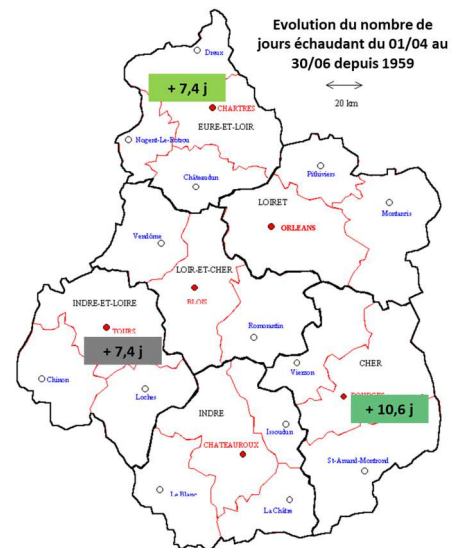
- L'évolution du nombre de jours échaudants du 01/04 au 30/06 montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

**+1,8 jour échaudant par décennie à Bourges** (P<0,001),  
**+1,3 jour échaudant par décennie à Chartres** (P<0,001),  
 +1,3 jour échaudant par décennie à Tours (NS).

A noter que l'évolution des jours échaudants de la station de Tours est presque significative (P=0,06).

Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :

- +1,9 jour échaudant par décennie à Angers du 01/04 au 31/07 (P<0,05) (Colombie et al, 2017),
- + 1,4 jour échaudant par décennie à Poitiers du 01/04 au 30/06 (Levrault et al, 2015).



- Il existe de très fortes variations annuelles dans le nombre de jours échaudants printaniers (R<sup>2</sup> moyen = 0,17).
- L'évolution du nombre de jours échaudants printaniers semble augmenter de façon très importante (moyenne des stations de Bourges et Chartres) :
  - de 8,7 j à 9,6 j en Avril-Mai-Juin, soit + 0,88 j entre « 1985 » (1961-1990) et « 1975 » (1971-2000)
  - de 9,6 j à 12,8 j en Avril-Mai-Juin, soit + 3,3 j entre « 1995 » (1981-2010) et « 1985 » (1961-1990)

Les températures élevées, si elles se situent pendant le remplissage des grains, ont des répercussions physiologiques (concurrence entre photosynthèse et photorespiration, accroissement de la respiration nocturne, fermeture stomatique) appelées « échaudage thermique », qui pénalisent le rendement. Ce phénomène existe, en particulier chez le blé et le tournesol. Chez les céréales à paille, on considère que ces mécanismes préjudiciables à la production se manifeste à partir de 25°C (Brisson et al., 2010).

La température d'échaudage thermique pour le blé tendre est la même que celle des journées estivales (voir « Nombre de jours estivaux »).

Les céréales à paille subissent de plus en 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. Arvalis annonce que l'augmentation de ce stress thermique est l'une des causes principales de la stagnation des rendements de blé en France (source Arvalis).



## B1-Nombre de jours échaudants au printemps

En théorie, le réchauffement climatique entraînera une accélération des cycles végétatifs qui permettra d'esquiver partiellement ces jours échaudants supplémentaires, atténuant ainsi en partie les effets négatifs sur le rendement. Deux voies d'adaptation apparaissent alors : l'avancement des dates de semis et l'amélioration variétale orientée vers le raccourcissement des cycles et la tolérance aux températures élevées.



### A retenir

Au cours des 59 dernières années, le nombre moyen de jours échaudant entre le 01/04 et le 30/06 (durée de 91 jours) :

- 7 de 10,6 jours dans les années « 1975 » à 15,7 jours dans les années « 1995 » à Bourges,
- est de 12,7 jours dans les années « 1995 » à Tours.

L'évolution tendancielle constatée (ajustement linéaire) sur l'ensemble de la période étudiée (1959 – 2017) est de **+ 1,5 jour échaudant par décennie** entre le 01/04 et le 30/06 mais cette tendance ne semble pas être linéaire au vu de l'évolution des moyennes trentenaires : la différence entre les normales de « 1985 » et « 1975 » et les normales « 1985 » et « 1995 » a été multiplié par 3,7.

Même si des adaptations tels que les choix variétaux ou l'avancée des dates de semis pourraient être envisagées, l'augmentation rapide du nombre de jours échaudants observée est inquiétante. L'augmentation de ce stress thermique serait la cause principale de la stagnation du rendement en blé depuis les années 2000 (voir « Rendement en blé tendre »).



### Pour aller plus loin

Au-delà de l'avancement des cycles végétatifs résultant du changement climatique, il est important de noter que l'augmentation des températures se traduit également par un raccourcissement de la période de sensibilité à l'échaudage (remplissage du grain) qui amplifie l'esquive.



### 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.

Site d'Arvalis : <https://www.arvalis-infos.fr/une-evolution-des-rendements-differente-selon-les-especes-@/view-20322-arvarticle.html>



## B2-Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril

---

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

### Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température minimale est inférieure ou égale à 0°C du 1er mars au 30 avril (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du nombre de jours de gel au printemps (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### Évolution observée

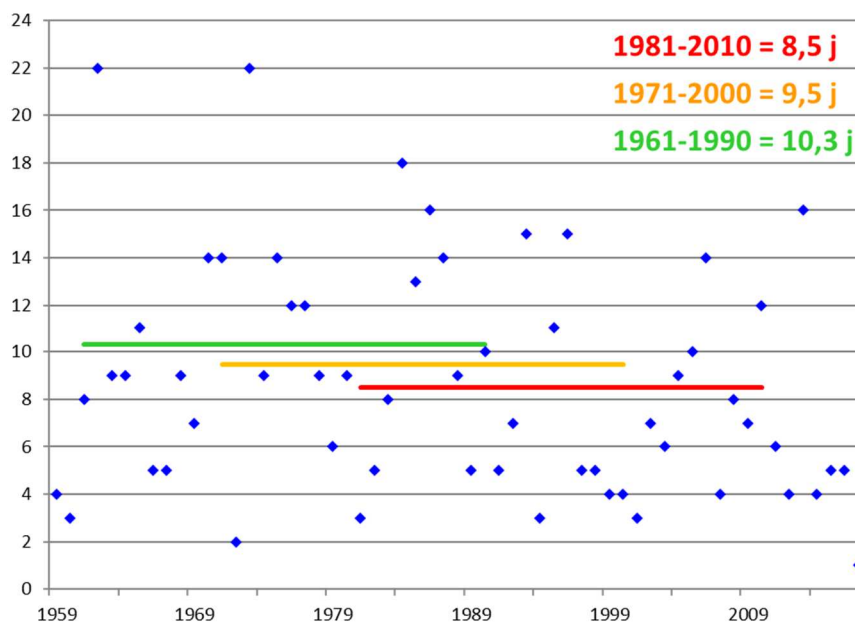
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril



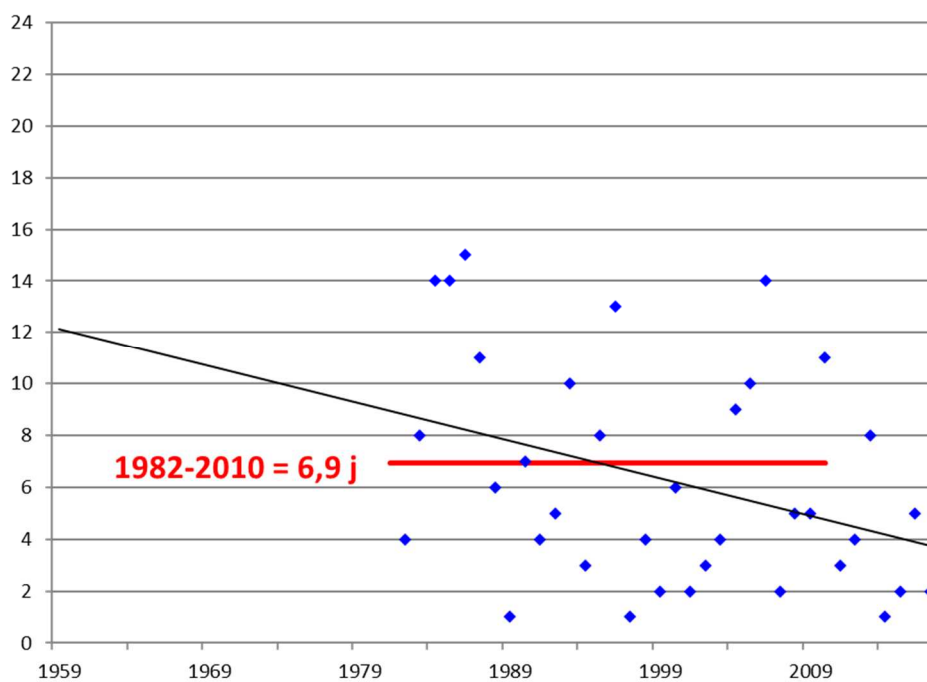


## B2-Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril

### Bourges



### Tours





## B2-Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	-0,6	-1,9	0,09	non significative	0,05
37	Tours	1982	36	-1,4	-4,3	0,03	significative	0,13

L'évolution du nombre de jours de gel du 1<sup>er</sup> mars au 30 avril en Région Centre Val-de-Loire depuis 1959 (1982 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- 0,6 j par décennie à Bourges (NS)
- **1,4 j par décennie** à Tours, soit - 4,3 j en 30 ans

- A noter que la tendance est presque significative à Bourges (P=0,09).

- La station de Tours montre une tendance significative à la baisse malgré une période courte de mesures (36 années). En 36 ans, le nombre de jours de gel a diminué de 57 % pendant le mois de mars et avril (51 jours) en passant de 1 jour sur 7 en 1982 à 1 jour sur 16 en 2017.

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :

- **0,9 j par décennie** à Cognac (Levrault et al, 2015),
- **1,1 j par décennie** à Angers (Colombie et al, 2017),
- **1,4 j par décennie** au Mans (Colombie et al, 2017),

- On observe une raréfaction du nombre de jours de gel de mars à avril mais la variation interannuelle extrêmement importante (R<sup>2</sup>=0,13) fait que cette période de l'année reste sujette à des risques de gel.

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 (voir « Nombre de jours de gel annuel » et « Début et fin de la période de gel »).

La période du 1<sup>er</sup> mars au 30 avril correspond à la période de réveil de la végétation de plusieurs cultures pérennes et de la plantation des cultures de printemps. C'est une phase où les végétaux développent des organes plus sensibles aux froides températures. Par exemple, la vigne est très sensible aux températures inférieures à 0°C, en particulier celles de -2,5°C (Reynier 2007) et peuvent causer la mortalité des bourgeons primaires ou des jeunes pousses ; idem en arboriculture. 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).



## B2-Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril



### A retenir

Le nombre de jours de gel du 1<sup>er</sup> mars au 30 avril est en diminution sur la station de Tours qui ne possède que 36 années de mesure alors que la tendance est moins nette sur la station de Bourges (NS).

Malgré cette tendance, l'avancement des stades phénologiques des cultures et la très forte variation interannuelle du nombre de gelées font que le risque de gel reste une problématique pour la vigne, l'arboriculture, voire quelques cultures de printemps.



### Pour aller plus loin

Une étude approfondie de l'avancement du débourrement des végétaux (notamment la vigne) permettrait de mieux caractériser le risque de gel printanier.



### 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](http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=3&type_acc=5&id_acc=154) Consulté le 8/01/2019

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012 : Le climat de la France de l'Ouest au XXI<sup>ème</sup> 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.

Reynier A (2007) Manuel de viticulture. Ed. Lavoisier Tec et Doc, Paris



## B3-Début, durée et fin de la période de gel

---

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1 : Date de la première gelée « entrée d'hiver » et de la dernière gelée « sortie d'hiver »

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres

Séries de 1963 à 2017 sur la station :

- 36 : Pellevoisin

### Calcul de l'indicateur 1

- Evolution des dates 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 (nuage de points bleus).
- Tendance linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### Évolution observée

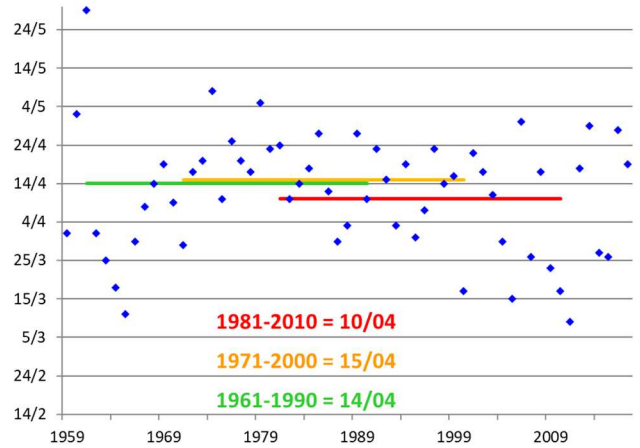
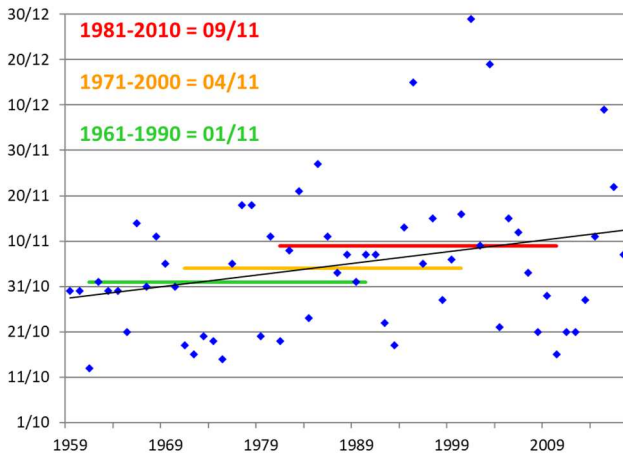
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date



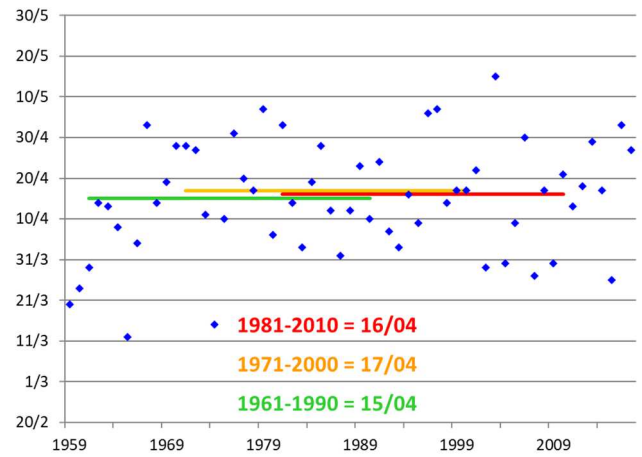
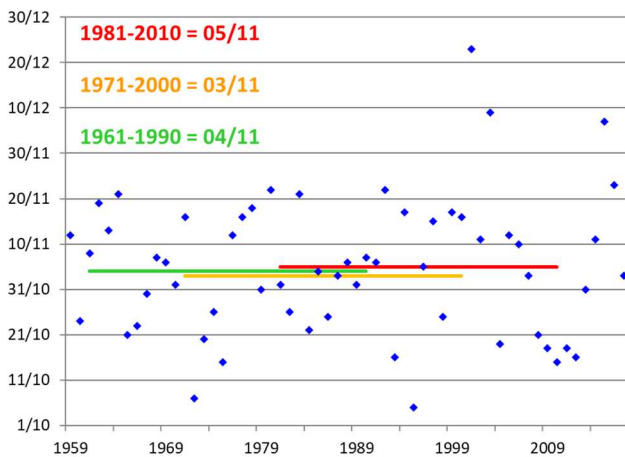
## Date de la première gelée entrée hiver

## Date de la dernière gelée sortie hiver

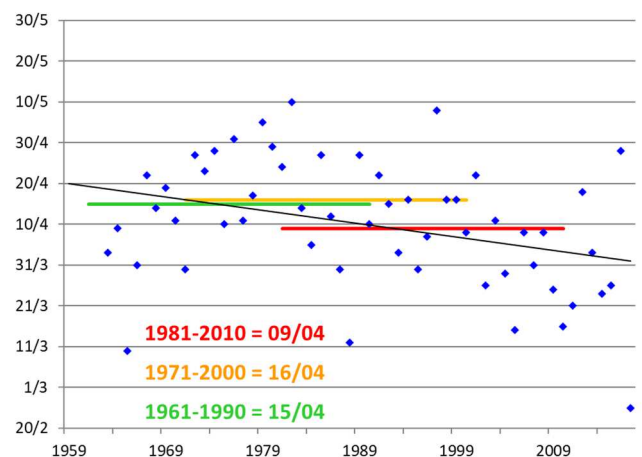
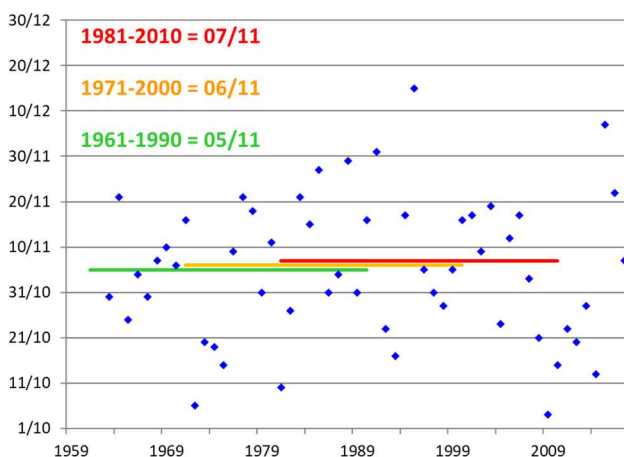
### Bourges



### Chartres



### Pellevoisin





## B3-Début et fin de la période de gel



### Date de la première gelée entrée hiver

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	2,6	7,7	0,04	significative	0,08
28	Chartres	1959	59	0,6	1,7	0,63	non significative	0,004
36	Pellevoisin	1963	55	0,1	0,2	0,97	non significative	0,00003

L'évolution de la date de la première journée de gel entrée hiver depuis 1959 (1963 pour la station de Pellevoisin) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- + **2,6 j par décennie** à Bourges (P=0,04), soit + 15 j en 59 ans.
- 0,6 j par décennie à Chartres (NS)
- 0,1 j par décennie à Pellevoisin (NS)

- Cet indicateur est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> = 0,08.

- Ces évolutions se retrouvent en-dessous de la moyenne des régions voisines. Par exemple :  
+ 4 j par décennie à Angers (P<0,1) depuis 1971 (Colombie et al., 2017)

### Date de la dernière gelée sortie hiver

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	-1,3	-4,0	0,27	non significative	0,02
28	Chartres	1959	59	1,6	4,9	0,12	non significative	0,04
36	Pellevoisin	1963	55	-3,2	-9,7	0,01	significative	0,11

L'évolution de la date de la dernière gelée sortie hiver depuis 1959 (1963 pour la station de Pellevoisin) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- 1,3 j par décennie à Bourges (NS)
- + 1,6 j par décennie à Chartres (NS)
- **3,2 j par décennie** à Pellevoisin (P=0,01), soit - 19 j en 59 ans.

- Cet indicateur est très variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> = 0,1.

- Ces évolutions se retrouvent en-dessous de la moyenne des régions voisines. Par exemple :  
- 4,4 j par décennie à Angers (P<0,05) depuis 1971 (Colombie et al., 2017)



## B3-Début et fin de la période de gel



### Indicateurs 2 : Durée de la période de gel

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres

Séries de 1963 à 2017 sur la station :

- 36 : Pellevoisin



### Calcul de l'indicateur 2

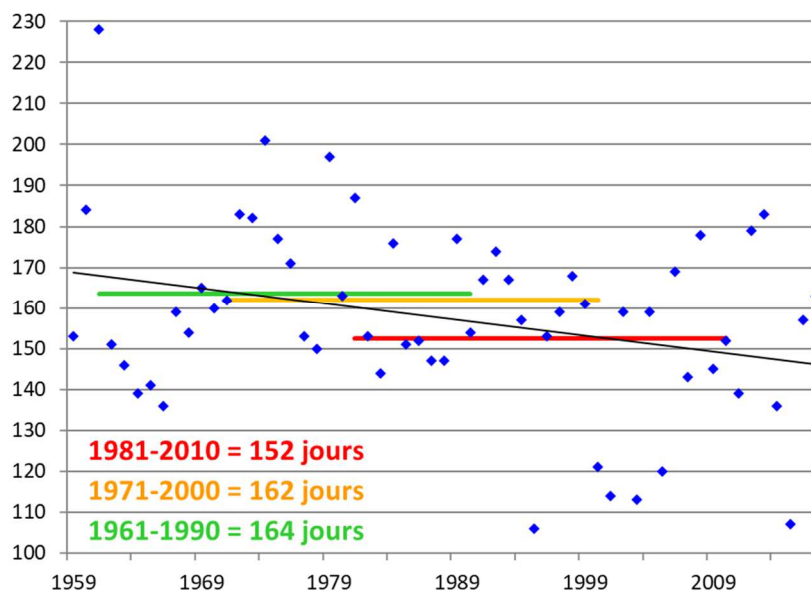
- Evolution de la période en nombre de jours entre la première gelée automnale de l'année n et la dernière gelée printanière de l'année n+1 (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)



### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours

## Bourges





## B3-Début et fin de la période de gel



### Durée de la période de gel

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	-3,9	-11,7	0,02	significative	0,09
28	Chartres	1959	59	1,1	3,2	0,45	non significative	0,01
36	Pellevoisin	1963	55	-3,3	-9,9	0,08	non significative	0,06

L'évolution de la durée de la période de gel depuis 1959 (1963 pour la station de Pellevoisin) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- **3,9 j par décennie** à Bourges (P=0,04), soit - 23 j en 59 ans.
- 1,1 j par décennie à Chartres (NS)
- 3,3 j par décennie à Pellevoisin (NS)

- A noter que la tendance est presque significative à Pellevoisin (P=0,08).

- Cet indicateur est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> = 0,09.

- Ces évolutions se retrouvent en-dessous de la moyenne des régions voisines. Par exemple :  
- 8,4 j par décennie à Angers (P<0,1) depuis 1971 (Colombie et al., 2017)

Les stations de Bourges et *Pellevoisin* (*car presque significatif*) montrent une diminution de la durée de la période de gel d'environ **-3,6 jours par décennie** expliquée par :

- une première gelée automnale plus tardive à Bourges : **+ 2,6 j par décennie**
- une dernière gelée printanière plus précoce à Pellevoisin : **- 3,2 j par décennie**

Par contre, à Chartres, 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. Chartres ne semble pas avoir de modification significative de sa période de gel. La ville du Mans, situé à proximité de Chartres, est dans la même situation (Colombie et al., 2017).

Le nombre de jours de gel annuel tend à diminuer sur pratiquement toutes les stations départementales d'environ 4 jours par décennie (voir « Nombre de jours de gel »). Pourtant si ce nombre de jours de gel tend à diminuer annuellement, il semblerait que la durée de la période de gel diminue également (à part Chartres). Par contre, le décalage de la période de gel (gelée automnale plus tardive ou gelée printanière plus précoce) n'est pas clairement établi. Il semble que la forte variabilité inter annuelle laissera apparaître certaines années des valeurs équivalentes à celles d'aujourd'hui au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. Les plantes ayant une avancée des cycles végétatifs de par le réchauffement climatique, se trouveront alors sujettes au risque de gel printanier, malgré la diminution du nombre de jours de gel annuel (Dubreuil et al., 2012).





## B3-Début et fin de la période de gel



### A retenir

Les stations de sud de la Loire montrent une diminution de la durée de la période de gel d'environ -3,6 jours par décennie.

Le décalage éventuel de la période de gel (gelée entrée hiver plus tardive ou gelée sortie hiver plus précoce) n'est pas clairement établi.

Au nord de la Loire, Chartres ne semble pas avoir de modification significative de sa période de gel.

Ainsi, malgré la diminution du nombre de jour de gel annuel avérée, il n'est pas clairement établi que la période de gel printanière se termine de plus en plus tôt, le risque de gel printanier semble donc toujours présent.



### Pour en savoir plus

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

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.



## B4-Indice de Winkler

---

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1 : Indice de Winkler en °C.j

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

L'indice de Winkler est basé sur le principe des degrés-jours de croissance, il calcule la somme des températures moyennes journalières au-dessus de 10°C, sur une période de sept mois. Il estime ainsi le potentiel thermique d'une région viticole.

### 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 1er avril au 31 octobre (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire de l'indice de Winkler (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

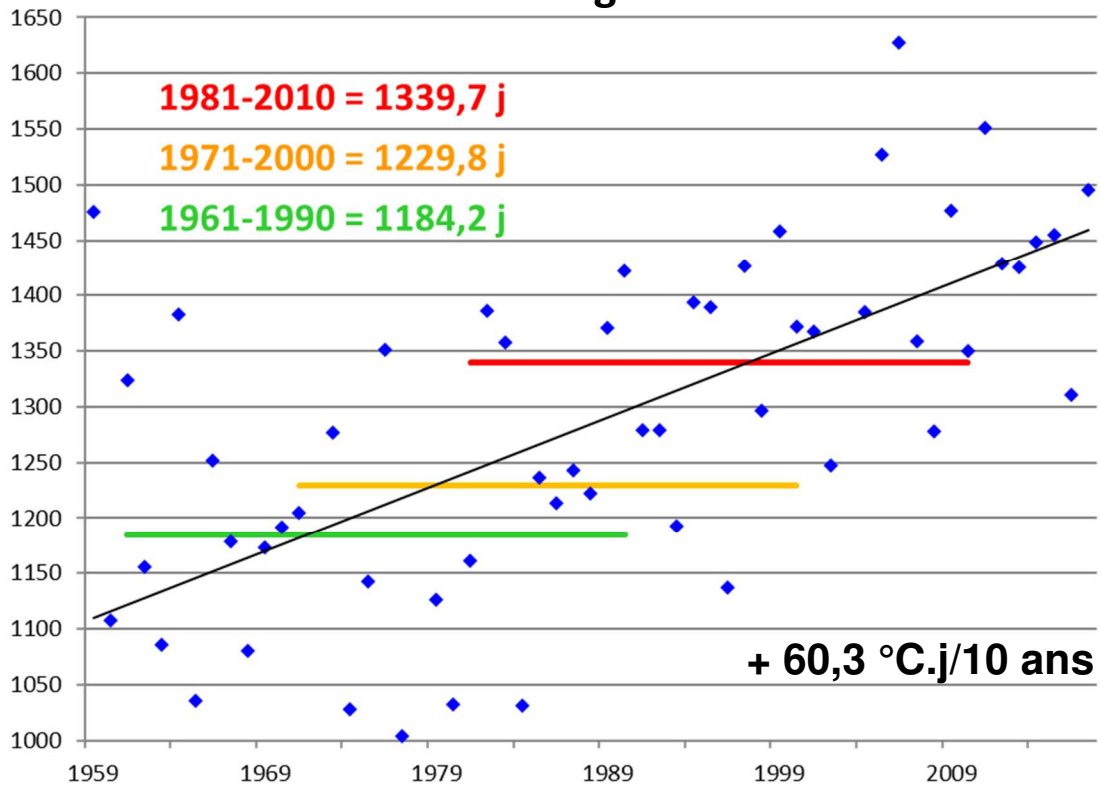
### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Indice de Winkler

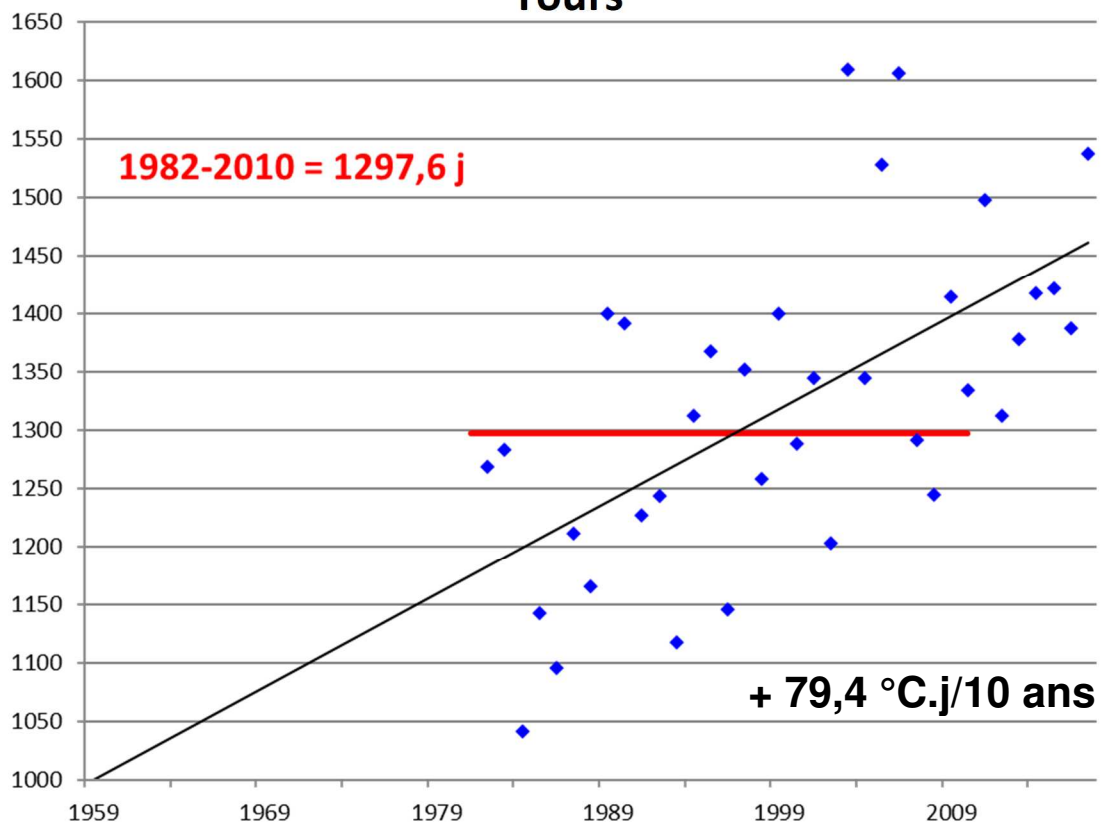


## B4-Indice de Winkler

### Bourges



### Tours





## B4-Indice de Winkler



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	60,3	180,8	3,0E-07	très hautement significative	0,37
37	Tours	1982	36	79,4	238,2	7,6E-05	très hautement significative	0,37

L'évolution de l'indice de Winkler du 1er avril au 31 octobre depuis 1959 (1982 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- + 60,3 °C.j par décennie à Bourges, soit + 356 °C.J en 59 ans
- + 79,4 °C.j par décennie à Tours, soit + 238 °C.J en 30 ans

- L'indice de Winkler est moyennement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> moyen = 0,4.

- Ces évolutions se retrouvent au-dessus de la moyenne des régions voisines. Par exemple :  
 + 45,5 °C.J par décennie à Saumur en 60 ans (P<0,01)  
 + 56 °C.J par décennie à Angers en 60 ans (P<0,01)



### Indicateurs 2 : Classes des indices de Winkler

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges



### Calcul de l'indicateur

Classement des indices de Winkler selon les classes climatiques (défini par Winkler et al. 1974) pour différentes moyennes trentennaires (1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010)



### Évolution observée

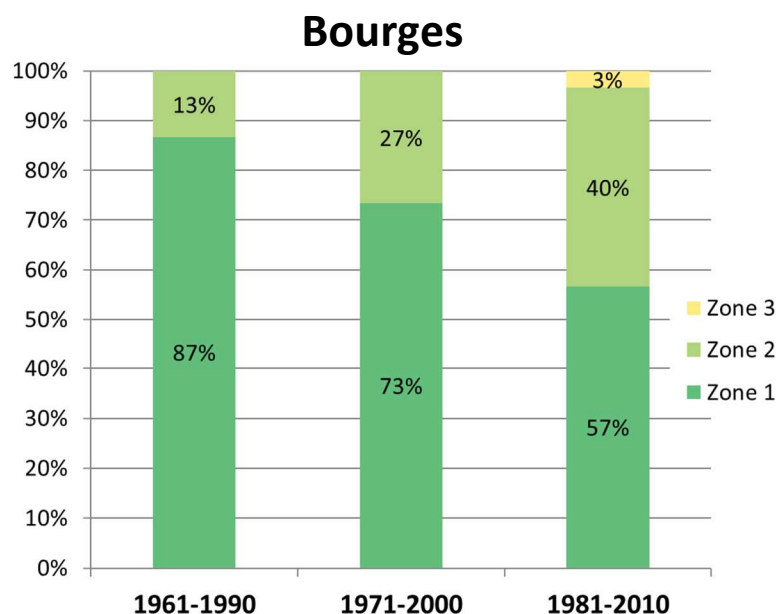
- En abscisse : Classes des indices de Winkler
- En ordonnée : Pourcentage

L'indice de Winkler est classé en 5 zones climatiques selon le tableau ci-dessous :

Zone	°C.jours	Exemples : Villes (Pays)
5	$x \geq 2205$	Jerez (E), Hunter (Aus), Palerme (I), Fresno (USA)
4	$1927 \leq x < 2205$	Venise (I), Mendoza (Arg), Stellenbosch (RSA)
3	$1650 \leq x < 1926$	<b>Montpellier (F)</b> , Milan (I), Porto (P), Napa (USA)
2	$1371 \leq x < 1649$	Rioja (E), <b>Côtes du Rhône (F)</b> , Barolo (I), Santiago (C)
1	$x < 1371$	Geisenheim (D), <b>Champagne (F), Dijon, (F), Bordeaux (F)</b>



## B4-Indice de Winkler



A Bourges :

- la classe 1 de Winkler ( $IW < 1371 \text{ } ^\circ\text{C.j}$ ) s'est déroulée 9 années sur 10 de 1961-1990, 7 années sur 10 de 1971-2000 puis 6 années sur 10 de 1981-2010.

- alors que la zone 2 s'est déroulée 1 année sur 10 de 1961-1990, 3 années sur 10 de 1971-2000 puis 4 années sur 10 de 1981-2010.

Même si la classe 1 de Winkler, caractéristique des cépages locaux, reste majoritaire (6 années sur 10), sa fréquence a fortement diminué au cours du XXème siècle.

### Analyse

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

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

L'apport de chaleur supplémentaire a pour effet de raccourcir les phases phénologiques et donc d'avancer les stades clés de la vigne (Neethling et al., 2011) comme par exemple les dates de vendanges (voir « Dates de vendanges »). La hausse de l'indice de Winkler entraîne également un avancement de la date de débourrement.

Or, la vigne est très sensible aux températures inférieures à  $0^\circ\text{C}$ , en particulier celles de  $-2,5^\circ\text{C}$  (Reynier 2007) qui peuvent causer la mortalité des bourgeons primaires ou des jeunes pousses, ce qui retarde le développement végétatif et réduit le rendement, dont les conséquences ne sont pas seulement pour l'année en cours, mais également pour l'année suivante (Jackson 2008).



## B4-Indice de Winkler

Ainsi, même si le nombre de jours de gel annuel diminue sensiblement, l'évolution de la date de dernière gelée n'a pas de tendance claire. La forte augmentation de l'indice de Winkler entraîne une avancée de la date de débourrement de la vigne, ce qui a pour conséquence de maintenir le risque de gel à ce stade phénologique critique.

De plus la forte variabilité interannuelle du nombre de jours de gel au printemps et de la dernière date de gelée printanière fait que malgré la diminution moyenne du nombre de jours de gel sur cette période, les risques de gel restent présents certaines années.



### A retenir

L'indice de Winkler est en forte augmentation significative sur 2 stations de la Région (+ 356 °C.J en 59 ans à Bourges).

La classe 1 de Winkler ( $IW < 1371$  °C.j) avait lieu 9 années sur 10 dans les années « 1975 » et 6 années sur 10 dans les années « 1995 ».

Cette hausse entraîne un avancement des stades phénologiques de la vigne, notamment le débourrement qui est un stade critique pour la vigne. Ainsi le risque de gel est maintenu voire accru, provoqué par l'avancement du débourrement et par la variabilité interannuelle de la dernière date de gelée printanière, et ce malgré un nombre de jours de gel annuel sensiblement en baisse.



### Pour en savoir plus

Jackson R S (2008) Wine science: principles and applications. Ed. Academic Press, New York

Neethling. E. Adaptation de la viticulture au changement climatique : vers des stratégies à haute résolution. Géographie. Université Rennes 2, 2016. Français.

Reynier A (2007) Manuel de viticulture. Ed. Lavoisier Tec et Doc, Paris



## B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1 : indice de fraîcheur des nuits en °C

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

La maturation des raisins se situe entre la véraison et la vendange pendant le mois de septembre. C'est une période essentielle pour la qualité future de la récolte, puisque s'y déroule la synthèse des composés organiques influençant la typicité du vin (sucres, acidité, polyphénols, précurseurs d'arômes).

Il est avéré que des températures diurnes élevées et des températures nocturnes fraîches sont essentielles pour préserver l'équilibre entre le sucre et l'acidité (Carey et al., 2008). Des températures fraîches, notamment en particulier celles nocturnes, sont aussi propices à l'expression des arômes.

Pour mesurer ce risque, Tonietto et Carbonneau ont défini l'indice de fraîcheur des nuits (IFN : moyenne des minima thermiques durant le mois de septembre), qui permet d'évaluer les conditions nycthermiques pendant la maturation.

Le changement climatique étant susceptible d'affecter les conditions de maturation du raisin, il est important d'observer sur le long terme si l'indice de fraîcheur des nuits montre une évolution particulière.

### Calcul de l'indicateur

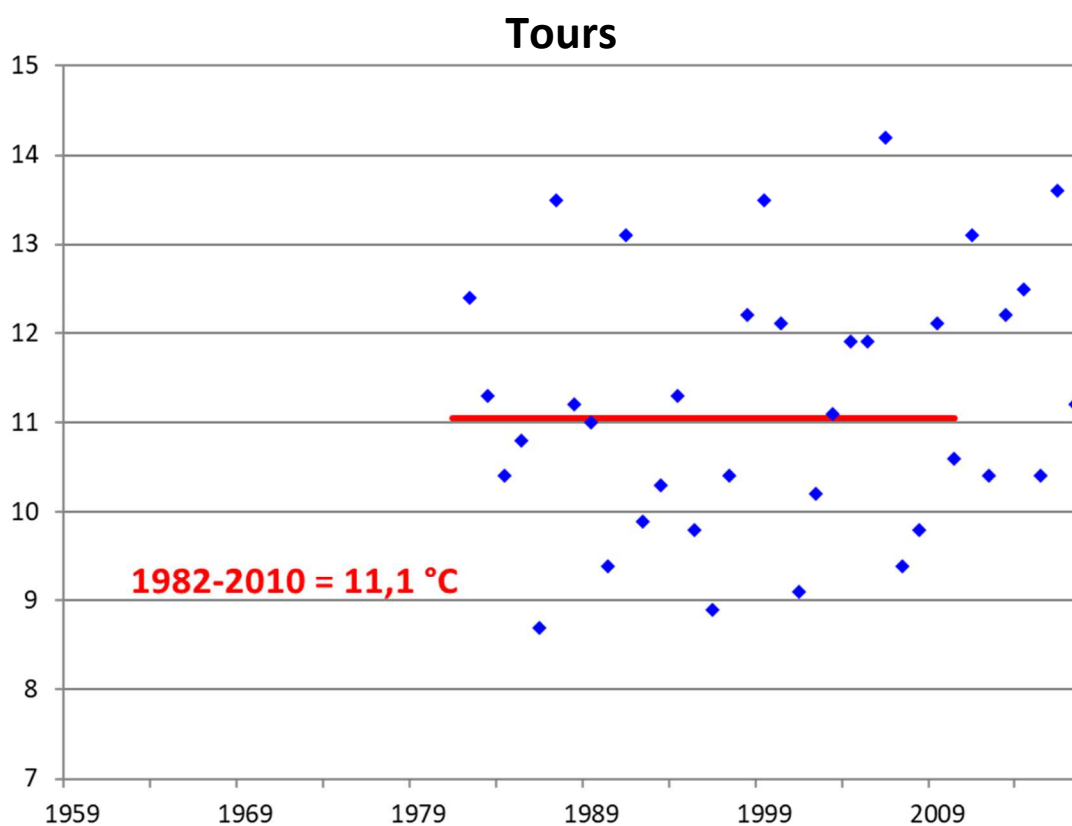
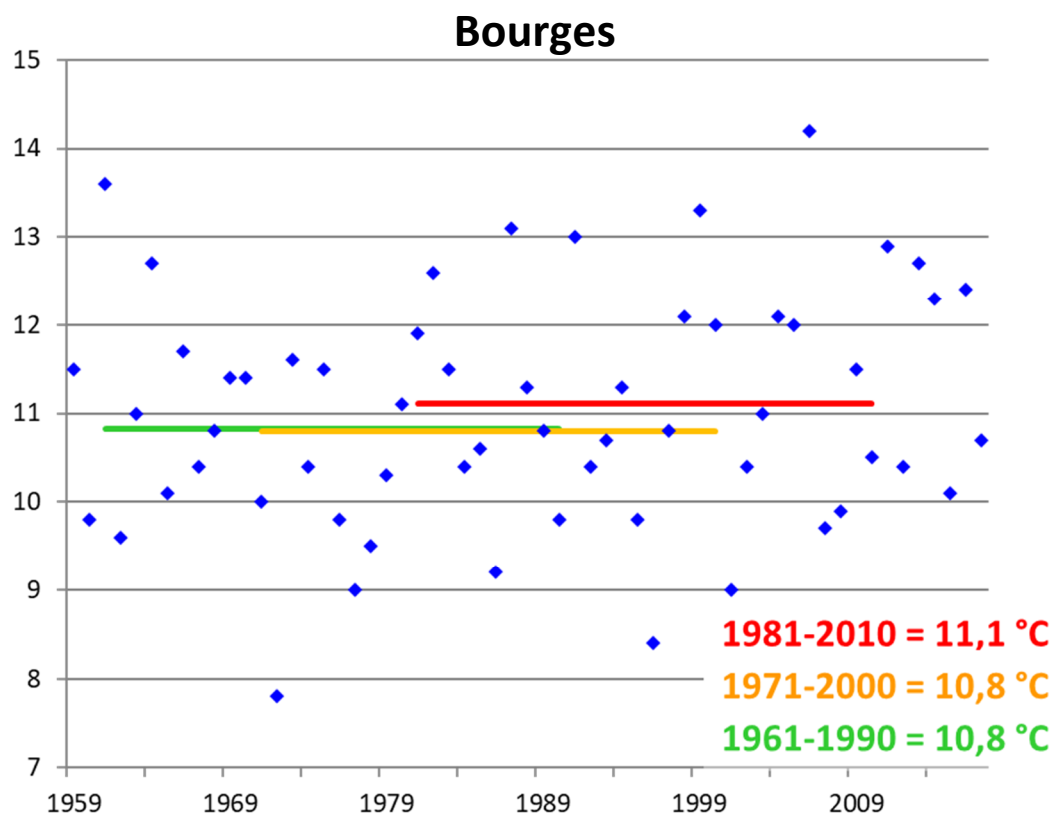
- Moyenne des températures minimales journalières du mois de septembre (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire du nombre de jours estivaux (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Indice de fraîcheur des nuits au mois de septembre



## B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre







## B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1<sup>er</sup> au 30 septembre

### Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	évolution /59 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	0,1	0,3	0,7 j	0,26	non significative	0,02
37	Tours	1982	36	0,3	0,8	1,5 j	0,27	non significative	0,04

On ne constate aucune évolution de l'indice de fraîcheur des nuits ; les valeurs se situant :

- pour Bourges, dans un intervalle de 7,8 °C (1972) à 14,2 °C en 2006
- pour Tours, dans un intervalle de 8,7 °C (1986) à 14,2 °C en 2006

### Indicateurs 2 : Classes des indices de fraîcheur des nuits

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges

### Calcul de l'indicateur

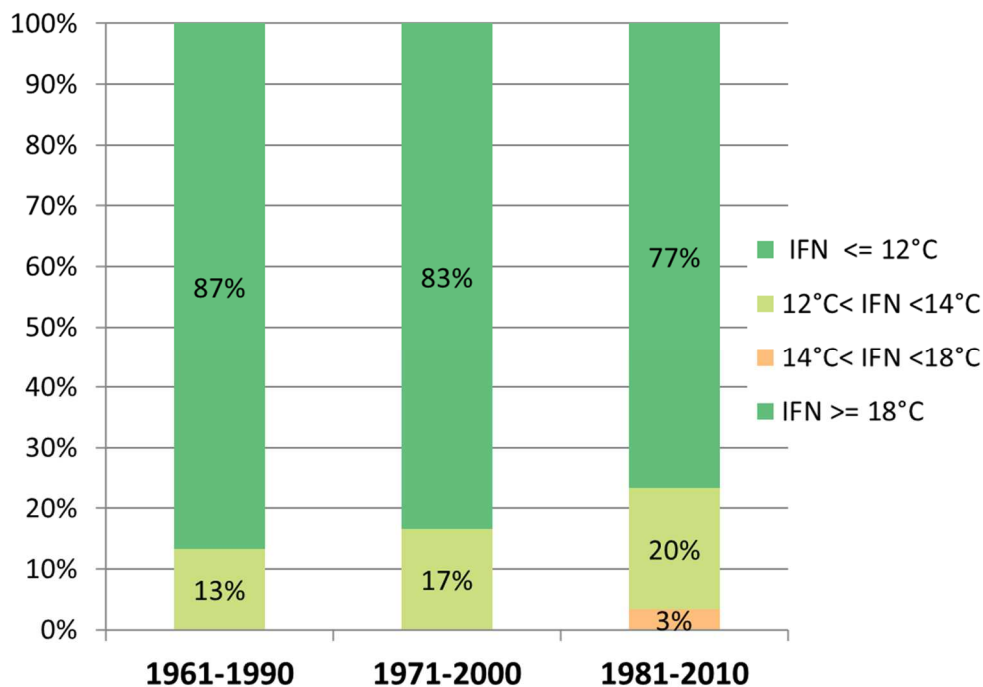
Classement des indices de fraîcheur des nuits selon les classes climatiques (défini par Tonietto et Carbonneau, 2004) pour différentes moyennes trentennaires (1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010)

L'indice de fraîcheur des nuits est classé en 4 classes selon le tableau ci-dessous :

Caractéristiques	Rangs	Valeurs	Exemples : Villes (Pays)
Nuits chaudes	1	$x > 18^{\circ}\text{C}$	Marsala (I), Nabeul (T)
Nuits tempérées	2	$14^{\circ}\text{C} \leq x \leq 18^{\circ}\text{C}$	Madrid (E), Montpellier (F)
Nuits fraîches	3	$12^{\circ}\text{C} \leq x \leq 14^{\circ}\text{C}$	Porto (P), Carcassonne (F)
Nuits très fraîches	4	$x \leq 12^{\circ}\text{C}$	Freiburg (A), Napa (USA)

### Évolution observée

- En abscisse : Classes des indices de fraîcheur des nuits
- En ordonnée : Pourcentage



Concernant la station de Bourges, les « nuits très fraîches » (moyenne des températures minimales journalières de septembre  $\leq 12^{\circ}\text{C}$ ) ont peu évolué car elles sont passées de 9 années sur 10 en « 1975 » à 8 années sur 10 en « 1995 ».

### Analyse

On ne constate aucune évolution de l'indice de fraîcheur des nuits, ni en tendance ni en variabilité, les valeurs se situant dans un intervalle compris entre :

- $7,8^{\circ}\text{C}$  (année 1972) et  $14,2^{\circ}\text{C}$  (année 2006) pour la station de Bourges
- $8,7^{\circ}\text{C}$  (année 1986) et  $14,2^{\circ}\text{C}$  (année 2006) pour la station de Tours

Ce constat est le même à Cognac, avec un indice étudié depuis 1953 (Levrault et al, 2015).

Ce résultat est un peu surprenant, compte-tenu de l'évolution significative d'autres indicateurs thermiques (voir cumul saisonnier d'ETP en automne en Région Centre Val de Loire). Il pourra être confirmé par l'analyse des températures moyennes de septembre, ou par l'analyse de l'IFN dans d'autres sites de la région.

Si ce résultat se confirme, cela signifie que l'augmentation de la température à cette période de l'année, résulte de l'augmentation des températures diurnes, et non pas nocturnes.

Parallèlement, il faut savoir qu'en raison de l'augmentation tendancielle des températures au cours des dernières décennies, les cycles végétatifs de la vigne ont avancé (par exemple, date de vendange avancée de 3 jours par décennie depuis une cinquantaine d'année). Si le calcul de l'IFN est réalisé sur les 30 jours précédant la maturité et non plus à date fixe (30 jours de septembre), les évolutions tendanciennes de l'IFN seront sûrement plus marquées. L'absence de tendance, constatée ici, ne signifie donc pas que les conditions de maturation des raisins sont inchangées.



## B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre



### A retenir

On ne constate pas d'évolution de l'indice de fraîcheur des nuits, ni à la station de Bourges (1959 à 2017), ni à la station de Tours (1982 à 2017).

L'avancement phénologique observé sur la vigne peut cependant entraîner une évolution des conditions thermiques de maturation, même en l'absence d'évolution de cet indice calculé à dates fixes (septembre).



### Pour en savoir plus

Carey VA, Saayman D, Archer E, Barbeau G, Wallace M (2008) Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. I. The identification of natural terroirs units. *J Int Sci Vigne Vin* 42(4):169-183

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>

Neethling. E. Adaptation de la viticulture au changement climatique : vers des stratégies à haute résolution. Géographie. Université Rennes 2, 2016. Français.

Tonietto J, Carbonneau A (2004) A multicriteria climatic classification system for grapegrowing regions worldwide. *Agr Forest Meteorol* 124: 81–97



## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1 : faisabilité d'une culture d'été

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

La quantité de chaleur ("disponibilité thermique") disponible durant l'été, détermine la possibilité (ou non) de mettre en place après les récoltes des cultures d'automne de l'année n une culture dite dérobée. Or, le réchauffement climatique accroît tendanciellement la disponibilité thermique estivale. Pour apprécier l'accroissement de faisabilité de cette pratique agricole, on analyse au cours des décennies écoulées le cas d'une culture en dérobé, dans les conditions suivantes :

- semis derrière une orge d'hiver, un pois ou un ray gras le 20 juin ;
- besoins thermiques en base 0 pour que la culture parvienne à maturité ;
- récolte le 30 septembre au plus tard pour éviter les risques de gel et pouvoir implanter la culture d'automne de l'année n+1.

On cumule, à partir du 20 juin et jusqu'au 30 septembre les températures moyennes journalières positives, ce qui correspond au zéro de végétation de la majorité des cultures.

### Calcul de l'indicateur

- Cumul des températures moyennes journalières à partir de la base de 0°C pour la période du 20 juin au 30 septembre (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

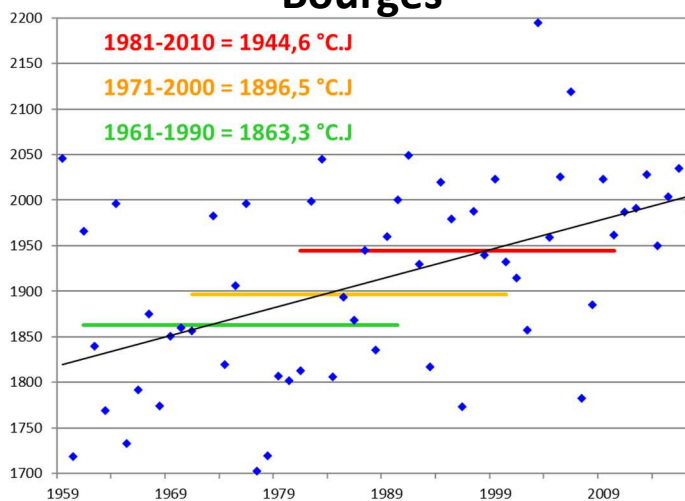
### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : somme de température base 0°C

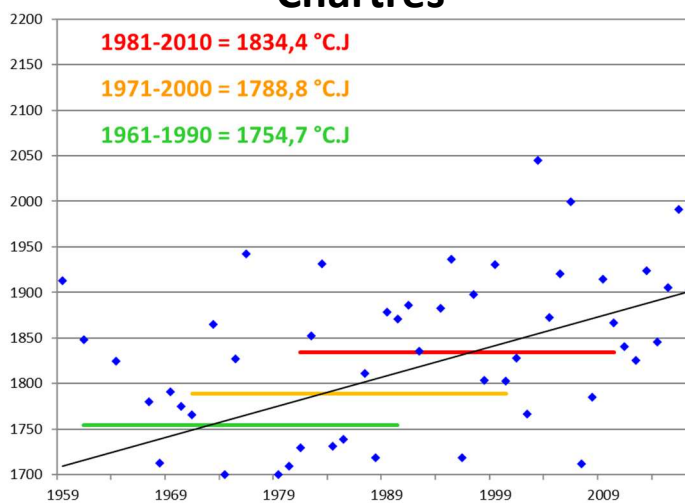


## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

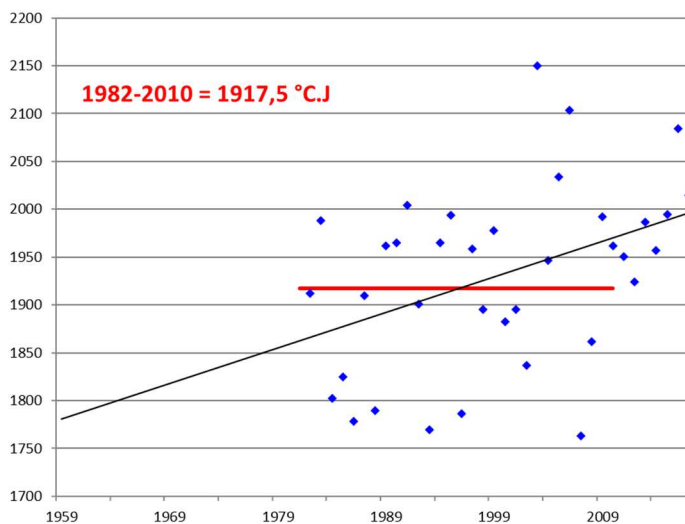
### Bourges



### Chartres



### Tours





## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

### Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	31,9	95,6	7,8E-05	très hautement significative	0,24
28	Chartres	1959	59	33,0	99,1	1,9E-05	très hautement significative	0,28
37	Tours	1982	36	37,1	111,2	1,3E-02	significative	0,17

- L'évolution de la somme de température base 0°C du 20 juin au 30 septembre depuis 1959 (1982 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- + 31,9 °C.j par décennie à Bourges, soit + 188 °C.J en 59 ans
- + 33 °C.j par décennie à Chartres, soit + 195 °C.J en 59 ans
- + 37,1 °C.j par décennie à Tours, soit + 111 °C.J en 30 ans

- Cet indicateur est variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> moyen = 0,23.

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :  
+ 33 °C.j par décennie à Saintes depuis 1960 (Levrault et al., 2015)

### Indicateurs 2 : faisabilité d'une culture intermédiaire d'hiver

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres

Séries de 1983 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

### Calcul de l'indicateur

- Cumul des températures moyennes journalières à partir de la base de 0°C pour la période du 15 octobre au 1er mai (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

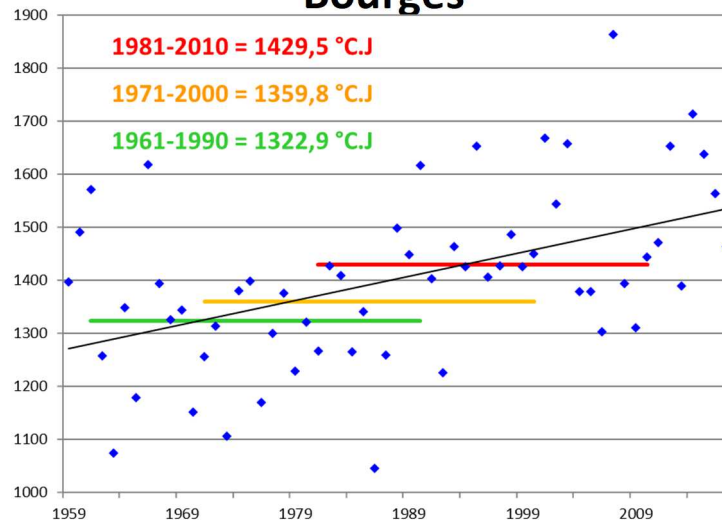
### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : somme de température base 0°C

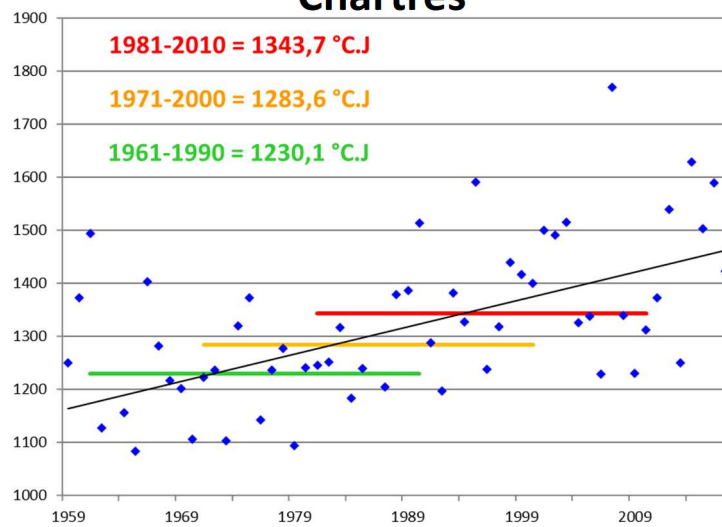


## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

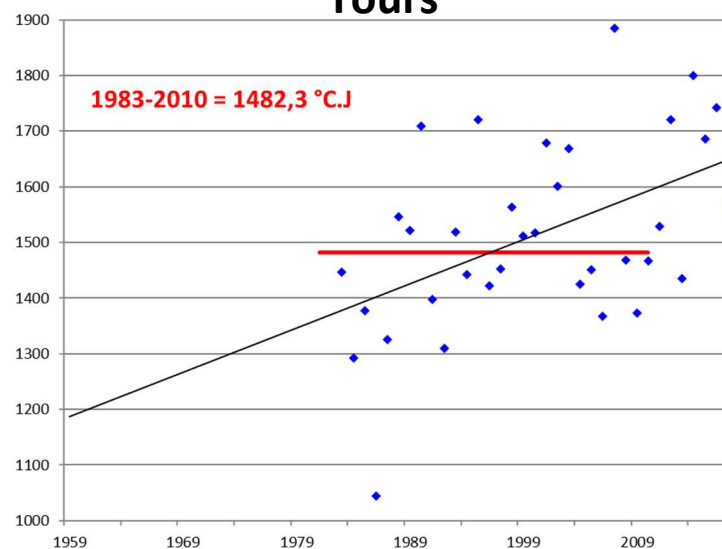
### Bourges



### Chartres



### Tours





## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	45,5	136,4	1,3E-04	très hautement significative	0,23
28	Chartres	1959	59	51,3	153,9	7,5E-06	très hautement significative	0,30
37	Tours	1983	35	79,6	238,7	3,0E-03	hautement significative	0,24

L'évolution de la somme de température base 0°C du 15 octobre au 1er mai depuis 1959 (1983 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- + 45,5 °C.j par décennie à Bourges, soit + 268 °C.J en 59 ans
- + 51,3 °C.j par décennie à Chartres, soit + 303 °C.J en 59 ans
- + 79,6 °C.j par décennie à Tours, soit + 239 °C.J en 30 ans

- Cet indicateur est variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> moyen = 0,25.

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :

- + 69 °C.j par décennie d'octobre à mai (P<0,01) au Mans depuis 1971 et
- + 54 °C.j par décennie d'octobre à mai (P<0,05) à Angers depuis 1971 (Colombie et al., 2017)

Concernant la culture intermédiaire d'été :

Malgré une variabilité interannuelle conséquente, on observe sur la période étudiée une augmentation tendancielle de la disponibilité thermique estivale très significative de l'ordre de + 34 °C.j par décennie. Cette forte variabilité souligne la nécessité pour le conseil agricole, de disposer de références fiables et exprimées statistiquement (appréciation d'un risque).

Actuellement, ces dates de semis ne sont pas toujours praticables, du fait des dates de récolte des précédents envisagés (orges, pois, ray gras). Mais, elles devraient le devenir en raison de l'avancement tendanciel des dates de récolte des cultures d'hiver.

Les résultats présentés ici ne concernent que la dimension thermique d'une culture en dérobé. La dimension hydrique est elle aussi très importante, en particulier, au moment de la levée en lien avec l'humidité du sol, ceci à une période généralement peu pourvue en précipitations. Un complément d'analyse sur le plan hydrique est nécessaire pour un regard plus complet sur la faisabilité future d'une culture en dérobé.





## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

Concernant la culture intermédiaire d'hiver :

Cette période de temps (d'octobre à mai) peut correspondre à la période de semis-floraison pour une culture blé classique. Dans ce cas, les tendances à la hausse des degrés-jours de croissance du blé sont à mettre en relation avec l'augmentation des températures annuelles et saisonnières (voir « Température moyenne annuelle » et « Déficit hydrique climatique saisonnier »). 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) pour fleurir (Brisson et al., 2010). D'ailleurs, 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).

Mais cette période de temps (d'octobre à mai) peut correspondre également à une culture intermédiaire qui serait implantée avant une culture de printemps. En règle générale, les agriculteurs ont l'obligation de réaliser une culture intermédiaire piège à nitrates (CIPAN) dans ce cas-là mais sans véritable objectif de rendement. L'élévation des températures attendue pour le XXIème siècle entraînera une anticipation encore plus importante des stades phénologiques. Ainsi, cette CIPAN pourrait se transformer en véritable CIVE (Culture Intermédiaire à Valorisation Energétique) récolté fin avril sans désorganiser l'assolement initial prévu en culture de printemps. Cette culture intermédiaire aurait alors un véritable objectif de biomasse, permettant de réaliser 3 cultures en 2 ans. A noter que de nombreux éleveurs usent déjà de cette pratique, appelé dérobée, mais à terme cette pratique pourrait se généraliser notamment pour faire de la biomasse énergétique.



### A retenir

Concernant les cultures intermédiaires d'été, la disponibilité thermique estivale a augmenté tendanciellement au cours de la période d'observation, rendant de plus en plus envisageable des cultures en dérobé, pour une date de semis située le 20 juin (après la moisson).

Concernant les sommes de températures hivernales (du 15 octobre au 1<sup>er</sup> mai), même si la vernalisation (besoin en froid l'hiver) des cultures est difficile à caractériser, il est à supposer de ces résultats un avancement dans les stades phénologiques du blé. Cette période pourrait être valorisée par une 3<sup>ème</sup> culture (positionnée avant une culture de printemps) en 2 ans. L'élévation des sommes de température permettra d'obtenir de plus en plus de biomasse de cette culture (ensilage en fin avril).

La réflexion présentée ici, ne porte que sur le volet thermique d'une culture en dérobé. Sans l'ignorer, elle ne traite pas de la question hydrique, tout aussi capitale pour la viabilité économique de la culture étudiée ici.



## B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

---



### 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.

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>

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



## B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe

---

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1 : Date de reprise de végétation de la prairie

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

### Calcul de l'indicateur

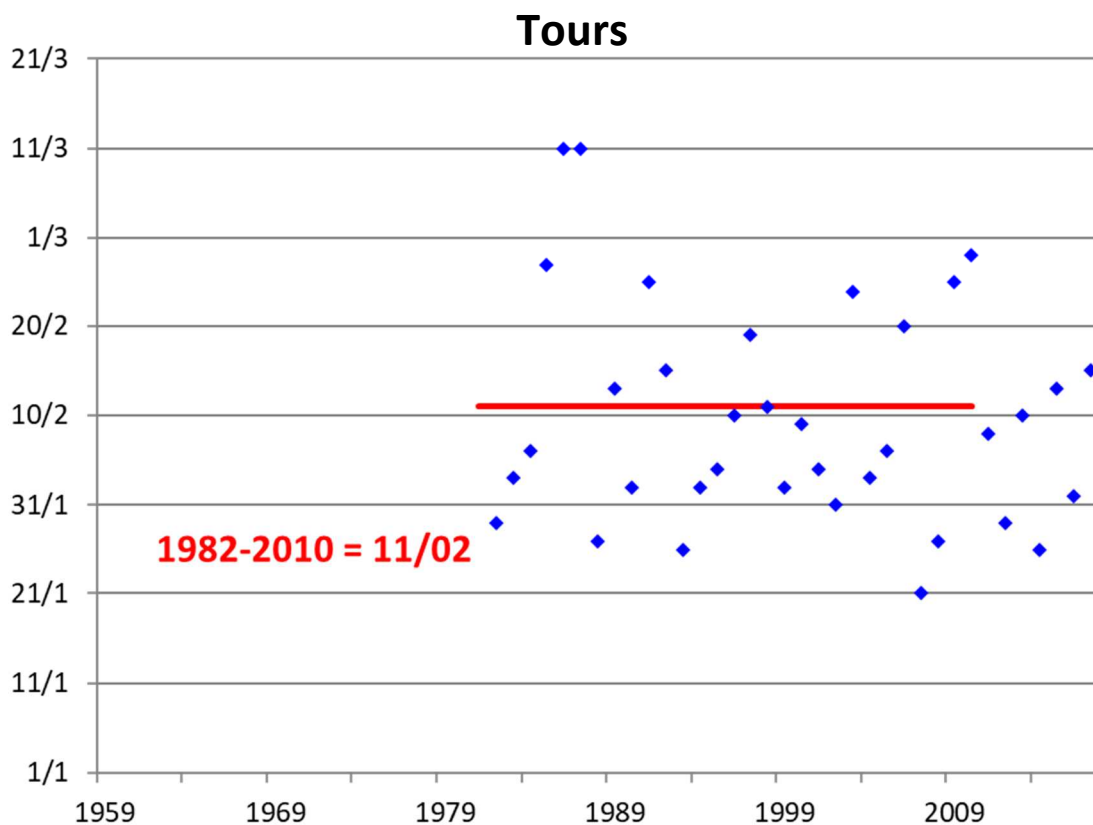
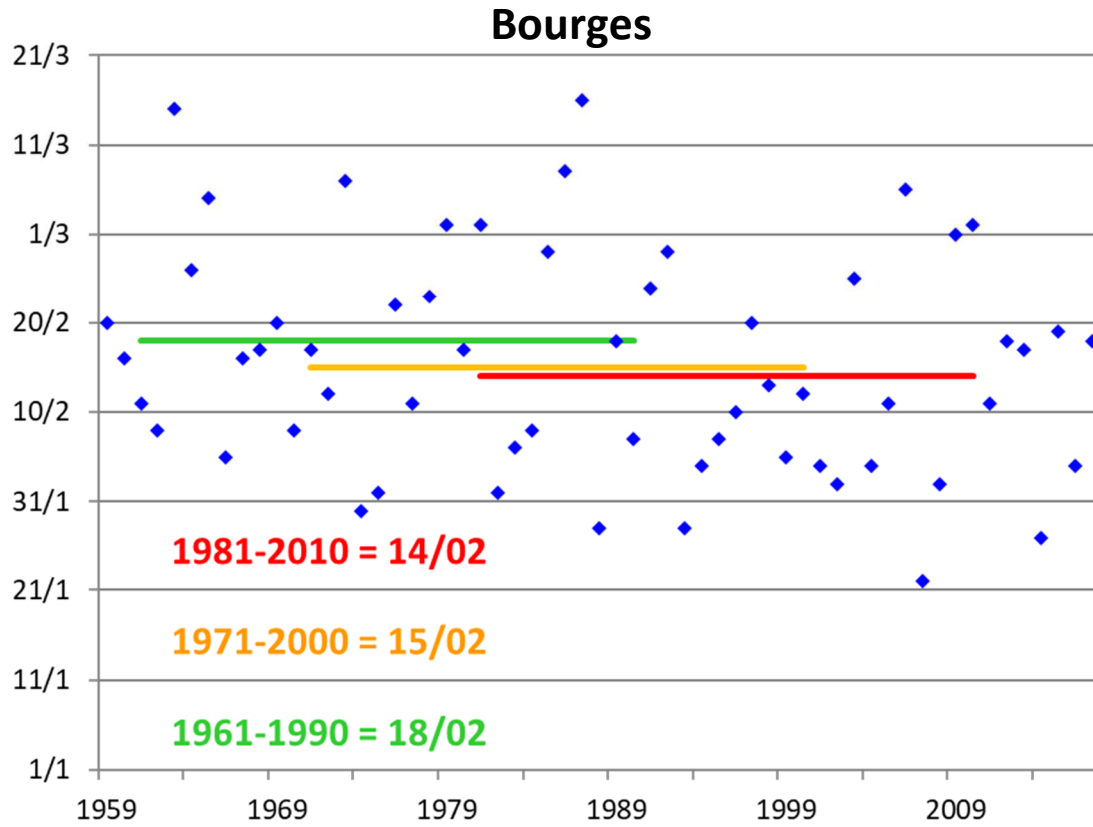
- Evolution des dates de franchissement de la somme de température base 0°C de 200°CJ, à compter du 1er janvier (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date



## B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe





## B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	pente	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	-0,136	-1,4	-4,1	0,15	non significative	0,04
37	Tours	1982	36	-0,191	-1,9	-5,7	0,34	non significative	0,03

L'évolution de la date de reprise de végétation de la prairie depuis 1959 (1982 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période ne sont pas significatives :

- 1,4 j par décennie à Bourges (NS)
- 1,9 j par décennie à Tours (NS)

- Cet indicateur est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> moyen = 0,04.

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :  
- 1 j par décennie à Lezay depuis 1959 (Levrault et al, 2015)

Date de reprise de végétation (200°CJ base 0°C initialisé au 1er janvier)

La variabilité inter annuelle est très marquée avec des valeurs comprises :

- entre le 22 janvier et 15 mars pour la station de Bourges et
- entre le 21 janvier et 10 mars pour la station de Tours

La date moyenne de reprise de végétation des 2 stations est le 15 février, sur l'ensemble de la période. La tendance de -1,6 j par décennie n'étant pas significative, l'avancement de la date de reprise de végétation semble donc pour l'instant très modéré, ce qui peut s'expliquer par :

- le mode de calcul de l'indicateur qui gomme toute différence entre les températures, dès-lors qu'elles sont inférieures à 0°C (la raréfaction des températures très basses n'impacte pas l'indicateur) ;
- le fait que le réchauffement observé ne porte pas principalement sur cette période de l'année.



## B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe

### Indicateurs 2 : Date de mise à l'herbe

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges

Séries de 1982 à 2017 sur la station :

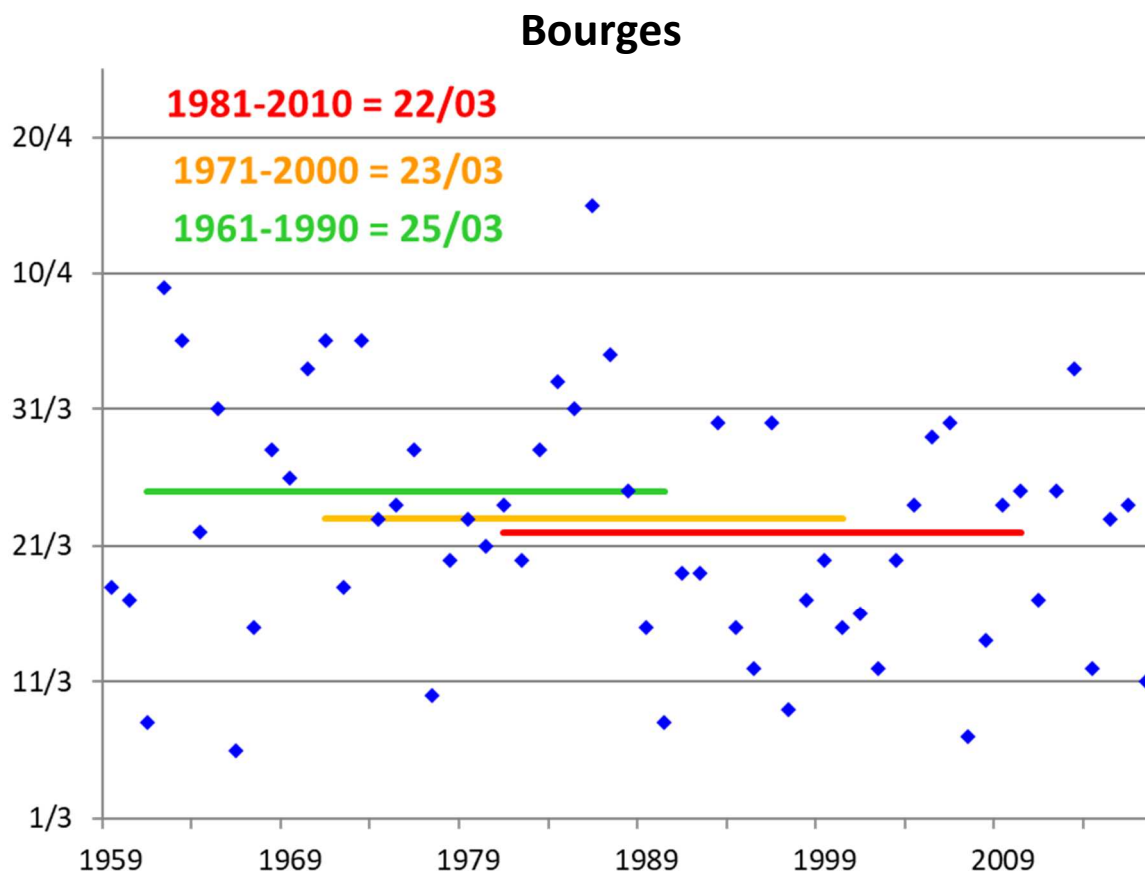
- 37 : Tours

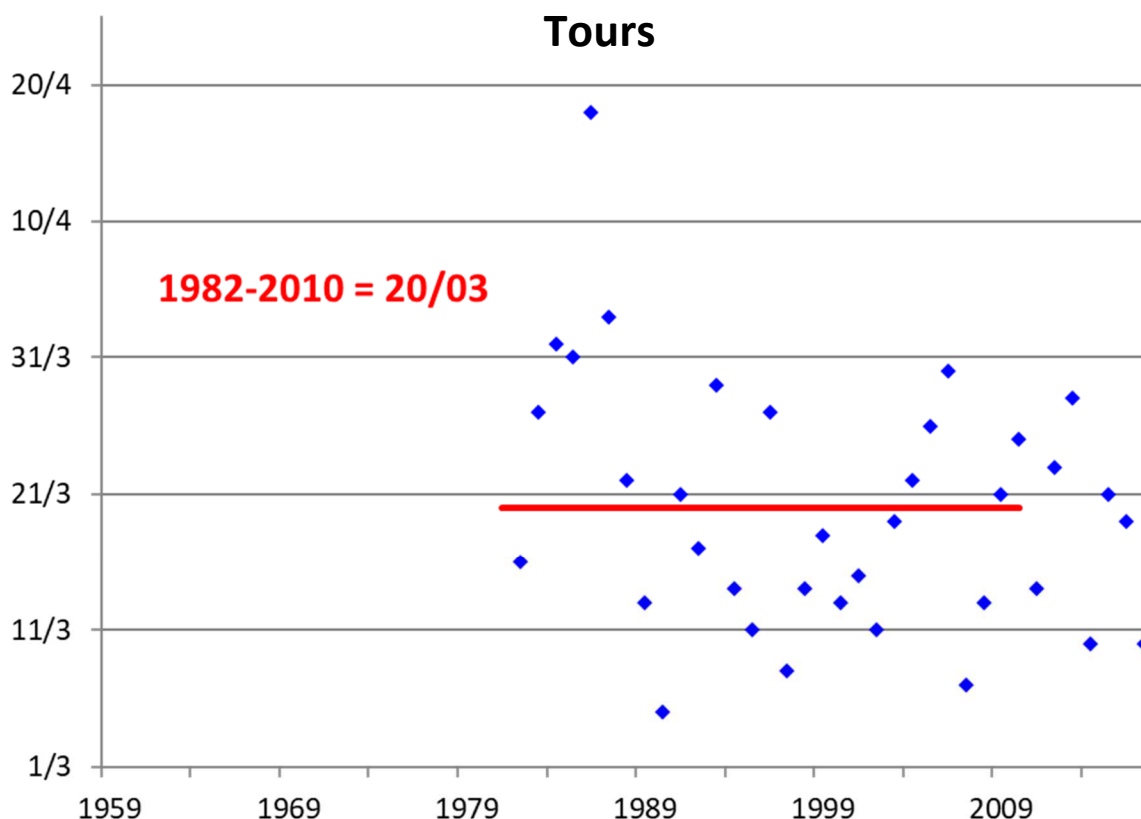
### Calcul de l'indicateur

- Evolution des dates de franchissement de la somme de température base 0°C de 300°CJ, à compter du 1er février (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date





## Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	-1,0	-2,9	0,15	non significative	0,04
37	Tours	1982	36	-2,5	-7,6	0,08	non significative	0,09

L'évolution de la date de mise à l'herbe depuis 1959 (1982 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période ne sont pas significatives :

- 1,4 j par décennie à Bourges (NS)
- 2,5 j par décennie à Tours (NS)

A noter que concernant la station de Tours, la tendance est presque significative (P=0,08), ce qui fait environ une mise à l'herbe avancée de 15 jours en 60 ans.

- Cet indicateur est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R<sup>2</sup> moyen = 0,06.

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :
  - 0,7 j par décennie à Lezay depuis 1959 (Levrault et al, 2015)
  - Idem à Lezay dans le 79 où la tendance est de - 0,7 j par décennie mais non significative.



## B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe

Date de mise à l'herbe (300°CJ base 0°C initialisé au 1er février)

Comme pour la reprise de la végétation, la variabilité inter annuelle est très marquée avec des valeurs comprises :

- entre le 5 mars et le 14 avril pour la station de Bourges et
- entre le 4 mars et 17 avril pour la station de Tours.

La tendance à l'avancement de la date de mise à l'herbe, est semblable à l'indicateur précédent avec - 1,7 jours par décennie, mais non significative. La date moyenne de mise à l'herbe est le 24 mars sur l'ensemble de la période.

Les mêmes causes que précédemment peuvent être avancées pour expliquer l'avancement modéré de la date de mise à l'herbe. Une comparaison à d'autres stations permettrait de conforter ce résultat.

Cet avancement modeste de la date de mise à l'herbe (avancée d'1 à 2 jours par décennie) apparaît donc comme un levier limité d'adaptation (esquive) vis-à-vis des stress hydriques estivaux. C'est davantage l'accroissement de productivité lié à la hausse des températures printanières qui semble constituer une parade aux baisses attendues de productivité estivale des fourrages non irrigués.



### A retenir

Sur la période d'étude (1959-2017 pour Bourges et 1982-2017 pour Tours), la date de reprise de végétation et la date de mise à l'herbe avancent de respectivement - 1,6 et -1,7 jour par décennie (moyenne des 2 sites). Le mode de calcul des indicateurs et la période sur laquelle il porte expliquent probablement cette variation tendancielle modeste.

Sous réserve de confirmation dans d'autres sites de la région, ce critère pris isolément n'apparaît pas être un levier majeur d'esquive de la contrainte hydrique estivale.



### Pour en savoir plus

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>





## B8-Episodes pluvieux intenses

---

### Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

### Indicateurs 1

Séries de 1959 à 2017 sur la station :

- 18 : Bourges
- 28 : Chartres

Séries de 1965 à 2017 sur la station :

- 37 : Tours

### Calcul de l'indicateur

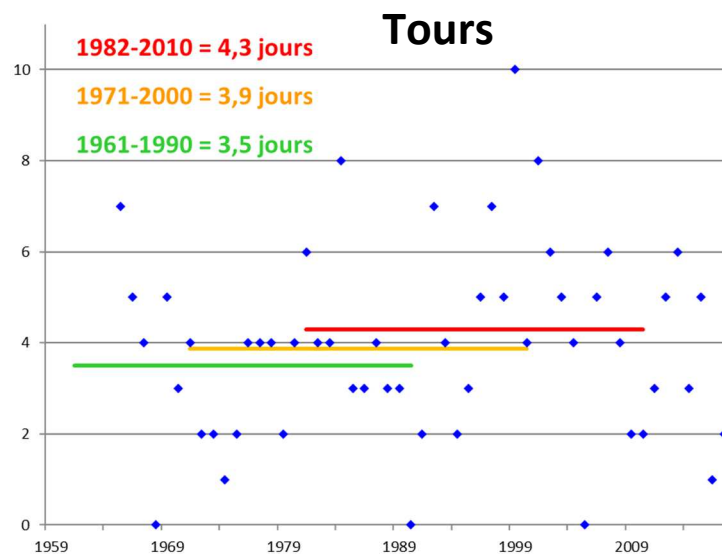
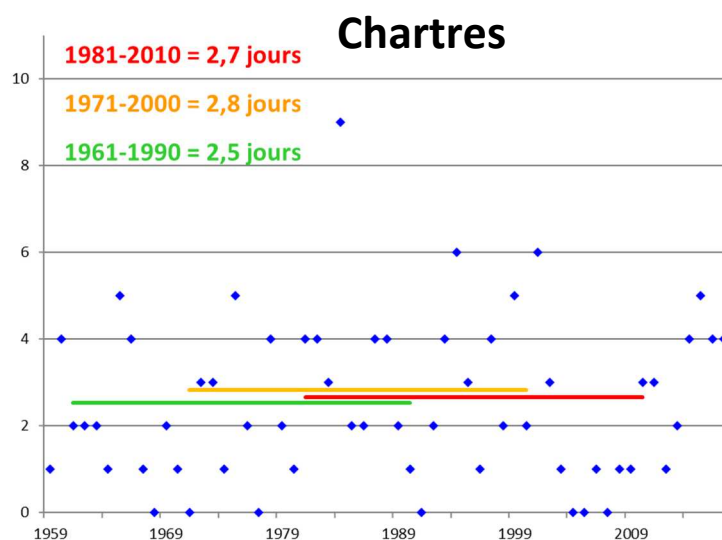
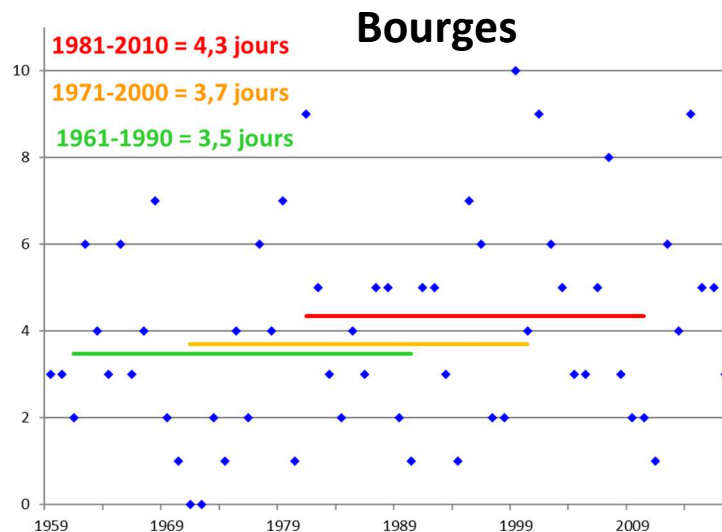
- Nombre de jours par an où le cumul journalier des précipitations dépasse 20 mm (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2017 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010)

### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : somme de température base 0°C



## B8-Episodes pluvieux intenses





## B8-Episodes pluvieux intenses



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	évolution /30 ans	Test	"Force" de la tendance	R <sup>2</sup>
18	Bourges	1959	59	0,3	0,9	0,10	non significative	0,05
28	Chartres	1959	59	0,1	0,2	0,62	non significative	0,00
37	Tours	1965	53	0,1	0,3	0,61	non significative	0,01

L'évolution du nombre de jours de pluies intenses (cumuls journaliers supérieurs à 20 mm) depuis 1959 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période ne sont pas significatives :

- + 0,3 j par décennie à Bourges,
- + 0,1 j par décennie à Chartres,
- + 0,1 j par décennie à Tours.

- Cet indicateur est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité interannuelle) car R<sup>2</sup> moyen = 0,02.

- Cette absence d'évolution se retrouve dans les régions voisines. Par exemple, à Lezay (79) depuis 1932 (Levrault et al, 2015)

Les précipitations intenses peuvent être préjudiciables à la production agricole, que ce soit par leur effet direct sur certaines cultures (verse des plantes annuelles) ou au travers de l'érosion lorsque la topographie (terrains en pente) et l'état de surface du sol s'y prêtent. Dans le contexte du changement climatique qui accélère le cycle de l'eau à l'échelle globale, on peut légitimement s'interroger sur l'augmentation – ou non – des épisodes pluvieux intenses.

Il n'existe pas de seuil établi, à partir duquel on peut décréter que les précipitations sont préjudiciables. Le seuil choisi de 20 mm de cumul journalier correspond à des valeurs peu fréquentes voire rares pour notre région (3,5 jours par an en moyenne).

Sur l'ensemble des 59 années d'observation (53 pour Tours), on ne constate pas d'évolution significative de cet indicateur. Les cumuls journaliers supérieurs à 20 mm oscillent entre 0 et 10 jours maximum par an, sans évolution perceptible en tendance ou en variabilité.



## B8-Episodes pluvieux intenses



### A retenir

Pour les stations de Bourges, Chartres et Tours, on ne constate aucune évolution du nombre de jours où les pluies journalières dépassent 20 mm, ni en tendance, ni en variabilité.

D'autres événements météorologiques violents (vents forts, grêle, durée de la pluie) préjudiciables à la production agricole, devront être analysés à l'avenir.



### Pour aller plus loin

L'intensité exacte de ces précipitations journalières n'est pas connue : par exemple, un cumul journalier de 30 mm pourra être tombé en moins d'une heure, ou bien en trois séquences de 10 mm séparées de plusieurs heures. La répartition entre saisons n'est pas non plus analysée ici.



### Pour en savoir plus

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>



## C1 – Rendement en blé tendre

### 🔑 Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF

### 🕒 Indicateur 1

Evolution des rendements régionaux en blé tendre de 1929 à 2017. Données manquantes : années 1942, 1947, 1949.

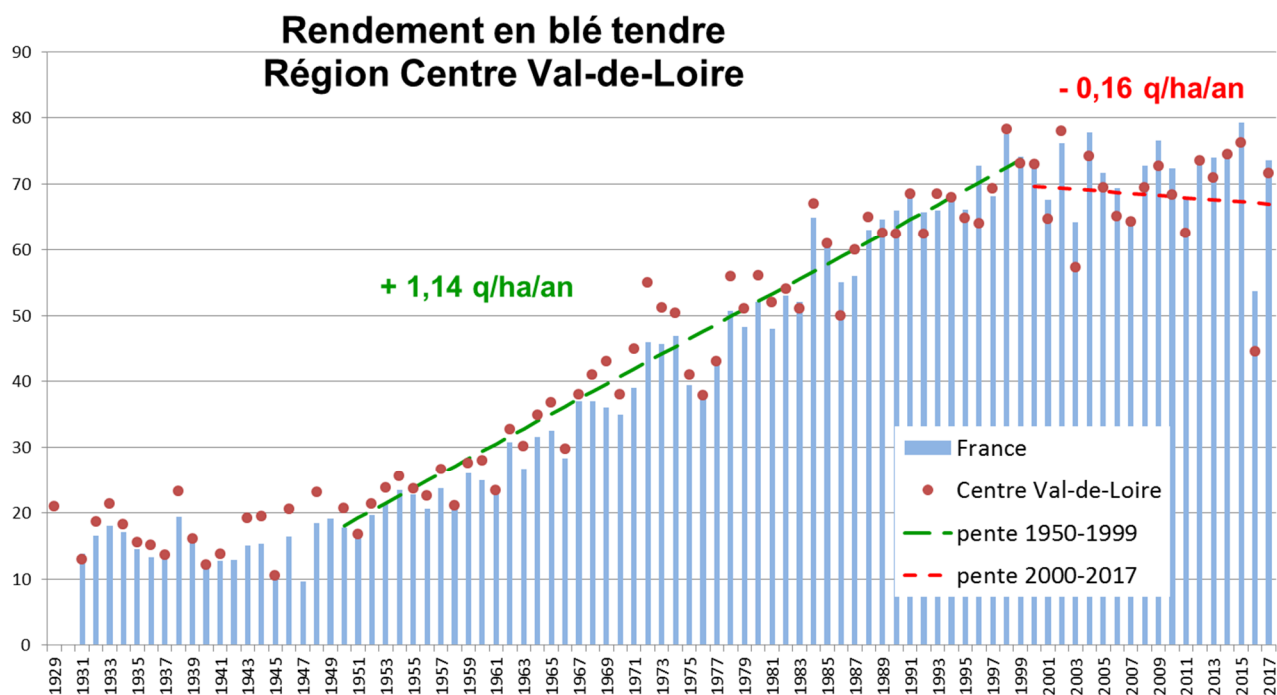
### 📊 Calcul de l'indicateur 1

- Evolution des rendements en France (diagramme en bâtons bleu clair)
- Evolution des rendements en région Centre Val-de-Loire (nuage de points rouge)
- Tendence linéaire en région Centre Val-de-Loire sur la période 1950 – 1999 (tiret large vert)
- Tendence linéaire en région Centre Val-de-Loire sur la période 2000 – 2017 (tiret court rouge)

### 📈 Évolution observée

Occupant près de 4,8 millions d'hectares (17 % de la SAU), le blé tendre arrive au premier rang des grandes cultures françaises. Le rendement moyen français est de 70 q/ha (moyenne 1989-2017). Un quintal (q) = 100 kg.

- En abscisse : Années
- En ordonnée : rendement en quintaux (q)





## C1 – Rendement en blé tendre

### Analyse

L'évolution des rendements en blé tendre observé en région Centre Val-de-Loire depuis 1950 montre que :

- La tendance linéaire observée sur l'ensemble de la période 1950 – 2017 est en augmentation très significative (+ 0,83 q/ha/an) mais on observe une rupture de pente vers les années 2000 avec :

**+ 1,14 q/ha/an entre 1950 et 1999** ( $P = 2.10^{-26}$ )

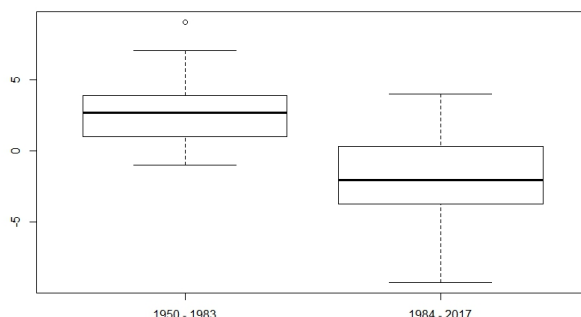
**- 0,16 q/ha/an entre 2000 et 2017** (NS)

- Idem pour la tendance au niveau national :

**+ 1,22 q/ha/an entre 1950 et 1999** ( $P = 9.10^{-37}$ )

**- 0,04 q/ha/an entre 2000 et 2017** (NS)

- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :
  - En Poitou-Charentes, **+1,08 q/ha/an** de 1961 à 1998 et **-0,15 q/ha/an** de 1999 à 2015 (Levrault et al, 2015),
  - En Pays de la Loire, **+1,15 q/ha/an** de 1960 à 1996 et **+0,23 q/ha/an** de 1997 à 2015 (Colombie et al, 2017).
- De 1950 à 2017, le rendement moyen français (51,45 q/ha) est le même que celui de la région Centre Val-de-Loire (51,8 q/ha) mais cela cache une évolution de ces 2 rendements. Sur le graphique ci-dessus, on observe visuellement qu'avant les années 1980 les points rouges (moyennes régionales) sont au-dessus des diagrammes bleus (moyennes françaises) et inversement après 1984. En effet, on note :
  - **+ 2,65 q** de 1950 à 1983 entre le rendement moyen français (34,1 q/ha) et régional (36,7 q/ha)
  - **- 1,88 q** de 1984 à 2017 entre le rendement moyen français (68,8 q/ha) et régional (66,9 q/ha)



Différence de rendement entre la moyenne nationale et régionale, au cours de la seconde moitié du XXème siècle (source : RStudio, test Student,  $P = 2.10^{-9}$ )  
Cette différence est nettement significative selon le test de Student ( $P < 0,05$ ) ce qui démontre qu'en moyenne le rendement régional est passé sous le rendement national à partir des années 1980.



## C1 – Rendement en blé tendre

---



### Indicateur 2

Evolution des rendements départementaux en blé tendre de 1929 à 2017. Données manquantes : années 1942, 1947, 1949.



### Calcul de l'indicateur 2

- Evolution des rendements départementaux (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire en département sur la période 1950 – 1999 (tiret large vert)
- Tendence linéaire en département sur la période 2000 – 2017 (tiret court rouge)
- Rendement maximum (point violet)



### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : rendement en quintaux (q)

Les rendements records en blé tendre ont eu lieu en 1998 (départements 18, 28, 41 et 45) ou en 2002 (départements 36 et 37). Ces années marquent une cassure nette de l'évolution du rendement en blé tendre. Tous les départements observaient une augmentation de plus de 1 quintal par hectare et par an de 1950 aux années 2000 (voire 1,22 q/ha/an pour l'Eure-et-Loir).

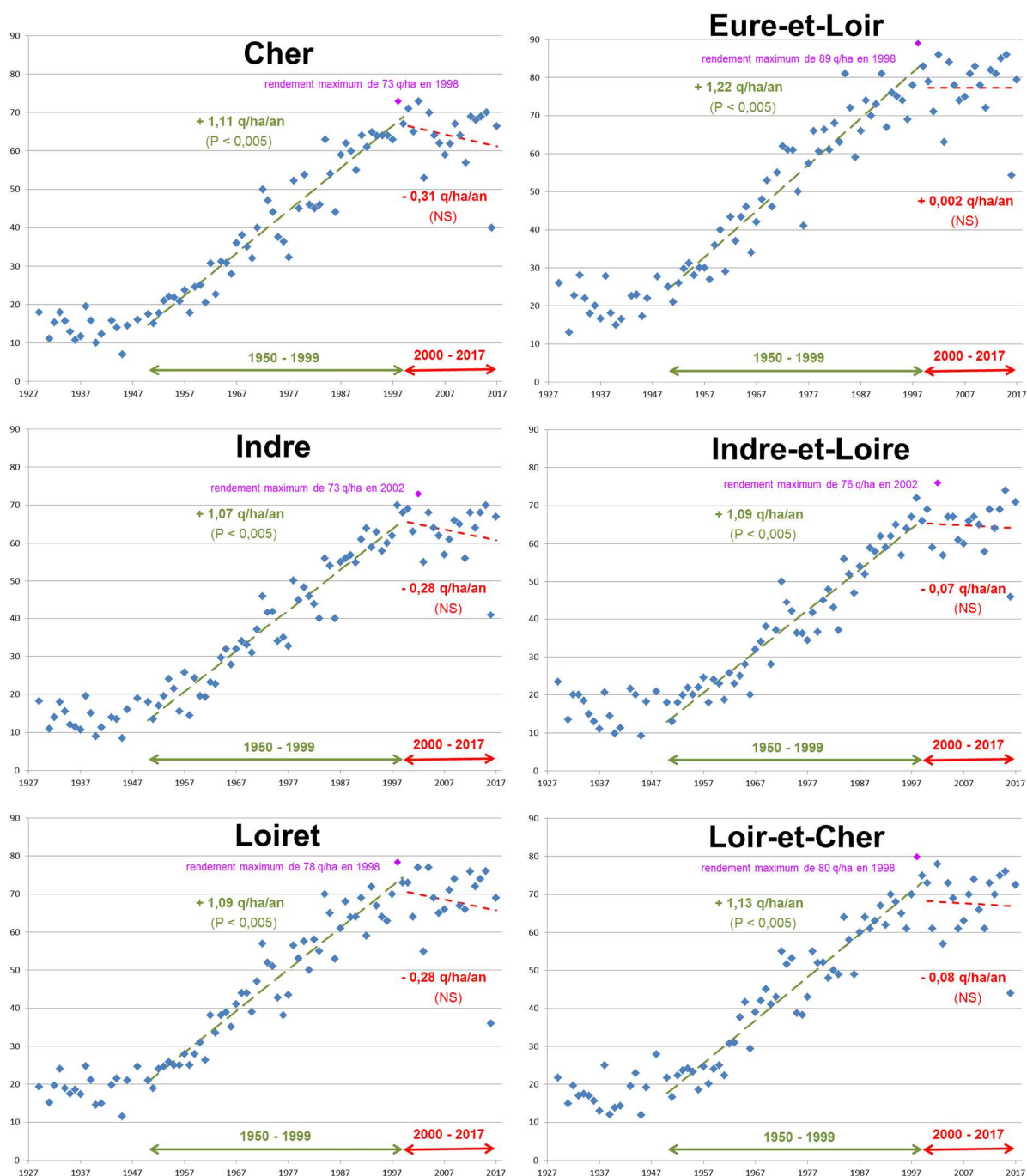
Depuis les années 2000, ces rendements ont diminué (pour les départements 18, 36 et 45) ou se sont stabilisés (pour les départements 28, 37 et 41) même si ces dernières tendances ne sont pas significatives.

# 3 IMPACTS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## C1 – Rendement en blé tendre







## C1 – Rendement en blé tendre



### Analyse

On observe que depuis les années 1950 et jusqu'à la fin des années 1990, les rendements départementaux et régionaux en blé tendre ont augmenté de façon nette et régulière (+1,14 q/ha/an en Région Centre Val-de-Loire), ce qui a permis de passer d'environ 17 q/ha (moyenne 1931-1949) à plus de 66 q/ha (moyenne 1986-2003). Cet accroissement spectaculaire s'explique par l'amélioration variétale, combinée à l'accroissement de la technicité de culture (préparation de sol, semis, engrais, protection phytosanitaire, récolte).

A la fin des années 1990, on constate une interruption assez brutale de cette progression, suivie par un net plafonnement des rendements. Le même phénomène s'observe également sur l'ensemble de la France (et même en Europe) avec quelques nuances, l'année de rupture se situant entre 1991 et 2000 suivant le département (Ray et al., 2012).

Les travaux de N. Brisson *et al* (2010) ont permis d'identifier les causes de ce plafonnement, et d'établir un lien avec le changement climatique.

- Tout d'abord, il est démontré que la progression annuelle des rendements en blé tendre résultant de l'amélioration variétale, s'est maintenue de façon continue (avant la rupture) en France à un niveau compris entre +1,0 à +1,2 q/ha/an. Le progrès génétique n'est donc pas en cause dans le plafonnement des rendements observés.
- Il est établi qu'une légère baisse (environ 20 kg N/ha) de la fertilisation azotée du blé tendre a eu lieu entre 2000 et 2007, consécutivement à la mise en application de la Directive Nitrates. La perte de rendement due au plafonnement de l'apport azoté, est faible (- 0,1 q/ha/an) car 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).
- En outre, il apparaît que les raccourcissements de rotations culturales et le remplacement des légumineuses par le colza ont entraîné une diminution de la surface en légumineuse (voir « surface en protéagineux »), qui s'est traduit par une baisse des rendements du blé tendre de - 0,35 q/ha/an.

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 stress hydrique pendant l'élongation de la tige et le remplissage des grains (Gate et al., 2009). L'occurrence accrue de ces accidents physiologiques d'origine climatique a induit une limitation du rendement comprise entre -0,2 et -0,5 q/ha/an.

Les résultats climatiques, obtenus précédemment, ont montré une augmentation significative des journées estivales (+ 4,3 jours par décennie depuis 1959) et d'une augmentation des jours échaudants printaniers (+ 1,5 jours par décennie depuis 1959) (voir « Nombre de jours estivaux » et « Nombre de jours échaudants au printemps »). L'augmentation de l'ETP printanière (+7,3 mm par décennie) et estivale (+6,8 mm par décennie), l'augmentation du déficit hydrique estival (-6,8 mm par décennie) sont les prémices d'une tendance à l'accroissement des sécheresses printanières et estivales dans notre région (voir « Cumul saisonnier de l'ETP »).

# 3 IMPACTS AGRICOLES



## Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Ainsi, le changement climatique (via le stress thermique et hydrique) a bien un impact dépréciateur sur les rendements en blé tendre en Centre Val-de-Loire. Cet impact, perceptible depuis les années 2000, se superpose à l'effet dépréciateur de deux autres facteurs (baisse de la fertilisation azotée et raréfaction des légumineuses dans les rotations) pour au final compenser en totalité les gains de rendement découlant du progrès génétique. Le changement climatique explique pour "un tiers à moitié" le plafonnement des rendements en blé tendre observé dans notre région depuis les années 2000.

### A Retenir

On observe en région et dans chacun des départements un plafonnement des rendements en blé tendre qui commence au début des années 2000. Ce phénomène, qui s'observe dans l'ensemble des départements de France métropolitaine, résulte pour moitié du changement climatique qui a accru les stress hydriques et thermiques en fin de cycle cultural.

### Pour aller plus loin

En matière d'adaptation au changement climatique, c'est donc l'esquive de ces accidents d'échaudage de fin de cycle qui doit être favorisée, pour permettre un avancement des dates de récolte. Cette esquive peut être obtenue par l'avancement des dates de semis et/ou le recours à des variétés plus précoces.

### 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.

Ray, Deepak & Ramankutty, Navin & Mueller, Nathaniel & West, Paul & A Foley, Jonathan. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. Nature communications. 3. 1293. 10.1038/ncomms2296.

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, 85-99. Paris.

COLOMBIE et al, ORACLE Pays de la Loire, 2017, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>

LEVRAULT et al, ORACLE Poitou Charentes, 2015, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>



**oracle**  
Centre Val-de-Loire

# 4 ADAPTATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

**X (prochainement)**

---

# 4 ADAPTATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## X (prochainement)

---

 Analyse

 Indicateur 2

 Calcul de l'indicateur 2

 Évolution observée



## E1-Surface en protéagineux

### Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF

### Indicateur

Surface régionale cultivée en légumineuses à graines : pois protéagineux + féveroles et fèves + lupin doux.

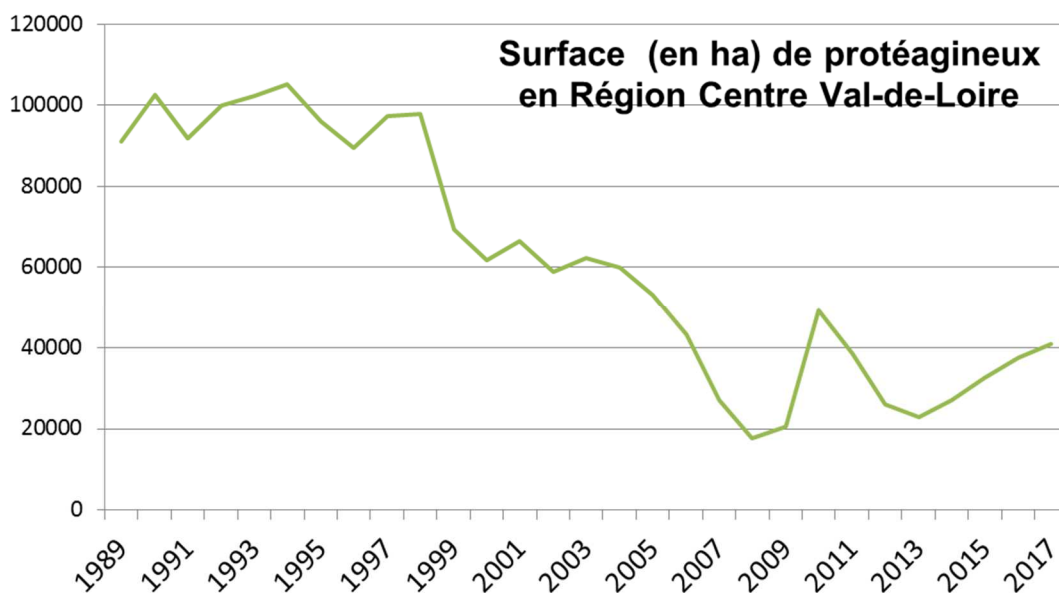
### Rappel

### Calcul de l'indicateur

- Cumul des surfaces en pois protéagineux, féveroles et fèves, lupin doux

### Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Surface en hectare (ha)





## E1-urface en protéagineux

### Analyse

Les légumineuses ont la capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce aux bactéries (genre *Rhizobium*) présentes au sein de leurs racines (association symbiotique). Ainsi, ces espèces n'ont pas besoin d'apport d'engrais azoté. Or, ces apports d'engrais azotés extérieurs vont en se décomposant (processus de nitrification – dénitrification), émettre du protoxyde d'azote, qui est un puissant gaz à effet de serre.

Ainsi, l'introduction de légumineuses à graines dans les rotations culturales permet de réduire les émissions de  $N_2O$ . De plus, l'azote qu'elles laissent dans le sol permet de réduire la fertilisation de la culture suivante.

En 2017, les protéagineux (pois protéagineux + féveroles et fèves + lupin doux) représentaient 1,7 % de la SAU régionale. A noter qu'il existe d'autres type de protéagineux : les légumes secs (lentilles, haricots...), les oléoprotéagineux (soja...), et quelques légumineuses fourragères.

En Europe du Nord, le développement des cultures protéagineuses destinées à l'alimentation animale, est récent dans la mesure où il date de l'embargo américain sur le soja en 1973. Pour pallier, au moins partiellement à cet approvisionnement extérieur, l'Europe avait mis en place un plan Protéagineux, dans lequel la France avait joué un rôle majeur. La mise en œuvre de ce plan a conduit à faire de la France le premier producteur européen de protéagineux, et surtout de pois (650 à 700 000 ha).

Depuis, la superficie en protéagineux a considérablement diminué (-60%) en 30 ans. La baisse a été forte à partir de 1999 du fait d'un système de compensation moins avantageux, en lien avec la réforme de la PAC (Accords de Berlin). A partir de 2001, un plan protéagineux de 5 ans visait à relancer des cultures riches en protéines mais sans effet en Centre Val-de-Loire. L'augmentation observée en 2010 provient, notamment, de la mesure de la PAC « aide à la diversité des assolements ». Depuis, les surfaces cultivées en Région Centre-Val-de-Loire, semblent se stabiliser autour de 40 000 ha.

Parmi les différents freins expliquant le non développement actuel de la filière protéique, on peut citer :

- la technicité de la conduite de ces cultures et leur sensibilité à la sécheresse ;
- la diminution des aides PAC destinées à ces cultures ;
- la faible compétitivité économique de cette filière en France dans le contexte mondial.

Au niveau national, il est estimé (INRA, 2013) que le triplement des surfaces observées en 2010 (par substitution de 1/6ème de la sole de blé tendre, de 1/6ème de la sole de colza et de 2/3 de la sole d'orge) permettrait une réduction des engrais de 33 kgN/ha sur la culture suivante ; ce qui réduirait les émissions de GES ( $N_2O$  et  $CO_2$ ) de 0,92 Mteq  $CO_2$  par an, soit 0,8 % des émissions agricoles annuelles françaises de GES.

En intégrant la moindre fabrication d'engrais azoté (émissions dites "induites"), la réduction des émissions de GES serait de 1,75 teq  $CO_2$  par hectare implanté et par an.

Appliqué à la région Centre Val-de-Loire, ce scénario de triplement des surfaces en légumineuses occupées en 2017, conduirait à une surface en légumineuses d'environ 120 000 hectares, soit 5 % de la SAU régionale. Une particularité de ce levier agricole d'atténuation est qu'il impose un changement significatif des rotations, ce qui peut avoir des répercussions importantes sur les systèmes de production.

# 5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## E1-Surface en protéagineux



### A retenir

Conséquence d'une histoire politique peu favorable, les protéagineux occupent actuellement 40 000 ha en Centre Val-de-Loire, soit environ 1,7 % de la SAU régionale.

A l'échelle nationale, le triplement de la surface occupée en 2017 par les légumineuses à graines (en substitution à des grandes cultures) générerait une réduction de 0,8 % des émissions agricoles annuelles françaises de GES.

Transposé à l'échelle régionale, ce scénario porterait leur surface à 120 000 ha, soit 5 % de la SAU régionale.



### Pour en savoir plus

INRA, 2013 - Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?









## 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 destinée 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 8km 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.

**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.

## Edition 2019 : liste des fiches

### 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

A1-Température moyenne annuelle.....	7
A2-Nombre de jours estivaux annuel .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
A3-Nombre de jours de gel annuel .....	18
A4-Cumul annuel des pluies.....	23
A5-Cumul saisonnier des pluies .....	28
A6-Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	32
A7-Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP).....	35
A8-Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP).....	39

### 2 AGRO CLIMAT

B1-Nombre de jours échaudant au printemps.....	44
B2-Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril.....	48
B3-Début, durée et fin de la période de gel.....	52
B4-Indice de Winkler .....	58
B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre.....	63
B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire .....	68
B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe.....	75
B8-Episodes pluvieux intenses .....	81

### 3 IMPACTS AGRICOLES

C1 - Rendement en blé tendre .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
------------------------------------	------------------------------------

### 4 ADAPTATIONS

A venir

### 5 ATTENUATIONS

E1-Surface en protéagineux.....	93
---------------------------------	----

### **Qu'est-ce qu'ORACLE Centre Val-de-Loire ?**

ORACLE Centre Val-de-Loire est un Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique. Il établit un constat objectif du changement climatique et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale. Il s'appuie sur des observations qui sont mises à jour régulièrement.

ORACLE Centre Val-de-Loire est organisé en 5 thèmes :

**1 CHANGEMENT CLIMATIQUE**

**2 AGRO CLIMAT**

**3 IMPACTS AGRICOLES**

**4 ADAPTATIONS**

**5 ATTENUATIONS**

ORACLE Centre Val-de-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 :

Christophe BEAUJOUAN – Chambre Régionale d'Agriculture de Centre Val-de-Loire  
[christophe.beaujouan@loir-et-cher.chambagri.fr](mailto:christophe.beaujouan@loir-et-cher.chambagri.fr)