

CLIMAT
AGROCLIMAT
IMPACTS
ADAPTATIONS
ATTENUATIONS

AGRICOLES



oracle

Centre Val-de-Loire

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

Edition décembre 2025



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

Avec le soutien financier de :

ADEME DR Centre Val-de-Loire
CasDAR – Programme Régionale de Développement Agricole et Rurale (PRDAR)
Chambre Régionale d'Agriculture de 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
DRAAF Centre Val-de-Loire
DREAL Centre Val-de-Loire
Météo France DIR Centre
OREGES Centre Val-de-Loire

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 :

<https://centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr/sinformer/agro-environnement/changement-climatique>

Edition 2024

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Edition 2024 : liste des fiches

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

A1 - Température moyenne annuelle.....	7
A2 - Température moyenne saisonnière.....	15
A3 - Nombre de jours estivaux annuel.....	22
A4 - Nombre de jours de gel annuel.....	27
A5 - Cumul annuel des pluies.....	31
A6 - Cumul saisonnier des pluies.....	36
A7 - Cumul mensuel des pluies.....	40
A8 - Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP).....	47
A9 - Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP).....	52
A10 - Contenu en eau des sols.....	57
A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP).....	65

2 AGRO CLIMAT

B1 - Nombre de jours échaudant au printemps.....	76
B2 - Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril.....	80
B3 - Début, durée et fin de la période de gel.....	84
B4-Indice de Winkler.....	91
B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre.....	97
B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire.....	102
B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe.....	110
B8-Episodes pluvieux intenses.....	116
B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci.....	119
B10-Nombre de jours de sécheresse.....	124

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

3 IMPACTS AGRICOLES

C1 – Rendement en blé tendre	130
C2 – Rendement en maïs grain.....	136
C3 – Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin.....	143
C4 – Teneur en sucre et en acidité totale des raisins.....	149
C6 – Date de pleine floraison du pommier : Variété Golden.....	157
C7 – Hydraulicité : débits des cours d'eau	160
C8 – Niveau des nappes d'eau souterraine.....	163

4 ADAPTATIONS

A venir

5 ATTENUATIONS

E1-Occupation du sol et matière organique des sols.....	168
E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone	172
E3-Production d'énergies renouvelables d'origine agricole et forestière	
E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote.....	208
E5-Surface en protéagineux	217

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

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 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.

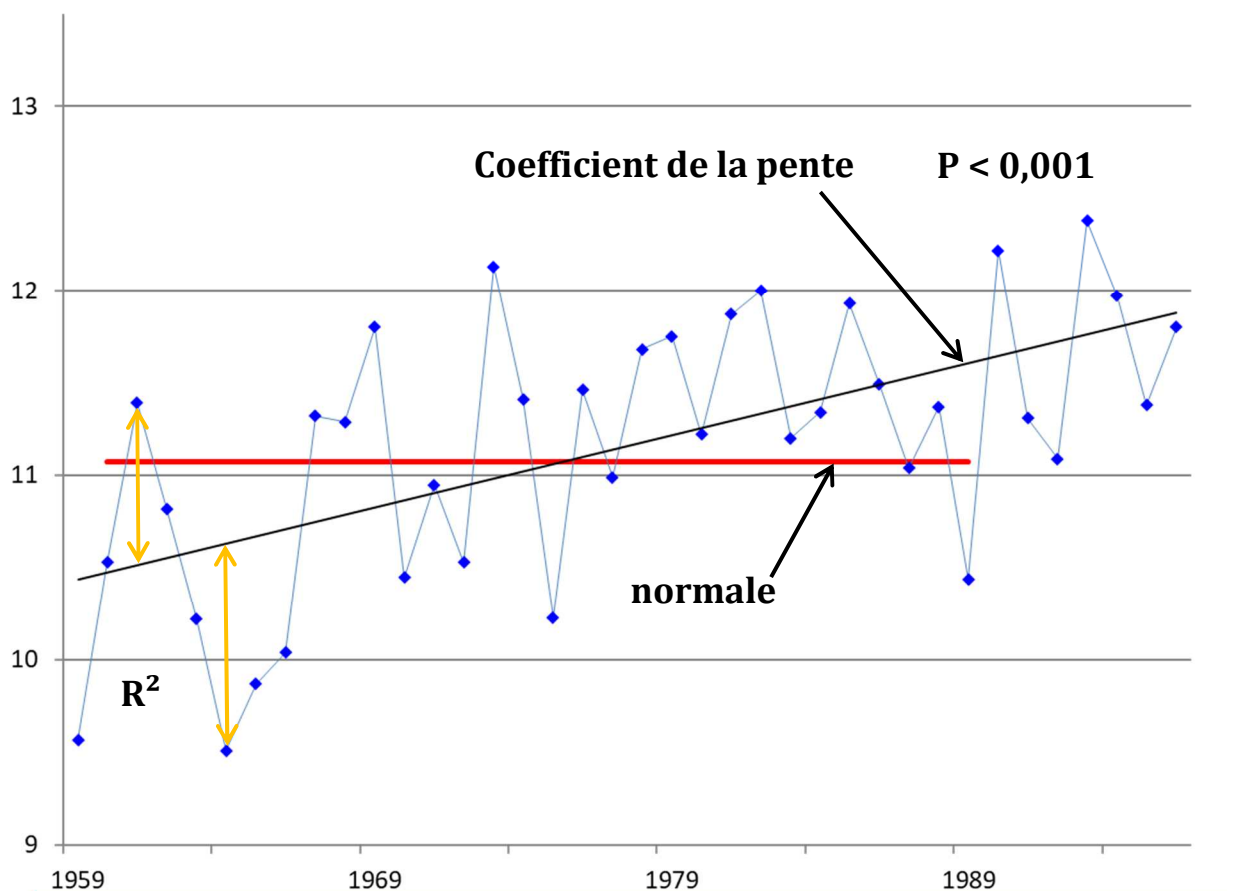
Pour caractériser le climat d'un lieu donné, les climatologues utilisent des normales climatiques : ils calculent les valeurs moyennes sur 30 ans des principaux paramètres météorologiques (valeur préconisée par l'Organisation Météorologique Mondiale). Le choix d'une durée de 30 ans pour caractériser 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.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

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 $+ 0,039^\circ\text{C}/\text{an}$, soit $+ 0,39^\circ\text{C}$ 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.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

🕒 Indicateur 1

Séries de 1959 à 2023 sur 6 stations :

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

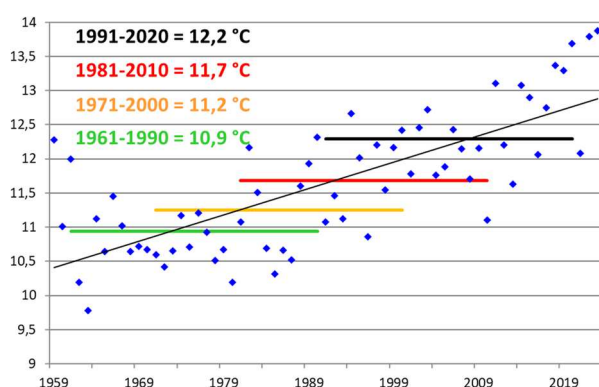
🧮 Calcul de l'indicateur 1

- Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2020 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire des températures moyennes annuelles (droite verte : 1961-1990 ; droite orange : 1971-2000 ; droite rouge : 1981-2010 ; droite noire : 1991-2020)

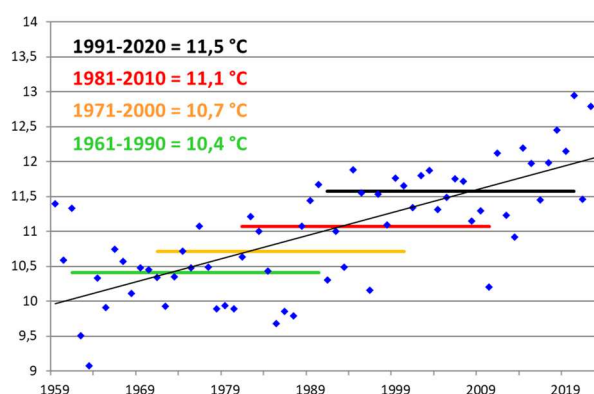
📈 Évolution observée

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

Bourges



Chartres



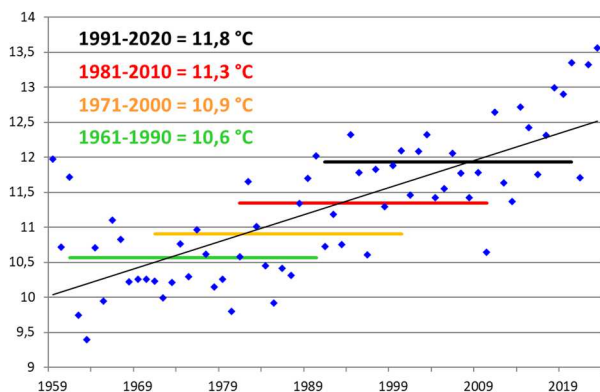
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



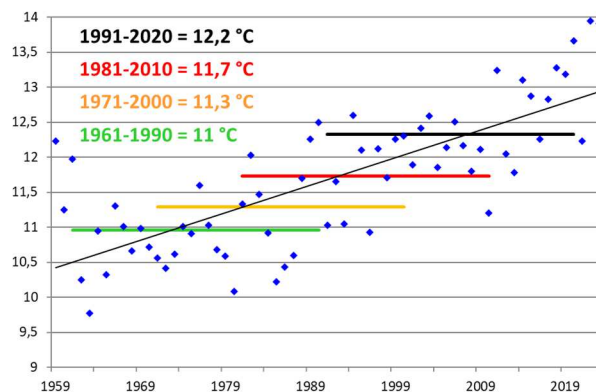
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle

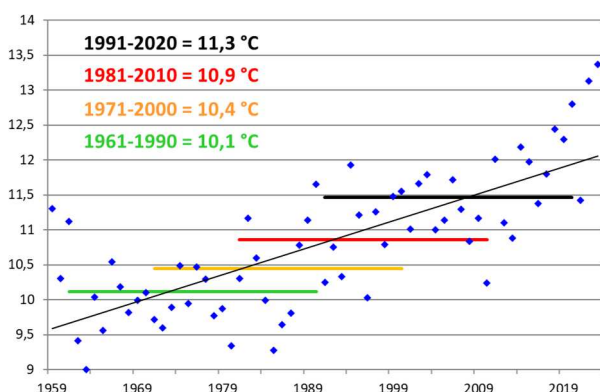
Châteauroux Déols



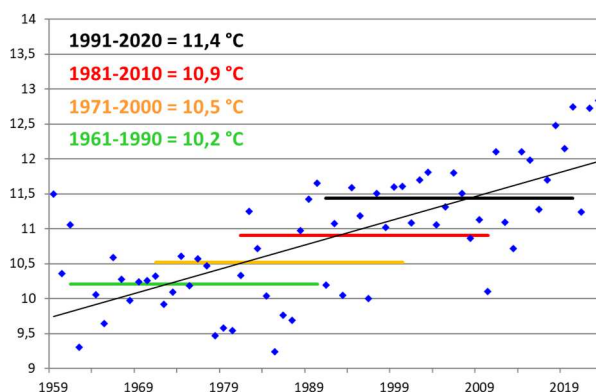
Tours



Romorantin



Chambon-la-Forêt



Analyse

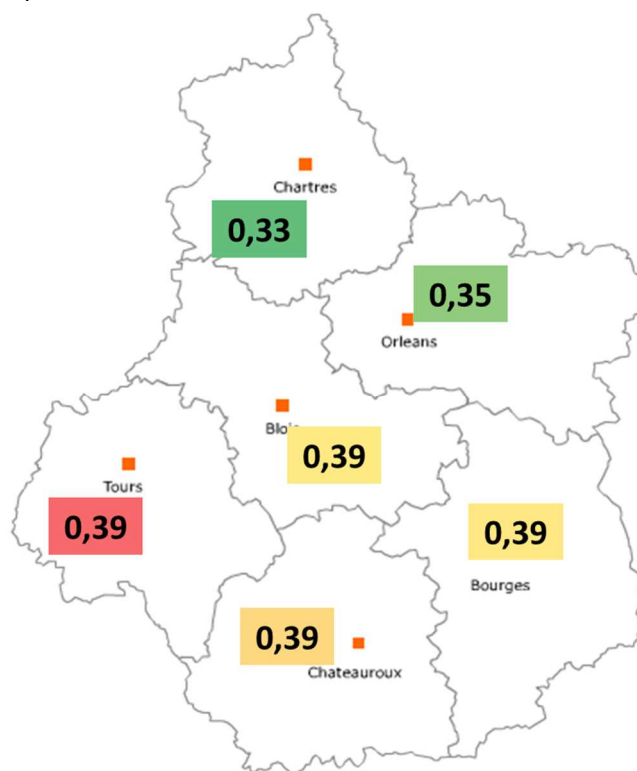
Dép.	Stations	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution °C /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1959	65	0,39	8,0E-13	très hautement significative	0,56
28	Chartres	1959	65	0,33	1,4E-11	très hautement significative	0,52
36	Châteauroux Déols	1959	65	0,39	8,7E-13	très hautement significative	0,56
37	Tours	1959	65	0,39	2,9E-13	très hautement significative	0,57
41	Romorantin	1959	65	0,39	6,1E-13	très hautement significative	0,56
45	Chambon-la-Forêt	1959	65	0,35	3,5E-11	très hautement significative	0,50



A1 - Température moyenne annuelle

L'évolution de la température moyenne observée en Région Centre Val-de-Loire depuis 65 ans pour chaque station montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période 1959-2023 sont de :
 - + **0,39°C** par décennie à Bourges
 - + **0,33°C** par décennie à Chartres
 - + **0,39°C** par décennie à Châteauroux Déols
 - + **0,39°C** par décennie à Tours
 - + **0,39°C** par décennie à Romorantin
 - + **0,35°C** par décennie à Chambon-la-Forêt



Evolution de la température moyenne annuelle par décennie depuis 1959 (en °C/10 ans)

- L'augmentation des températures est de **0,37 °C/10 ans** (moyenne des 6 stations de la Région Centre Val-de-Loire) en 65 ans (1959-2023) ; cette augmentation est significative sur les 6 stations de la région ($p < 3E-11$ au maximum).
- Il semble que ce réchauffement climatique augmente lorsque l'on compare les 4 moyennes trentenaires. En moyenne, sur les 6 départements :
 - + **0,32 °C** entre « **1985** » (1971-2000) et « **1975** » (1961-1990)
 - + **0,41 °C** entre « **1995** » (1981-2010) et « **1985** » (1971-2000)
 - + **0,57 °C** entre « **2005** » (1991-2020) et « **1995** » (1981-2010)
- On observe une évolution plus marquée des températures dans le sud de la région par rapport au nord. A noter que les variations de température d'une année à l'autre sont fortes car R^2 moyen = 0,55.
- 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),
 - + **0,3°C** par décennie pour **Poitiers** de 1953 à 2017 (Fedou et al, 2020).

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

🕒 Indicateur 2

Séries de 1959 à 2023 sur les 6 stations de la Région Centre

📊 Calcul de l'indicateur 2

Classement des années les plus chaudes et les plus froides depuis 1959 pour chaque département et pour la région Centre-Val-de-Loire.

📈 Évolution observée

<i>Bourges</i>	<i>Chartres</i>	<i>Châteauroux Déols</i>	<i>Tours</i>	<i>Romorantin</i>	<i>Chambon-la- Forêt</i>	Région Centre-Val-de- Loire (moyenne des 6 stations)
18	28	36	37	41	45	
2023	2020	2023	2022	2023	2023	2023
2022	2023	2020	2023	2022	2020	2022
2020	2022	2022	2020	2020	2022	2020
2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018
2019	2014	2019	2011	2019	2019	2019
2011	2019	2014	2019	2014	2011	2014
2014	2011	2011	2014	2011	2014	2011
2015	2017	2015	2015	2015	2015	2015
2017	2015	1994	2017	1994	2003	2017
2003	1994	2003	1994	2017	2006	2003
1963	1963	1963	1963	1963	1963	1963
1962	1962	1962	1980	1985	1985	1962
1980	1985	1980	1985	1980	1962	1985
1985	1987	1985	1962	1962	1978	1980
1972	1986	1965	1965	1965	1980	1965
1978	1978	1972	1972	1972	1979	1972
1987	1980	1978	1986	1986	1965	1978
1971	1965	1973	1971	1971	1987	1987
1965	1972	1968	1979	1978	1986	1979
1968	1979	1971	1987	1987	1972	1986

Classement des dix années les plus chaudes (en rouge) et les dix années les plus froides (en bleue) en région Centre-Val-de-Loire depuis 1959

Classement des vingt années les plus chaudes (en rouge) et les vingt années les plus froides (en bleue) en région Centre-Val-de-Loire depuis 1959

2023
2022
2021
2020
2019
2018
2017
2016
2015
2014
2013
2012
2011
2010
2009
2008
2007
2006
2005
2004
2003
2002
2001
2000
1999
1998
1997
1996
1995
1994
1993
1992
1991
1990
1989
1988
1987
1986
1985
1984
1983
1982
1981
1980
1979
1978
1977
1976
1975
1974
1973
1972
1971
1970
1969
1968
1967
1966
1965
1964
1963
1962
1961
1960
1959

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle

- En Région Centre-Val-de-Loire :
 - sur les 10 années les plus chaudes depuis 1959, 10 appartiennent au XXI^{ème} siècle.
 - sur les 20 années les plus chaudes depuis 1959, 14 appartiennent au XXI^{ème} siècle.

- Au niveau mondial, la température annuelle des terres et des océans a augmenté à un taux moyen de 0,08 °C par décennie depuis 1880 ; cependant, le taux moyen d'augmentation est deux fois plus élevé depuis 1980 (0,19 °C/10 ans).

Ces accroissements mondiaux sont inférieurs à ceux de la France car l'élévation des températures est plus importante sur les terres émergées que sur les océans.

De même, les augmentations de températures ne sont pas uniformes sur la planète ; les records annuels de températures en France ne sont donc pas forcément les mêmes que dans le monde.

Ainsi, au niveau mondial :

- les 10 années les plus chaudes depuis 1880 appartiennent au XXI^{ème} siècle.
- sur les 20 années les plus chaudes depuis 1880, 19 appartiennent au XXI^{ème} siècle.

Années les plus chaudes depuis 1880	Anomalies par rapport à la moyenne 1901-2000 (en °C)
2023	1,19
2016	1,03
2020	1,01
2019	0,98
2017	0,94
2015	0,91
2022	0,9
2018	0,87
2021	0,86
2014	0,76
2010	0,74
2005	0,7
2013	0,68
2009	0,67
2006	0,66
2007	0,65
2012	0,65
1998	0,63
2003	0,63
2002	0,62

Classement des vingt années les plus chaudes dans le monde (température annuelle moyenne mondiale terres et océans) **enregistrées depuis 1880** par rapport à la moyenne 1901-2000 - Source NOAA.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

🕒 Indicateur 3

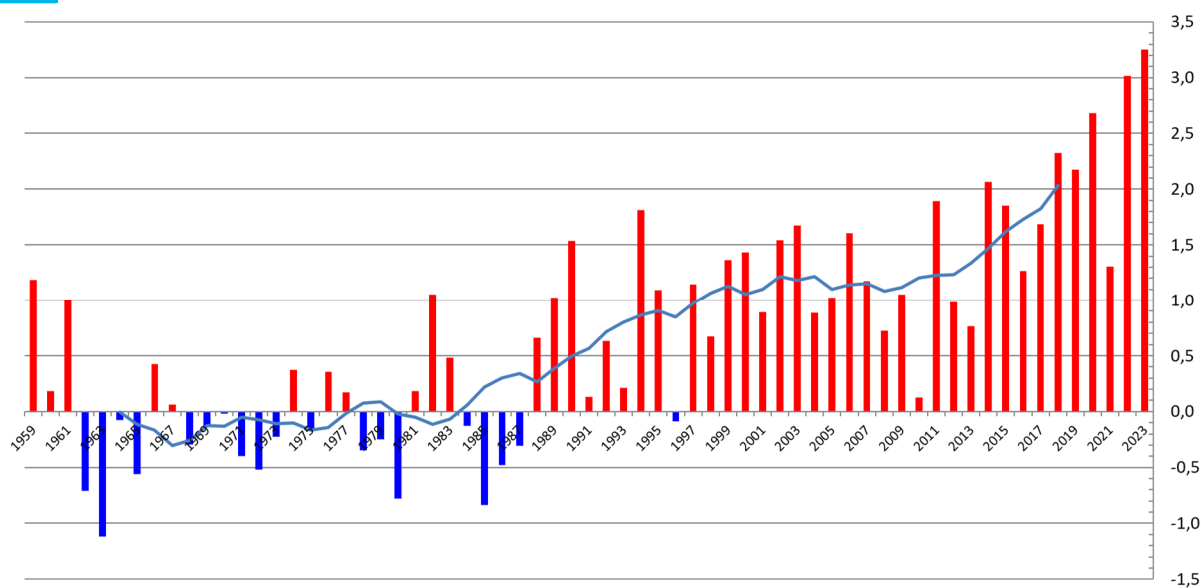
Séries de 1959 à 2023 sur la station de :

- 41 : Romorantin

🧮 Calcul de l'indicateur 3

Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières : écart par rapport à la moyenne 1961-1990 (diagramme) et moyenne glissante sur 11 ans (courbe bleue).

📈 Évolution observée



Romorantin

Evolution de la température moyenne annuelle par rapport à la moyenne trentenaire 1961 – 1990 (10,4°C)

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A1 - Température moyenne annuelle

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

Indicateur 4

Séries de 1959 à 2023 sur la station de :

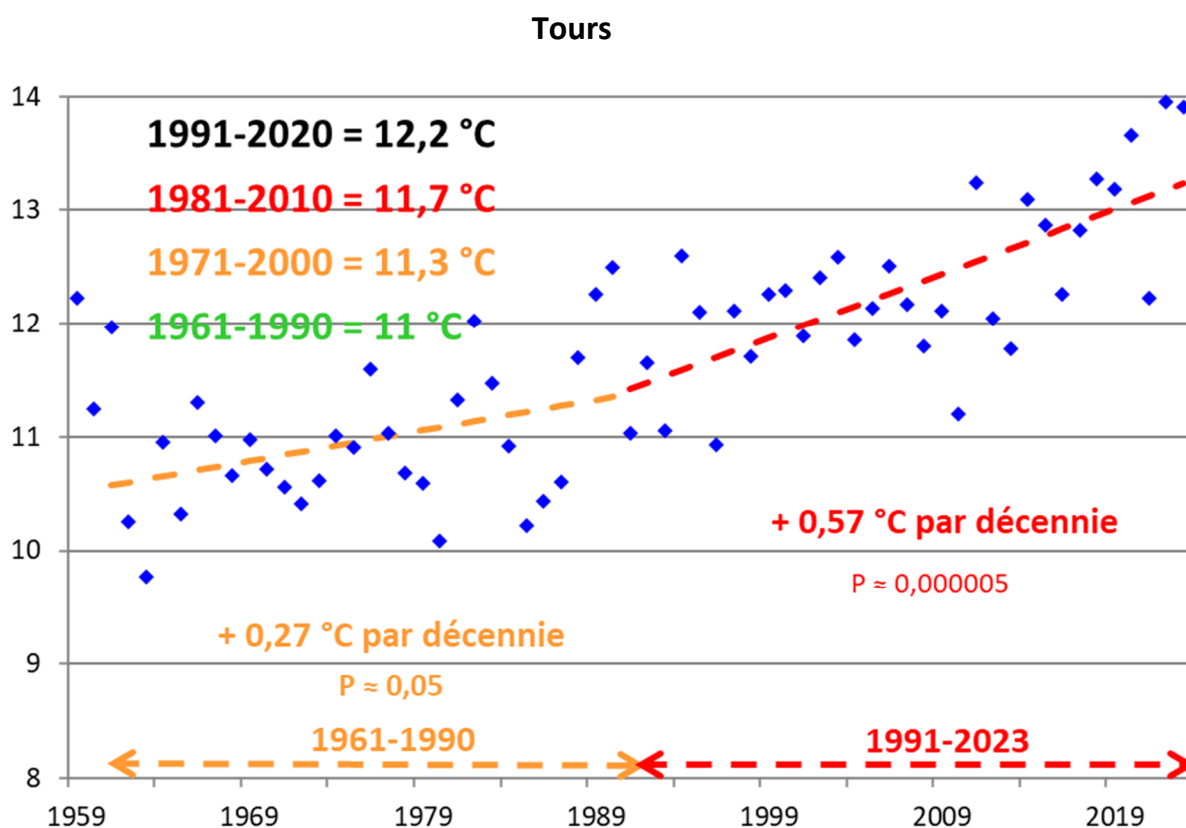
- 37 : Tours

Calcul de l'indicateur 4

Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières (nuage de points bleus)

Tendance linéaire des 2 « normales » : pente orange : 1961-1990 et pente rouge : 1991 - 2023

Évolution observée



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle

- L'indicateur n°3 nous indique également une accélération du réchauffement climatique sur la station de Romorantin (41). La moyenne glissante des températures atteint + 1 °C à la fin du XX^{ème} siècle par rapport à la moyenne de 1961-1990
- L'indicateur n°4 nous indique une accélération de l'accroissement des température au cours de ces 60 dernières années à Tours avec une augmentation de **0,27 °C/10 ans** sur la période de 1961-1990 alors que celle de 1991-2023 indique une augmentation de **0,57 °C/10 ans** (les 2 tendances étant significatives). Cette accélération se vérifie sur les autres station de la Région Centre Val-de-Loire :

Dép.	évolution °C/10 ans 1961-1990	Test	"Force" de la tendance	évolution °C/10 ans 1991-2023	Test	"Force" de la tendance
18	0,21	P ≈ 0,1	non significative	0,56	P ≈ 0,00002	très hautement significative
28	0,21	P ≈ 0,1	non significative	0,45	P ≈ 0,00015	très hautement significative
36	0,25	P ≈ 0,06	non significative	0,53	P ≈ 0,00003	très hautement significative
37	0,27	P ≈ 0,05	significative	0,57	P ≈ 0,000005	très hautement significative
41	0,23	P ≈ 0,08	non significative	0,55	P ≈ 0,00002	très hautement significative
45	0,27	P ≈ 0,05	significative	0,57	P ≈ 0,000005	très hautement significative

- Selon l'indicateur n°3, 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 journalière au cours du XX^{ème} 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. Le dernier rapport du GIEC, confirme la très forte probabilité que ce réchauffement se poursuive.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle



Pour aller plus loin

L'étude des températures saisonnières permet 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 moyenne cohérente avec l'évolution observée en France et dans le monde. Depuis 1959, la température moyenne annuelle s'est élevée de **0,37 °C par décennie** (moyenne des 6 stations départementales).

Cette évolution semble s'accroître ces dernières années : par exemple **+ 0,57 °C/décennie** sur la station de Tours entre 1991 et 2023 et « seulement » + 0,27 °C/10 ans sur la période de 1961-1990.

Cet accroissement 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 est très prononcée ($R^2=0,5$) 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>

A2 - Température moyenne saisonnière

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

Indicateur 1

Séries de 1959 à 2023 sur 6 stations :

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

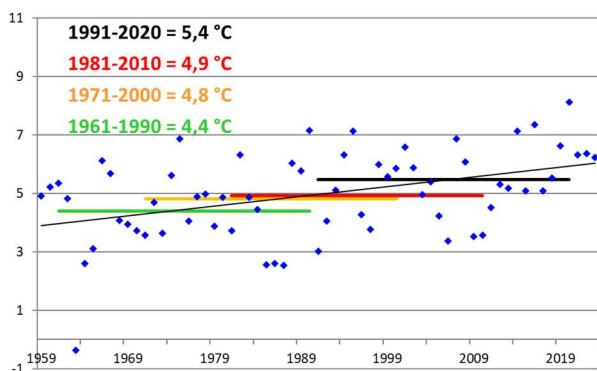
Calcul de l'indicateur 1

- Moyenne saisonnière des températures moyennes journalières (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2020 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire des températures moyennes annuelles (droite verte : 1961-1990 ; droite orange : 1971-2000 ; droite rouge : 1981-2010 ; droite noire : 1991-2020)

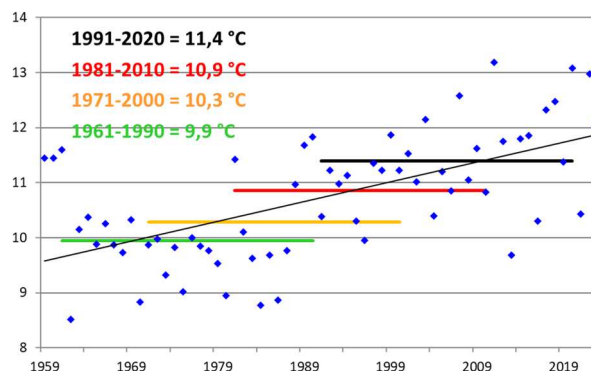
Évolution observée à Tours

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

Hiver à Tours (37)



Printemps à Tours (37)



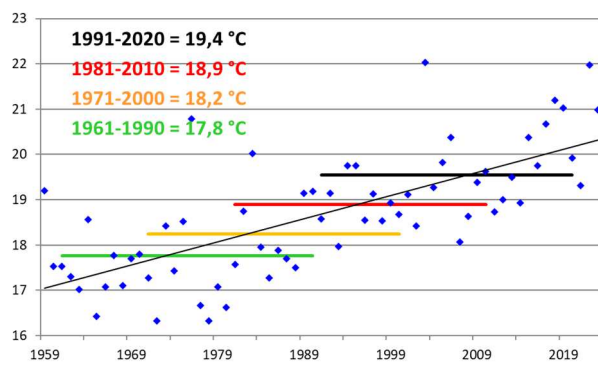
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



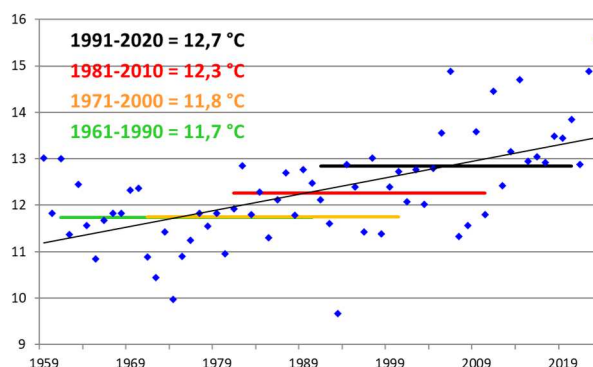
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A2 - Température moyenne saisonnière

Été à Tours (37)



Automne à Tours (37)

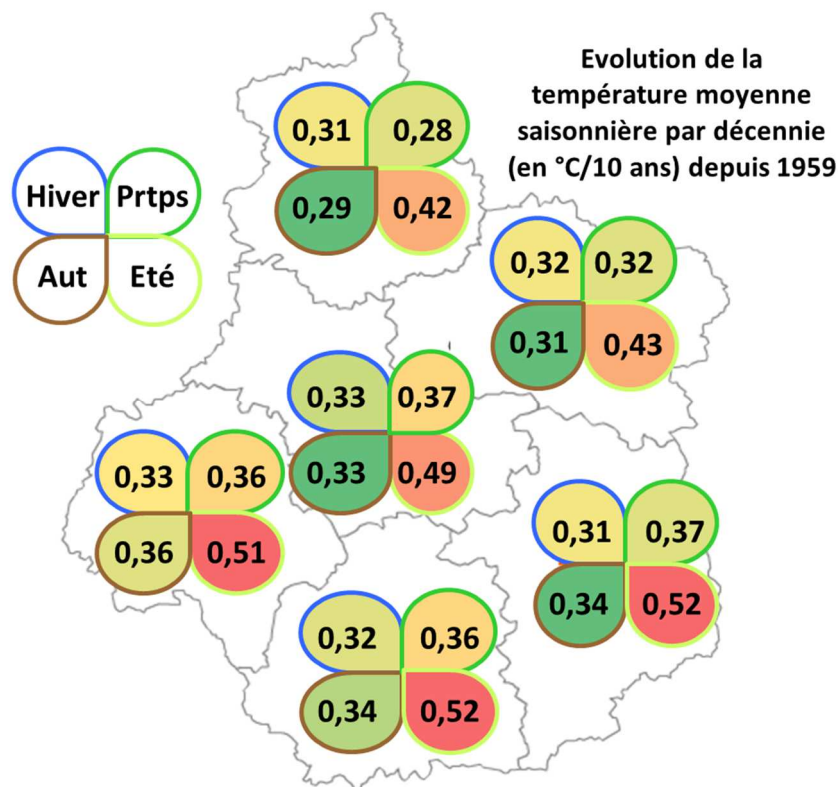


	Bourges (18)	Chartres (28)	Châteauroux Déols (36)	Tours (37)	Romorantin (41)	Chambon-la-Forêt (45)
Hiver	0,31 (P=8E-4)	0,31 (P=8E-4)	0,32 (P=7E-4)	0,33 (P=4E-4)	0,33 (P=5E-4)	0,32 (P=1E-3)
Printemps	0,37 (P=1E-7)	0,28 (P=6E-6)	0,36 (P=9E-8)	0,36 (P=1E-7)	0,37 (P=2E-8)	0,32 (P=3E-6)
Été	0,52 (P=4E-11)	0,42 (P=3E-9)	0,52 (P=2E-11)	0,51 (P=4E-11)	0,49 (P=1E-11)	0,43 (P=5E-9)
Automne	0,34 (P=2E-6)	0,29 (P=1E-6)	0,34 (P=1E-6)	0,36 (P=2E-7)	0,33 (P=3E-6)	0,31 (P=4E-6)

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



A2 - Température moyenne saisonnière

Analyse

A Tours, l'évolution de la température moyenne saisonnière observée à Tours depuis 65 ans montre que :

- Les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période 1959-2023 sont de :
 - +0,33 °C par décennie en hiver
 - +0,36 °C par décennie au printemps
 - +0,52 °C par décennie en été
 - +0,34 °C par décennie en automne
- L'augmentation des températures est significative sur toutes les saisons mais moins franche en hiver ($p=1.10^{-3}$ au minimum)
- En Région Centre Val-de-Loire (moyenne des 6 stations), les évolutions de température moyenne saisonnière sont de :
 - **+0,32 °C par décennie en hiver**
 - **+0,34 °C par décennie au printemps**
 - **+0,48 °C par décennie en été**
 - **+0,33 °C par décennie en automne**

L'élévation de température est répartie principalement sur la saison estivale. Les 3 autres saisons semblent évoluer moins rapidement. Ces chiffres sont corroborés par une étude de Météo France portant sur les années 1959-2009 avec un réchauffement significatif en été de 0,42°C/décennie et au printemps de 0,33°C/décennie mais non significatif en hiver (de 0,28°C/décennie) et en automne (0,2°C/décennie). On rappelle qu'une tendance non significative signifie que la tendance observée est trop « faible » par rapport à la variabilité interannuelle.

- On note un gradient de l'augmentation de températures saisonnières du sud-ouest au nord-est (déjà identifié pour l'évolution des températures moyennes annuelles) mais non significatives.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

- En Région Centre-Val-de-Loire :
 - sur les 10 hivers les plus chauds depuis 1959, 6 appartiennent au XXI^{ème} siècle.
 - sur les 10 printemps les plus chauds depuis 1959, 8 appartiennent au XXI^{ème} siècle.
 - sur les 10 étés les plus chauds depuis 1959, 7 appartiennent au XXI^{ème} siècle.
 - sur les 10 automnes les plus chauds depuis 1959, 9 appartiennent au XXI^{ème} siècle.

On peut classer les records annuels de température par saison (voir graphique suivant), et analyser la répartition des records entre 1959-1990 et 1991-2020 (voir tableau ci-dessous).

Hiver	Printemps	Eté	Automne
-------	-----------	-----	---------

Répartition des 20 années les plus chaudes entre

1959-1990	35%	25%	15%	20%
1991-2020	65%	75%	85%	80%

Répartition des 20 années les plus froides entre

1959-1990	70%	90%	100%	65%
1991-2020	30%	10%	0%	35%

On constate également que c'est la saison estivale qui semble évoluer plus rapidement que les autres saisons avec les 20 étés les plus froids qui ont tous eu lieu dans la période 1959-1990, alors que les 20 étés les plus chauds se situent principalement (à 85 %) dans la période 1991-2020.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A2 - Température moyenne saisonnière

Hiver	Printemps	Eté	Automne
2023	2023	2023	2023
2022	2022	2022	2022
2021	2021	2021	2021
2020	2020	2020	2020
2019	2019	2019	2019
2018	2018	2018	2018
2017	2017	2017	2017
2016	2016	2016	2016
2015	2015	2015	2015
2014	2014	2014	2014
2013	2013	2013	2013
2012	2012	2012	2012
2011	2011	2011	2011
2010	2010	2010	2010
2009	2009	2009	2009
2008	2008	2008	2008
2007	2007	2007	2007
2006	2006	2006	2006
2005	2005	2005	2005
2004	2004	2004	2004
2003	2003	2003	2003
2002	2002	2002	2002
2001	2001	2001	2001
2000	2000	2000	2000
1999	1999	1999	1999
1998	1998	1998	1998
1997	1997	1997	1997
1996	1996	1996	1996
1995	1995	1995	1995
1994	1994	1994	1994
1993	1993	1993	1993
1992	1992	1992	1992
1991	1991	1991	1991
1990	1990	1990	1990
1989	1989	1989	1989
1988	1988	1988	1988
1987	1987	1987	1987
1986	1986	1986	1986
1985	1985	1985	1985
1984	1984	1984	1984
1983	1983	1983	1983
1982	1982	1982	1982
1981	1981	1981	1981
1980	1980	1980	1980
1979	1979	1979	1979
1978	1978	1978	1978
1977	1977	1977	1977
1976	1976	1976	1976
1975	1975	1975	1975
1974	1974	1974	1974
1973	1973	1973	1973
1972	1972	1972	1972
1971	1971	1971	1971
1970	1970	1970	1970
1969	1969	1969	1969
1968	1968	1968	1968
1967	1967	1967	1967
1966	1966	1966	1966
1965	1965	1965	1965
1964	1964	1964	1964
1963	1963	1963	1963
1962	1962	1962	1962
1961	1961	1961	1961
1960	1960	1960	1960
1959	1959	1959	1959



Classement des vingt saisons les plus chaudes (en rouge) et des vingt saisons les plus froides (en bleu) en région Centre-Val de Loire (moyenne des 6 stations départementales) depuis 1959

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A2 - Température moyenne saisonnière



Pour aller plus loin

L'étude des températures mensuelles permettrait peut-être d'identifier des différences d'évolutions plus précises au sein d'une saison.



A retenir

Depuis 1959, la température moyenne saisonnière de la Région Centre Val-de-Loire (moyenne des 6 stations départementales) s'est élevée de :

- +0,48 °C par décennie en été
- +0,34 °C par décennie au printemps
- +0,33 °C par décennie en automne
- +0,32 °C par décennie en hiver

alors que la température moyenne annuelle est de **0,37 °C par décennie**. L'élévation des températures est donc beaucoup plus marquée en période estivale.

L'élévation des températures saisonnières semble plus marquée au sud qu'au nord de la région Centre Val-de-Loire (mais non significatif).



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>

GIBELIN A. L., DUBUISSON B., CORRE L. D., JOURDAIN S., LAVAL L., PIQUEMAL J. M., MESTRE O., DENNETIERE D., DESMITT S., TAMBURINI A. ; 2014., Évolution de la température en France depuis les années 1950 - La Météorologie n° 87, 45-53.

https://lameteorologie.fr/issues/2014/87/meteo_2014_87_45

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A3 - Nombre de jours estivaux annuel

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

🕒 Indicateur 1

Séries de 1959 à 2023 sur 5 stations :

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

Séries de 1982 à 2020 sur 1 station :

- 37 : Tours

🧮 Calcul de l'indicateur 1

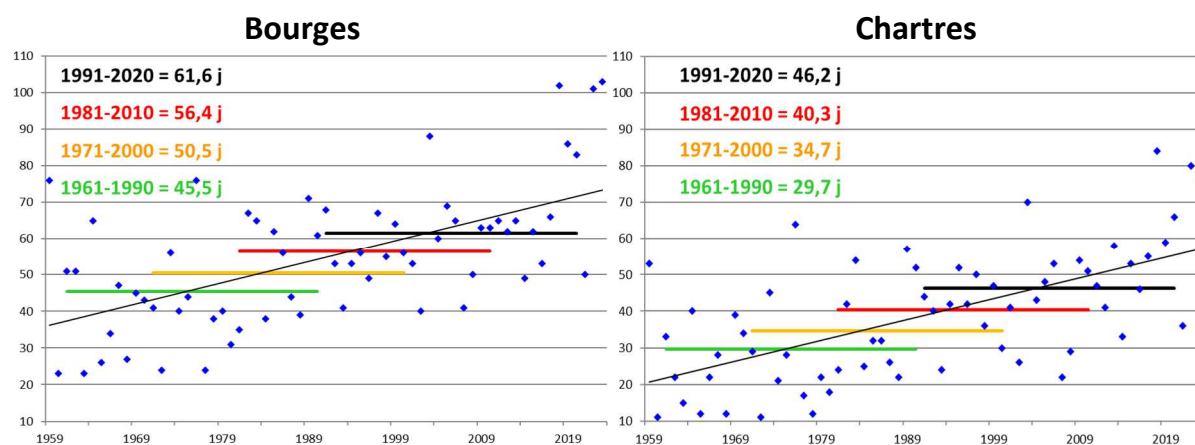
Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C pour chaque année (nuage de points bleus).

Tendance linéaire sur la période 1959 – 2020 (courbe noire)

Moyenne trentenaire du nombre de jours estivaux (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010 ; courbe noire : 1991-2020)

📈 Évolution observée

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

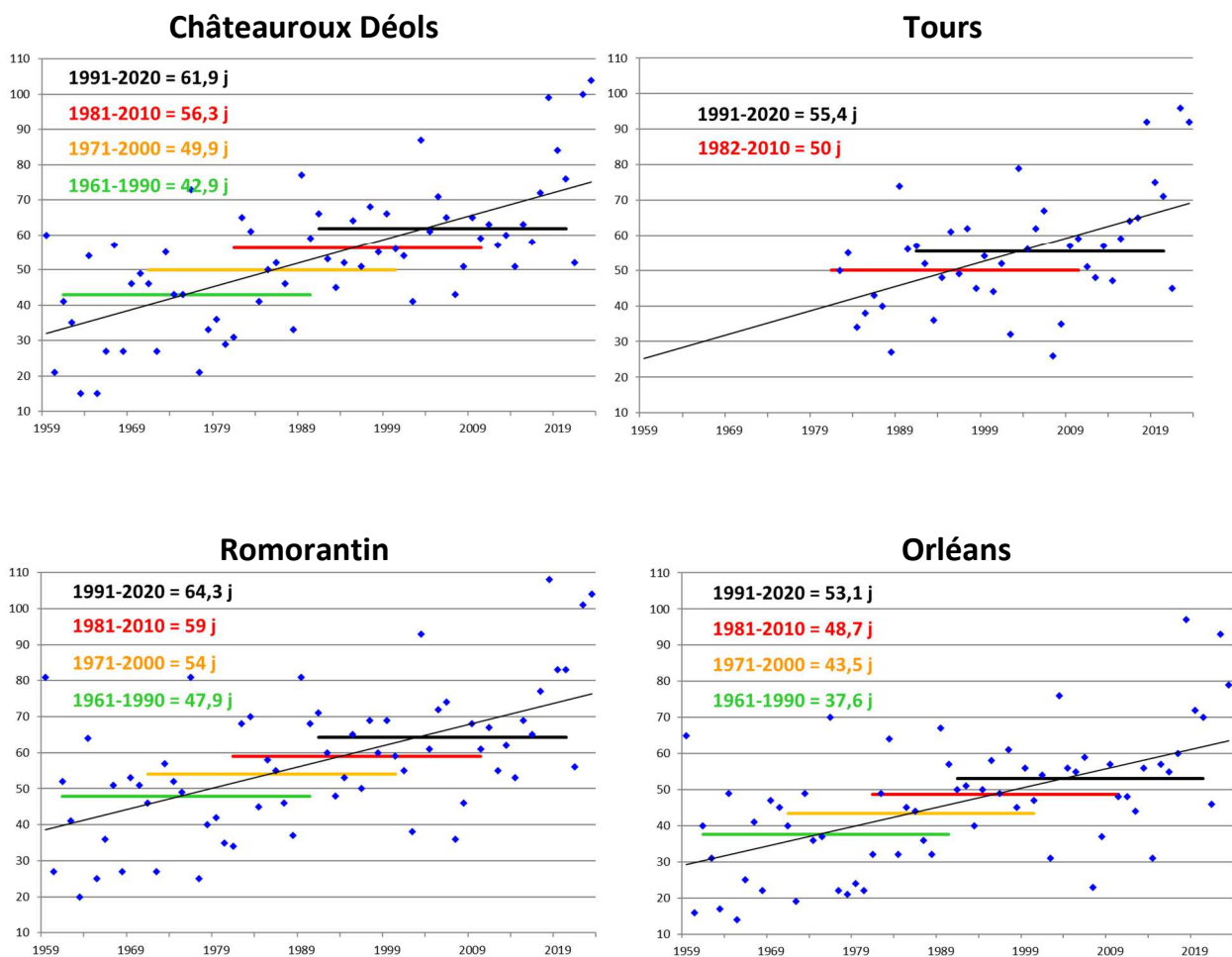


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A3 - Nombre de jours estivaux annuel



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	pente	évolution j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1959	65	0,580	5,8	2,36E-07	très hautement significative	0,35
28	Chartres	1959	65	0,569	5,7	4,65E-08	très hautement significative	0,38
36	Châteauroux Déols	1959	65	0,671	6,7	1,57E-09	très hautement significative	0,44
37	Tours	1982	42	0,685	6,9	5,48E-04	très hautement significative	0,26
41	Romorantin	1959	65	0,588	5,9	5,64E-07	très hautement significative	0,33
45	Orléans	1959	65	0,535	5,4	9,33E-07	très hautement significative	0,32



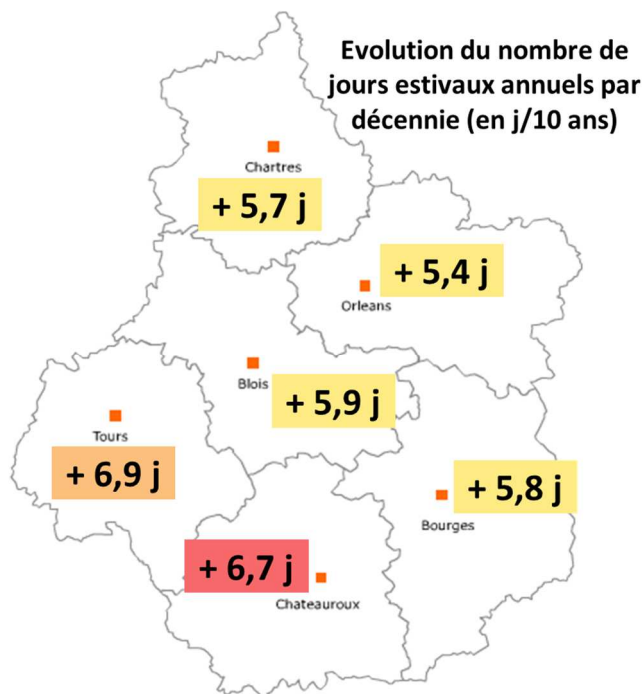
A3 - Nombre de jours estivaux annuel

L'évolution du nombre de jours estivaux annuels 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 :

- + 5,8 j par décennie à Bourges,
- + 5,7 j par décennie à Chartres,
- + 6,7 j par décennie à Châteauroux Déols,
- + 6,9 j par décennie à Tours
- + 5,9 j par décennie à Romorantin,
- + 5,4 j par décennie à Orléans.

L'évolution du nombre de jours estivaux annuels est en moyenne de **+ 6 j par décennie** (moyenne des 6 stations départementales).



- Toutes les stations montrent une tendance significativement à la hausse. En 65 ans, le nombre de journées estivales a été multiplié par 2,3 (moyenne des 6 stations), entre 1959 et 2020. On note une évolution plus rapide du nombre de jour échaudant au sud de la région par rapport au nord. Le nombre de jours estivaux par an est très variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R^2 moyen = 0,3

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

- + 4,3 j par décennie à Poitiers entre 1953 et 2017 (Fedou, Levraut, 2018),
- + 5,0 j par décennie au Mans de 1971 à 2015 (Colombie et al, 2017).

- l'évolution du nombre de jours estivaux semble être constant dans le temps car lorsque l'on compare les 4 moyennes trentennaires (moyenne des 6 départements) :

- + 5,8 j entre « 1985 » (1961-1990) et « 1975 » (1971-2000)
- + 5,6 j entre « 1995 » (1981-2010) et « 1985 » (1961-1990)
- + 5,3 j entre « 2005 » (1991-2020) et « 1995 » (1981-2010)

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A3 - Nombre de jours estivaux annuel

- Pour la région (= moyenne des 6 stations départementales), c'est l'année 2018 qui détient le record de nombre de jours estivaux avec 97 jours par an en moyenne, suivi de l'année 2022 avec 96 jours, puis 2023 avec 93 jours. Ces chiffres sont corroborés par l'indicateur température moyenne estivale. En stationnel, le record est attribué à la station de Romorantin avec 108 jours estivaux pour l'année 2018, soit 3 jours sur 10 qui atteignent une température maximale journalière supérieure ou égale à 25°C.

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. Tous les forestiers ont en mémoire l'année 2003 car elle a eu des répercussions importantes sur les massifs forestiers, mais 2003 n'est plus l'année record en termes de nombre de jours estivaux annuel (2023 arrive en 4^{ème} position)
- en élevage, 25°C correspond à un seuil au-delà duquel 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).



A3 - Nombre de jours estivaux annuel



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, voire mois par mois, l'évolution du nombre de jours estivaux afin de préciser comment la distribution intra-annuelle des épisodes de fortes chaleurs évoluent (voir Nombre de jours échaudant au printemps).



A retenir

Le nombre de jours estivaux par an a nettement augmenté en Centre Val-de-Loire au cours de ces 65 dernières années avec **+ 6 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 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.

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>

FEDOU, LEVRAULT, ORACLE Poitou Charentes, 2018, <https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr>

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A4 - Nombre de jours de gel annuel

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

Indicateur 1

Séries de :

- 18 : Bourges, 1959 à 2023
- 28 : Chartres, 1959 à 2023
- 36 : Pellevoisin, 1963 à 2023
- 37 : Tours, 1982 à 2023
- 41 : Romorantin, 1959 à 2023
- 45 : Chambon-la-Forêt, 1983 à 2023

Calcul de l'indicateur 1

Nombre de jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C pour chaque année (nuage de points bleus).

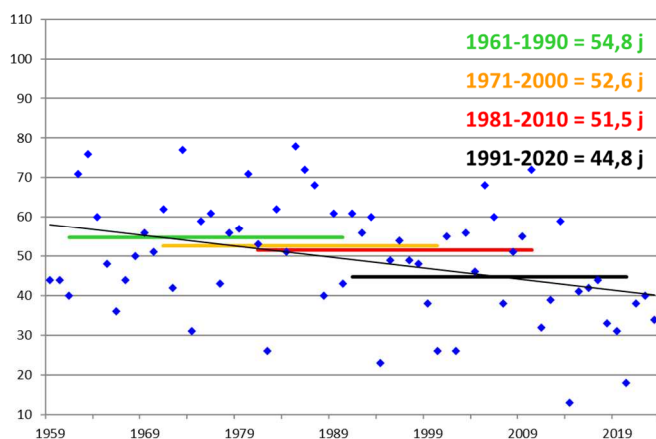
Tendance linéaire sur la période disponible (courbe noire).

Moyenne trentenaire du nombre de jours de gel par an (ligne verte : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020).

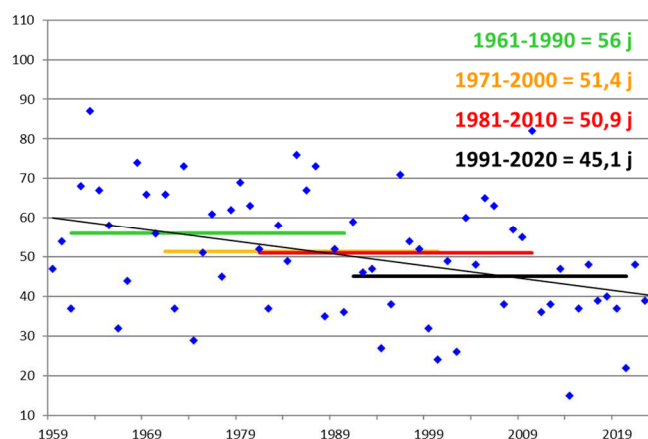
Évolution observée

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

BOURGES



CHARTRES

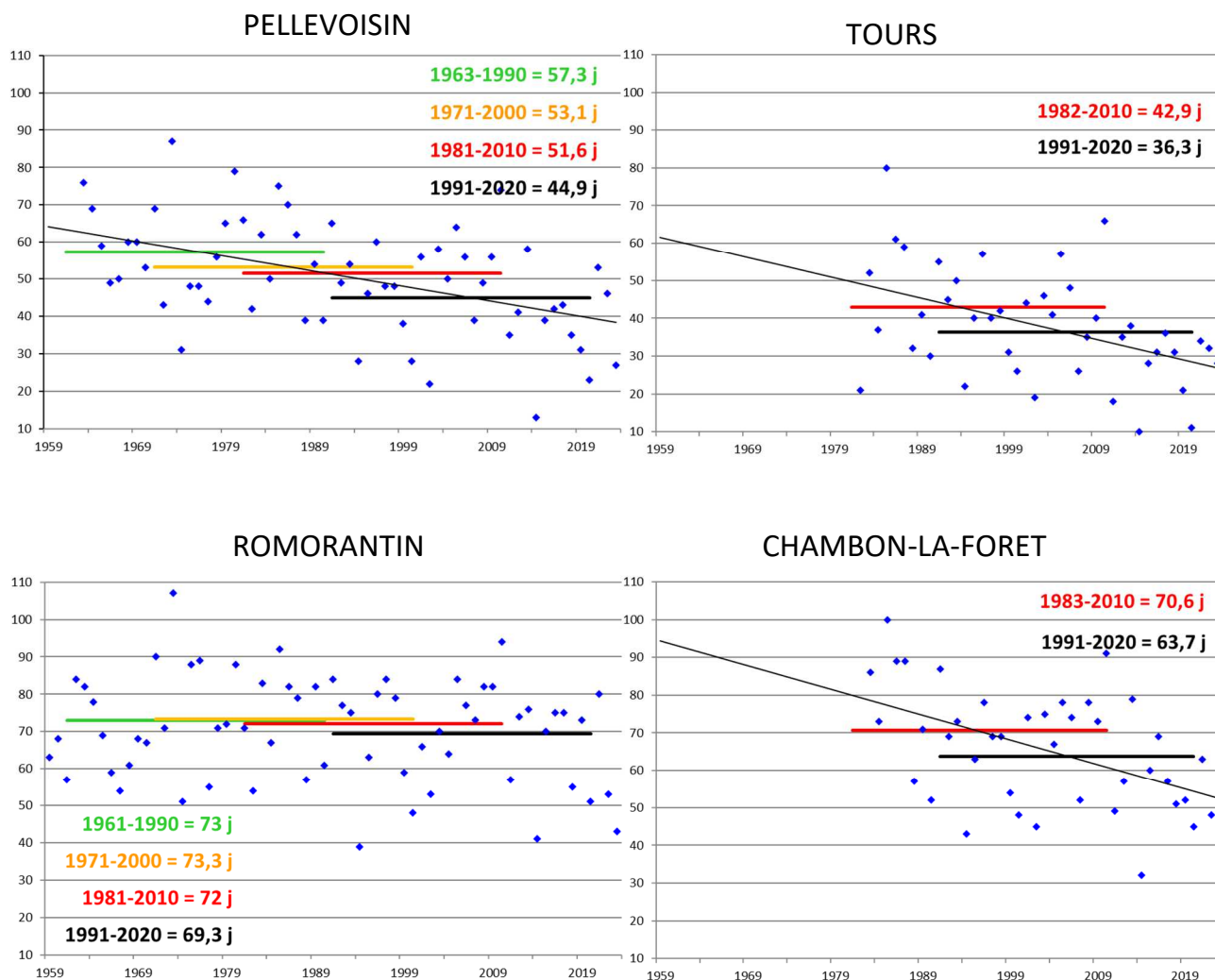


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A4 - Nombre de jours de gel annuel



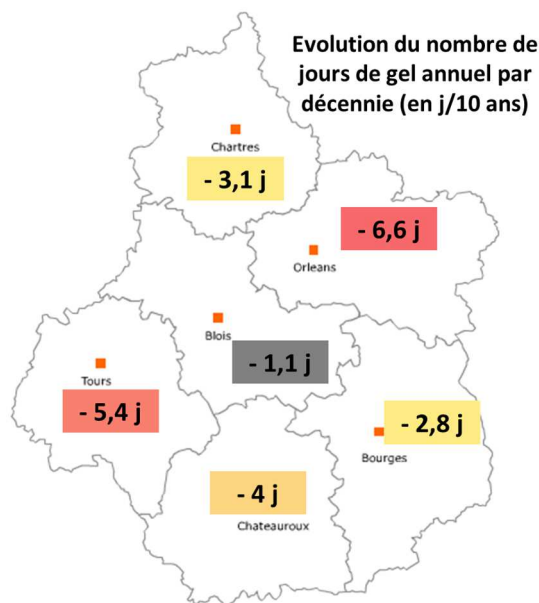
Analyse

Analyse de la tendance linéaire sur la période disponible

Dép.	Stations	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1959	65	- 2,8 j	0,003	hautement significative	0,36
28	Chartres	1959	65	- 3,1 j	0,002	hautement significative	0,37
36	Pellevoisin	1963	61	- 4 j	0,0001	très hautement significative	0,47
37	Tours	1982	42	- 5,4 j	0,003	hautement significative	0,45
41	Romorantin	1959	65	- 1,1 j	0,2	non significative	0,15
45	Chambon-la-Forêt	1983	41	- 6,6 j	0,001	très hautement significative	0,50



A4 - 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 :

- **2,8 j par décennie** à Bourges,
- **3,1 j par décennie** à Chartres,
- **4 j par décennie** à Pellevoisin,
- **5,4 j par décennie** à Tours,
- *1,1 j par décennie à Romorantin (NS)*
- **6,6 j par décennie** à Chambon-la-Forêt.

- Il est difficile de comparer l'évolution des stations de Tours et de Chambon-la-Forêt car elles n'ont pas autant d'historique que les autres stations. Seule la station de Romorantin ne montre pas de tendance significative ; ceci ne signifie pas que le radoucissement de l'hiver n'a pas lieu à Romorantin. En effet, la station de Romorantin étant la plus froide de la région, l'effet seuil du jour de gel « cache » cette tendance. Autrement dit, il y a de moins en moins de jours très froids mais qui restent inférieurs à 0°C. Ainsi, les 3 stations ayant plus de 60 ans de recul (18,28 et 36) montrent une tendance significativement en baisse, de **- 3,3 jours par décennie** en moyenne.

- La tendance en baisse du nombre de jours de gel est beaucoup moins significative ($p_{\text{moyen}}=0,04$) que la tendance en hausse du nombre de jours estivaux ($p_{\text{moyen}}=9,2 \cdot 10^{-5}$).

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

- **1,9 j par décennie** à Poitiers de 1953 à 2017 (Fedou, Levraut et al, 2018),
- **5,0 j par décennie** au Mans de 1971 à 2015 (Colombie et al, 2017).

- Le nombre de jours estivaux par an est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R^2 moyen = 0,4 (sur les stations avec tendance significative).

- Sur les 3 stations possédant le plus d'historique, l'évolution du nombre de jour de gel semble s'accélérer dernièrement ce qui se voit lorsque l'on compare les 4 moyennes trentenaires (disponibles pour le 18, 28 et 36) :

- 3,7 j entre « 1985 » (1961-1990) et « 1975 » (1971-2000)
- 1,0 j entre « 1995 » (1981-2010) et « 1985 » (1961-1990)
- 6,4 j entre « 2005 » (1991-2020) et « 1995 » (1981-2010)

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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A4 - Nombre de jours de gel annuel

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 le stade « ouverture du bouton » à 20 jours après la pollinisation (Lardon, 1995). Autre exemple concernant la qualité de la préfloraison 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 printanières.



A Retenir

Le nombre de jours de gel a décru en Centre Val-de-Loire au cours des 60 dernières années d'environ – **3,8 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 peuvent 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 du 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 végétatif par rapport à la date de première gelée...



Pour en savoir plus

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

LEVRAULT et al, ORACLE Nouvelle Aquitaine, 2018, <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

Consulté le 18 juillet 2018.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A5 - Cumul annuel des pluies

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

Indicateur 1

Séries de 1959 à 2023 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)

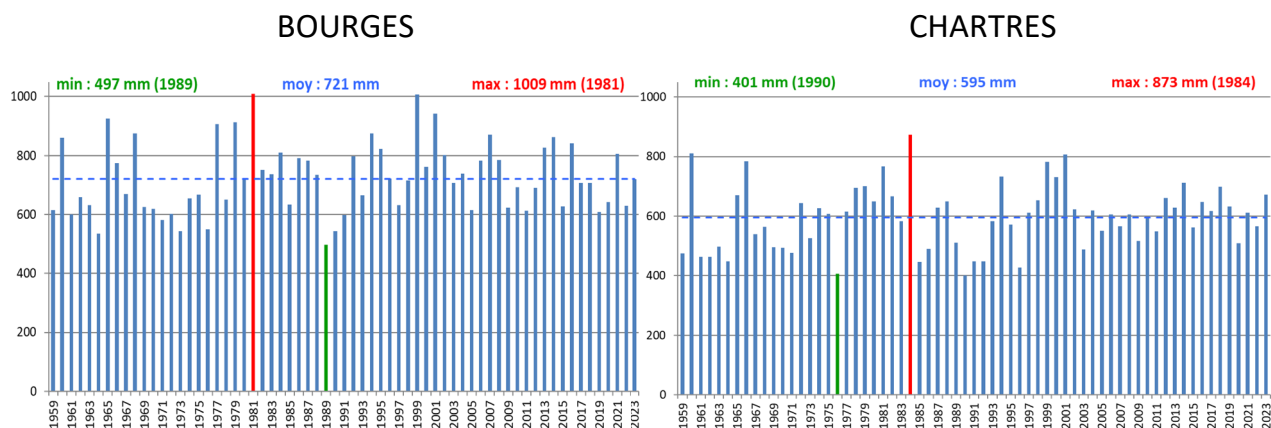
Cumul annuel minimum (en vert)

Cumul annuel moyen (en bleu)

Cumul annuel maximum (en rouge)

Évolution observée

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



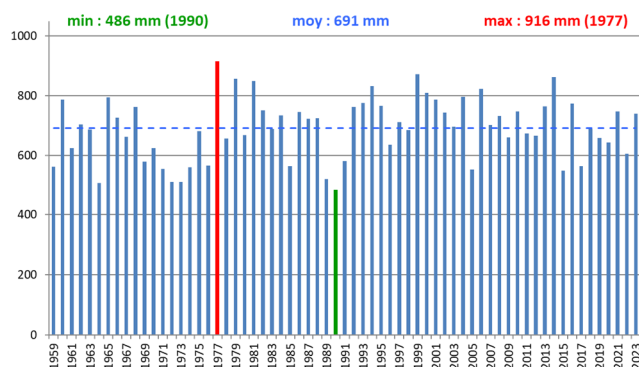
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



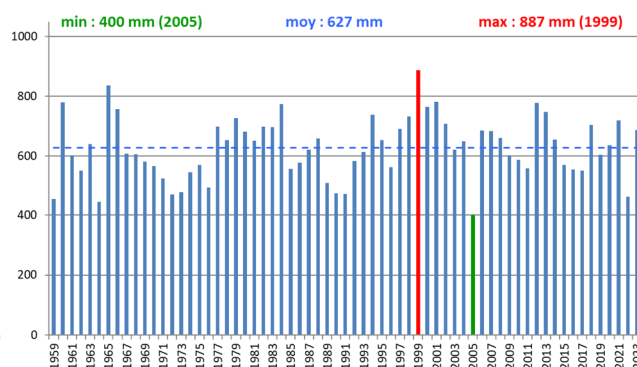
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A5 - Cumul annuel des pluies

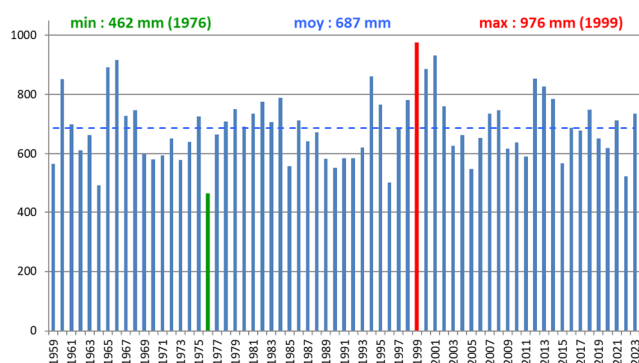
CHATEAUROUX DEOLS



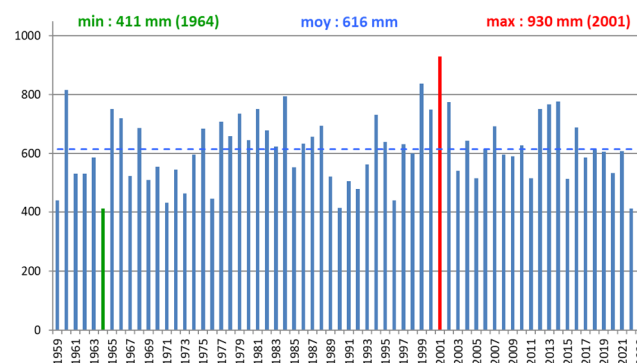
TOURS



VENDOME



ORLEANS

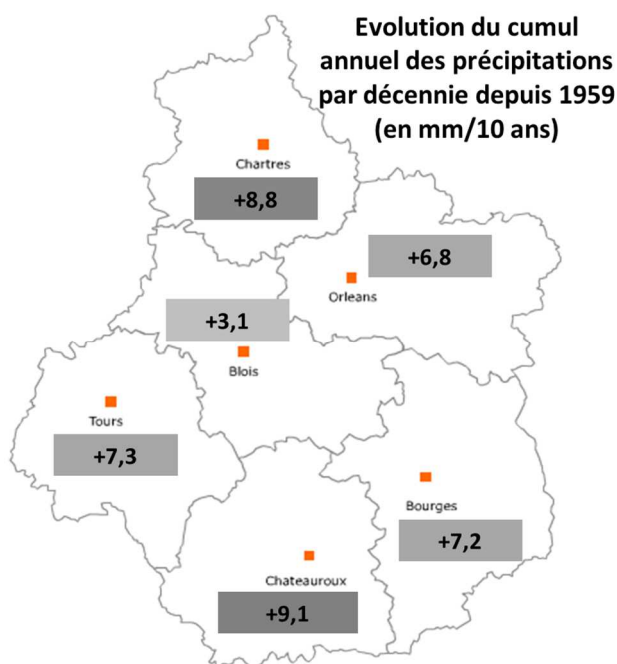


Analyse de la tendance linéaire sur la période disponible

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1959	65	7,2	0,36	non significative	0,01
28	Chartres	1959	65	8,8	0,21	non significative	0,02
36	Châteauroux Déols	1959	65	9,1	0,18	non significative	0,03
37	Tours	1959	65	7,3	0,29	non significative	0,02
41	Vendôme	1959	65	3,1	0,68	non significative	0,00
45	Orléans	1959	65	6,8	0,38	non significative	0,01



A5 - 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 :

- + 7,2 mm par décennie à Bourges (NS)
- + 8,8 mm par décennie à Chartres (NS)
- + 9,1 mm par décennie à Châteauroux Déols (NS)
- + 7,3 mm par décennie à Tours (NS)
- + 3,1 mm par décennie à Vendôme (NS)
- + 6,8 mm par décennie à Orléans (NS)

- Toutes les 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 60 ans**. Même si aucune tendance n'est significative, les tendances sont toutes positives (+ 7 mm de pluie/10 ans en moyenne).

- On observe de fortes variations de précipitations d'une année à l'autre pouvant atteindre jusqu'à 427 mm d'écart entre deux années consécutives (exemple de la station de Chartres entre l'année 1984 et 1985 avec respectivement 873 et 446 mm en cumul annuel). Ces variations annuelles importantes (caractérisé par un $R^2 < 0,1$), perturbent 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 entre 1971 et 2015 (Colombie et al.).

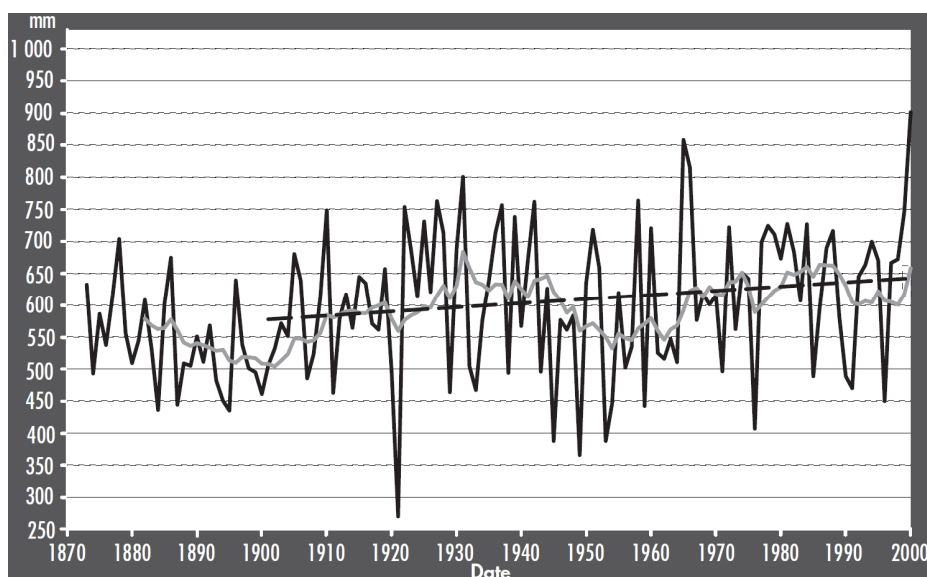
- La station de Paris-Montsouris permet de remonter jusqu'en 1873 (voir graphique ci-dessous). Cela conforte également les données de la Région Centre Val-de-Loire car la hausse des cumuls des précipitations est visuelle (coefficient de Spearman = 0,17) mais n'est pas significative statistiquement (Moisselin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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



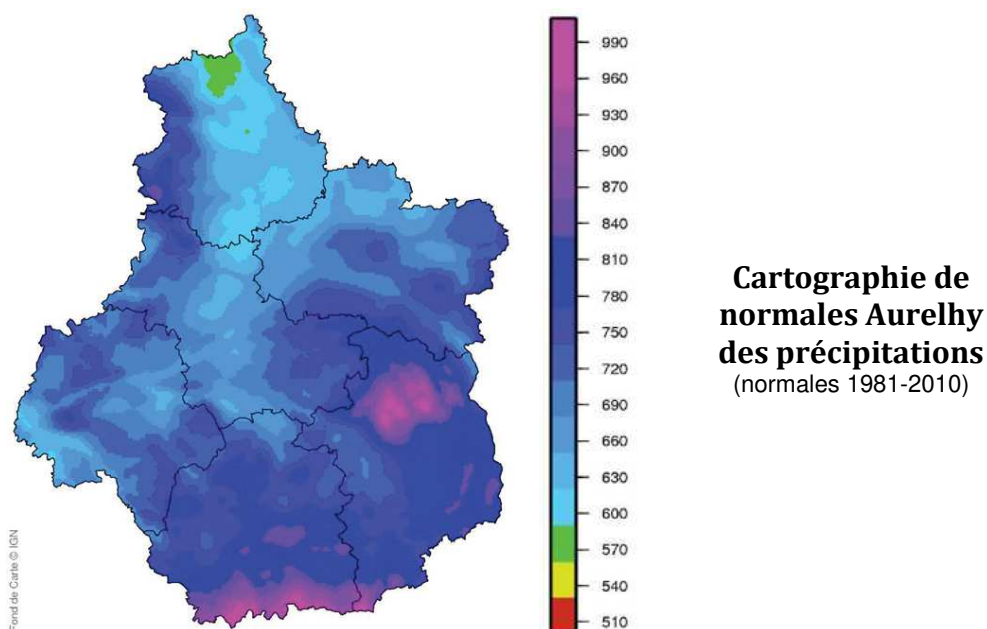
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A5 - Cumul annuel des pluies



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.)

- 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 également (Moisselin et al., 2002).



- Les précipitations régionales ne montrant pas d'évolutions importantes depuis 65 ans; la carte des normales des précipitations 1981-2010 (voir cartographie ci-dessus) qui semble indiqué des précipitations supérieures au sud-est, conservera sûrement ses 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 XX^{ème} siècle aux moyennes et hautes latitudes continentales de l'hémisphère nord (Houghton et al, 2001).

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A5 - 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^{ème} siècle.



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^{ème} siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, La Météorologie n° 38, 45-56.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A6 - Cumul saisonnier des pluies

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2023

Indicateur 1

Séries de 1959 à 2023 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
- Eté : Juin à Août
- Automne : Septembre à Novembre

Tendance linéaire sur la période disponible (courbe noire)

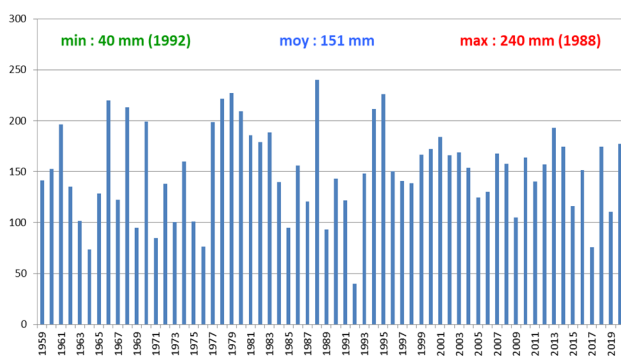
Cumul saisonnier minimum (en vert) – Cumul saisonnier maximum (en rouge)

Évolution observée à Chartres

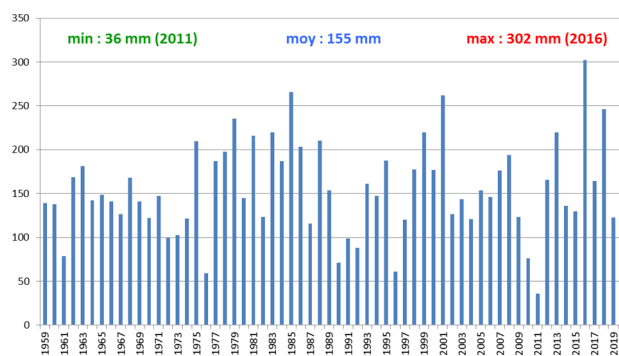
Seule la station d'Orléans a été présentée sous forme de graphique, les autres stations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

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

HIVER



PRINTEMPS



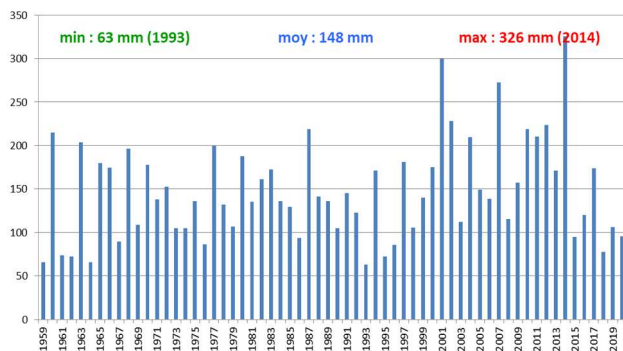
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



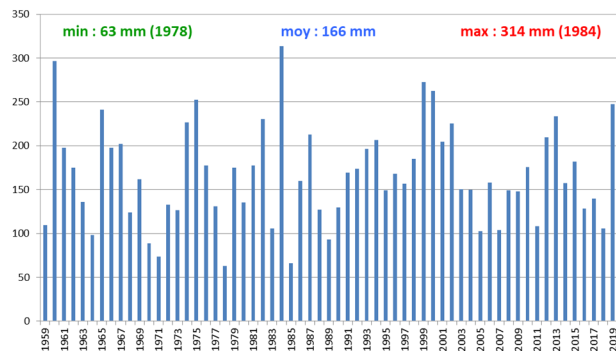
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A6 - Cumul saisonnier des pluies

ETE



AUTOMNE

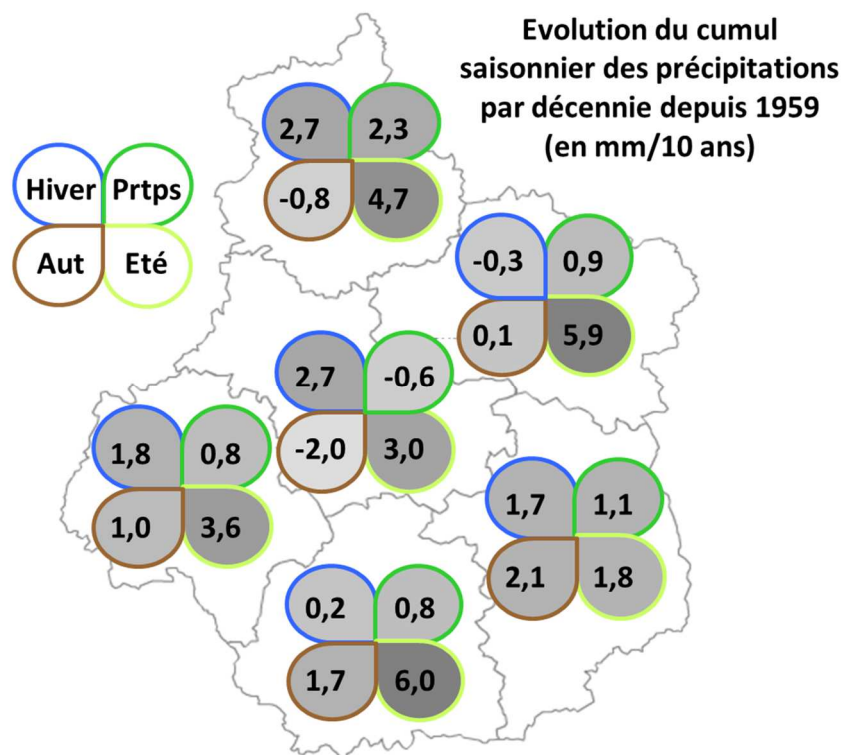


Analyse

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

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

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





A6 - Cumul saisonnier des pluies

Les observations saisonnières affinent l'interprétation de la tendance annuelle non significative des cumuls de précipitations. On note qu'aucune tendance n'est significative. Sans être significatif, on a une évolution du cumul des pluies en 65 ans de (moyenne des 6 stations départementales) :

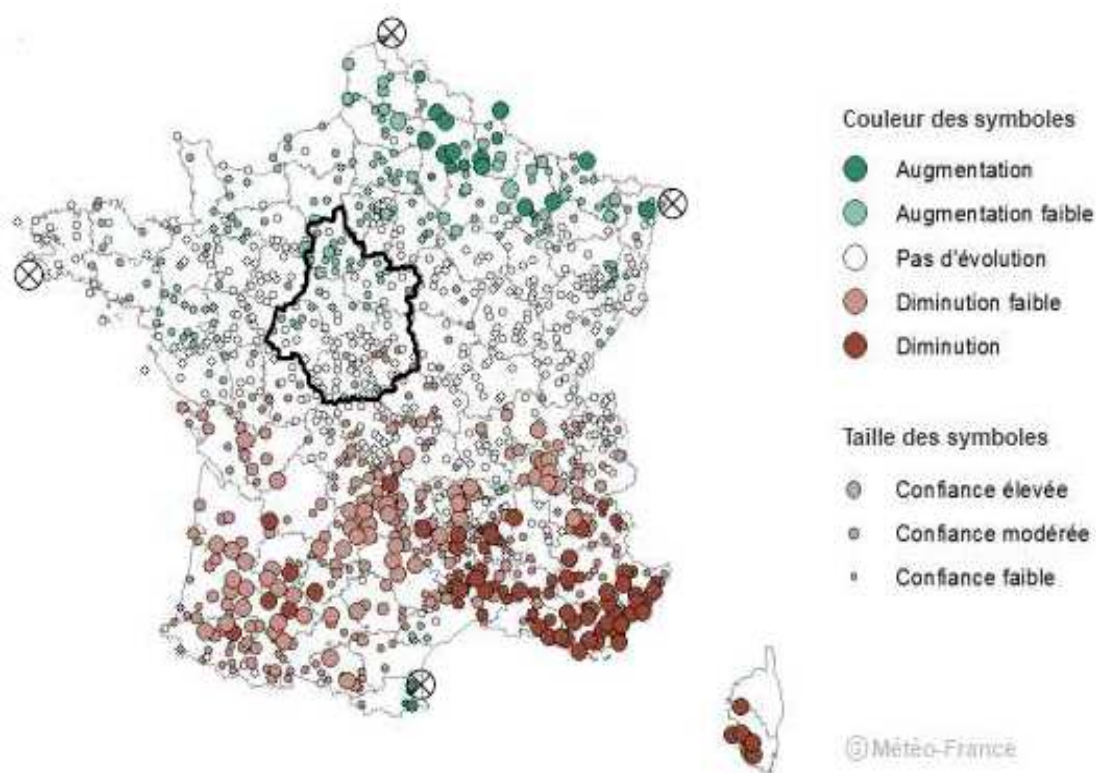
- + 4,2 mm/10 ans en **été**
- + 1,5 mm/10 ans en **hiver**
- + 0,9 mm/10 ans en au **printemps**
- + 0,4 mm/10 ans en **automne**

En cumulant ces 4 évolutions saisonnières (non significatives), on retombe sur l'évolution du cumul annuel à +7 mm/10 ans (non significatif). En définitive, quelle que soit la saison, il n'est pas possible de visualiser une tendance significative des pluies saisonnières.

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).

- 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 significative ($p < 0,1$) se situe en automne à Angers avec +12 mm par décennie.
- Concernant les précipitations hivernales, MétéoFrance a détecté une augmentation des précipitations au nord de la France et une diminution au sud de la France. La Région Centre Val-de-Loire se situe en zone intermédiaire ou aucune évolution franche n'a été détectée.



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



A6 - 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. L'évolution du cumul annuel de la saison estivale n'est pas significative, elle semble cependant augmenter (+ 4 mm/10 ans) très faiblement mais va à l'encontre des études publiées qui mentionnent plutôt une majorité de baisse des pluies estivales.

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.



A7 - Cumul mensuel des pluies

Nature et source des données

Données départementales et régionales homogénéisées fournies par Météo France de 1959 à 2020.

Indicateur 1

Séries de 1959 à 2020 sur 6 départements :

- 18 : Cher
- 28 : Eure-et-Loir
- 36 : Indre
- 37 : Indre-et-Loire
- 41 : Loir-et-Cher
- 45 : Loiret

Calcul de l'indicateur 1

Cumul mensuel des pluies journalières (diagramme bleu)

Cumul saisonnier minimum (en vert)

Cumul saisonnier maximum (en rouge)

Cumul saisonnier moyen (en bleu)

Évolution observée dans le département du Loiret

Seul le département du Loiret a été présenté sous forme de graphique, les autres départements sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

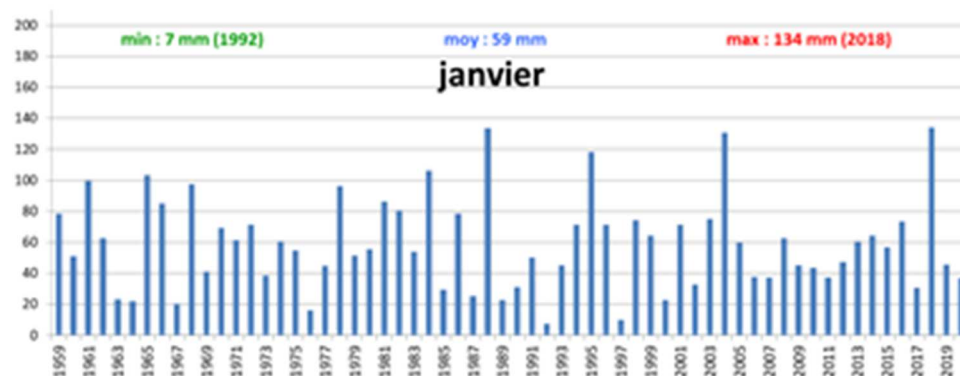


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

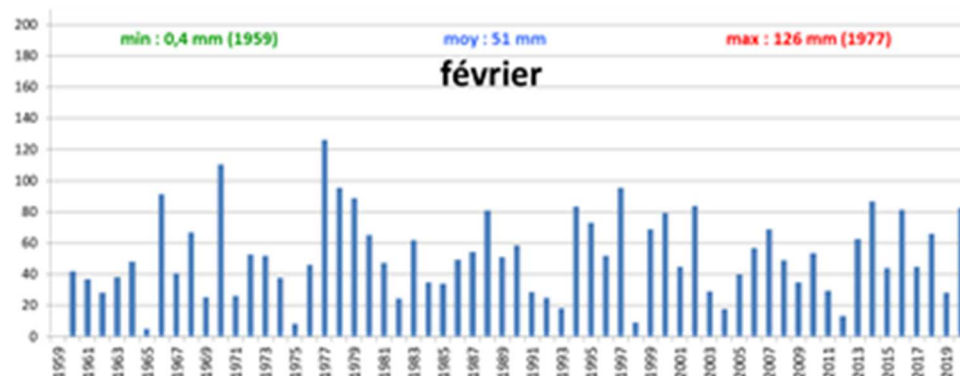
A7 - CUMUL MENSUEL DES PLUIES

Loiret

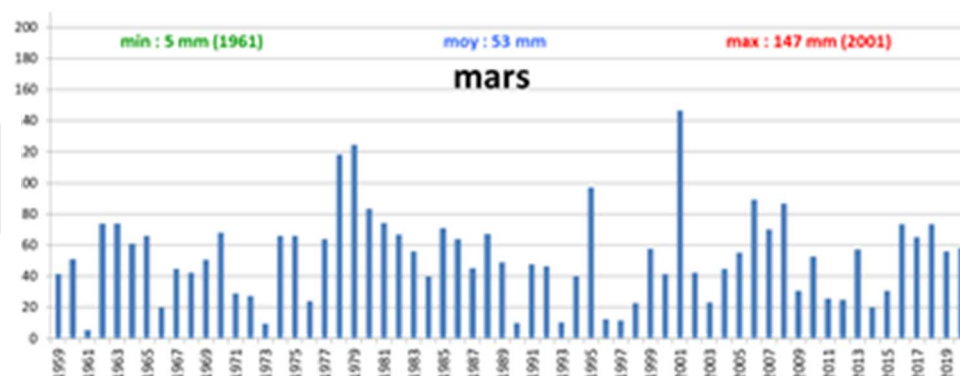
-0,8 mm/10 ans
(p=0,7)



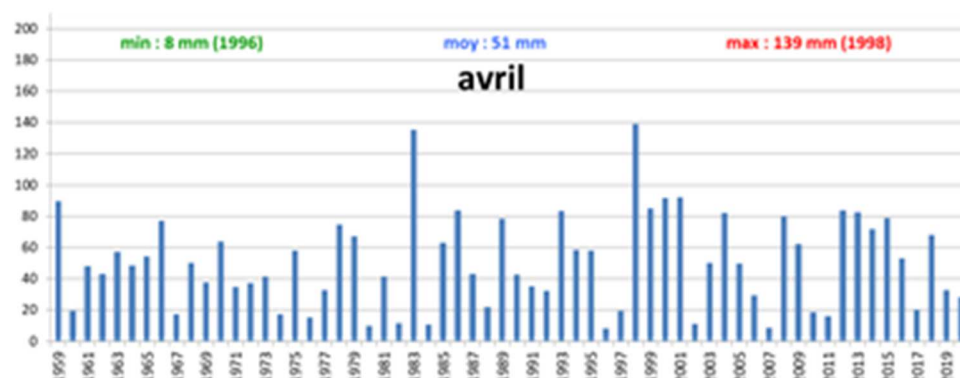
1,7 mm/10 ans
(p=0,4)



0,1 mm/10 ans
(p=1)



1,3 mm/10 ans
(p=0,5)



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

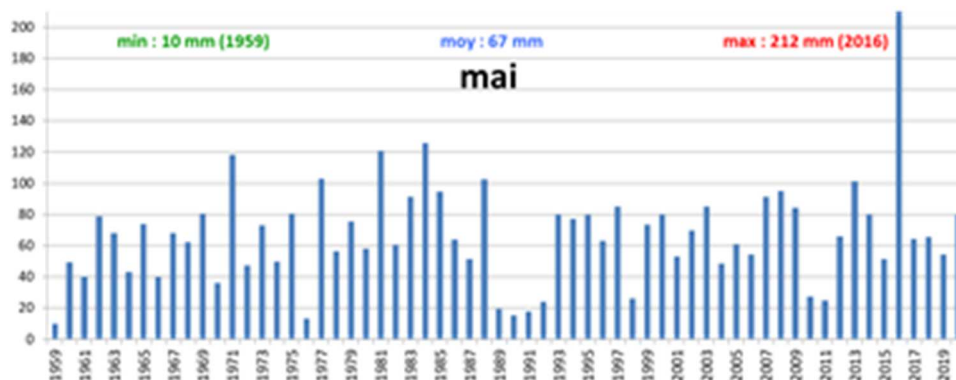


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

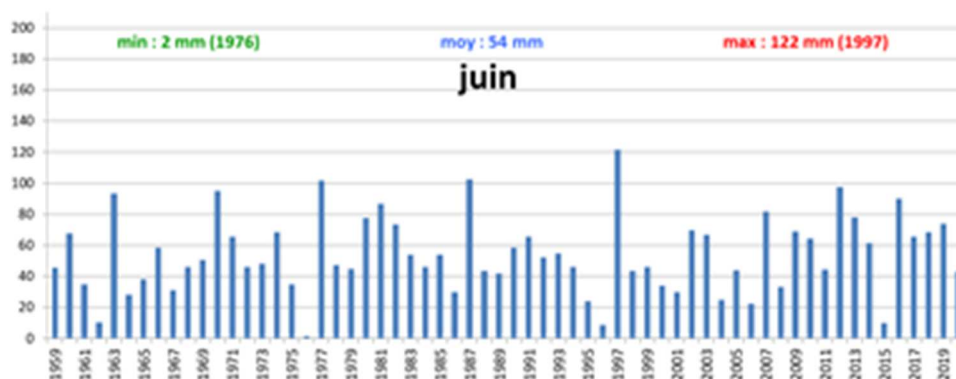
A7 - CUMUL MENSUEL DES PLUIES

Loiret

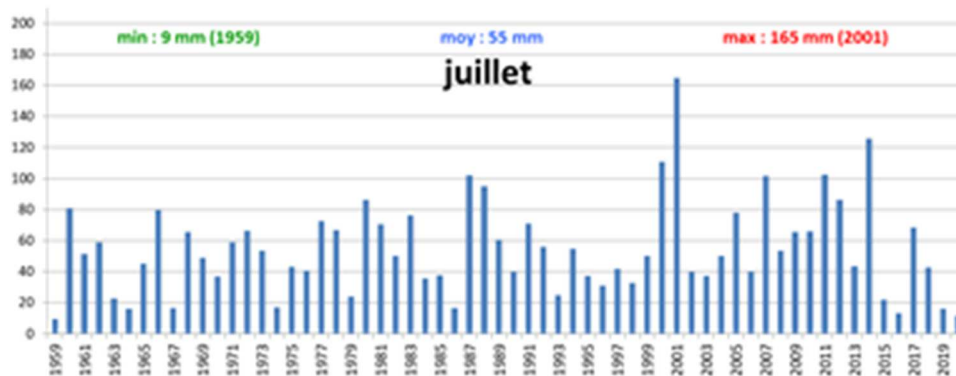
3,2 mm/10 ans
(p=0,2)



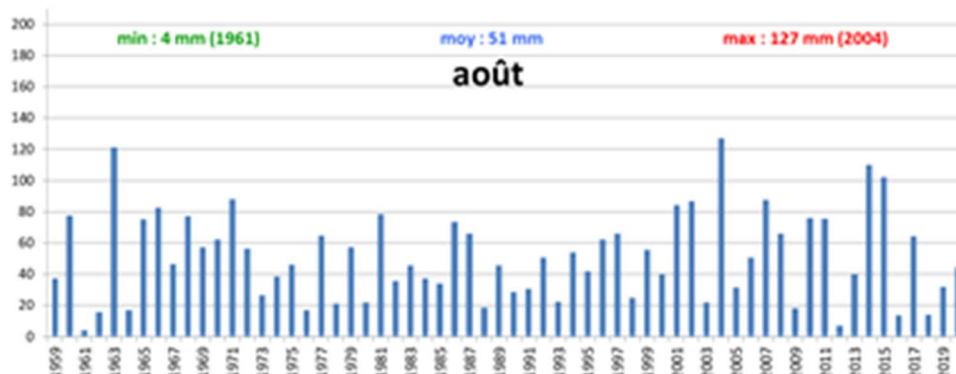
1,4 mm/10 ans
(p=0,4)



2,2 mm/10 ans
(p=0,3)



0,4 mm/10 ans
(p=0,8)



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

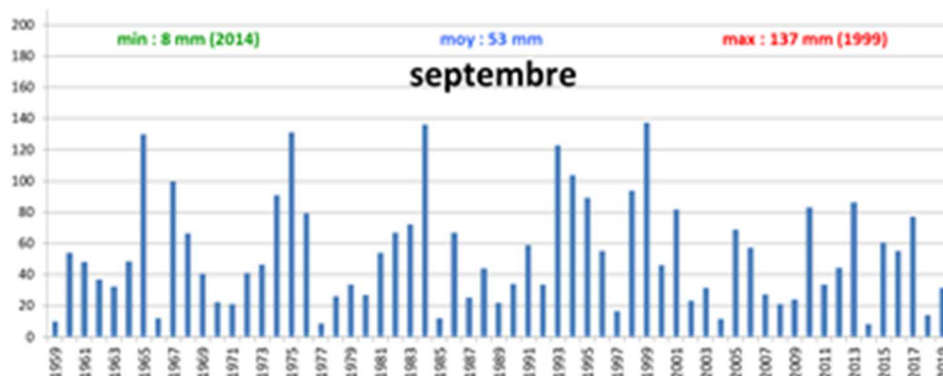


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

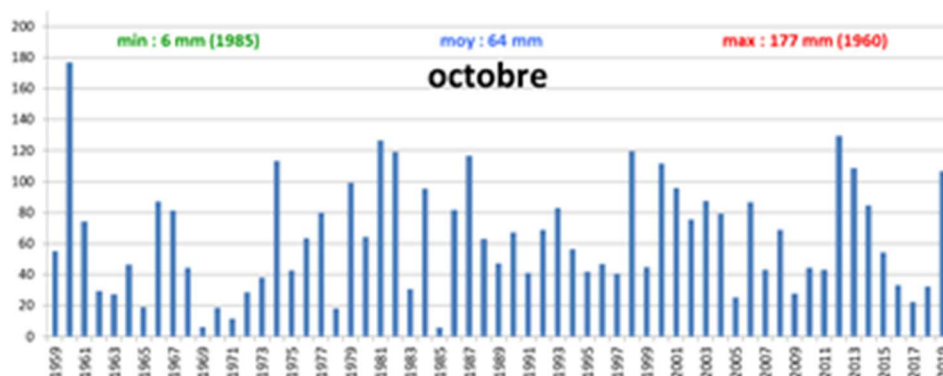
A7 - Cumul mensuel des pluies

Loiret

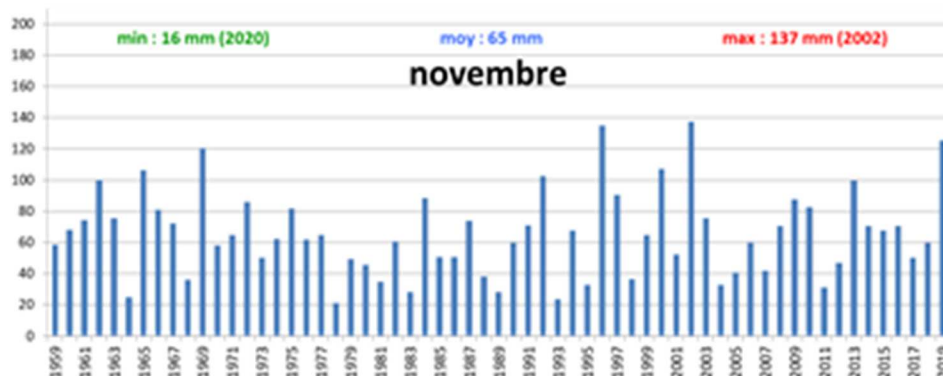
-0,7 mm/10 ans
(p=0,8)



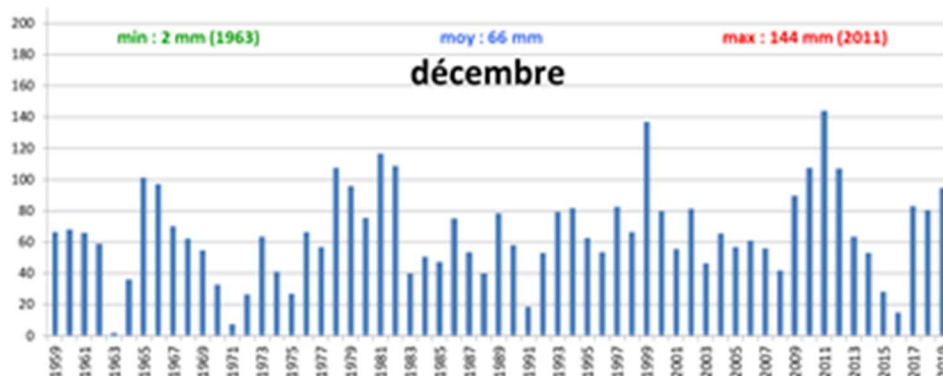
2,1 mm/10 ans
(p=0,4)



-0,2 mm/10 ans
(p=0,9)



3,7 mm/10 ans
(p=0,1)



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A7 - Cumul mensuel des pluies

Analyse

Analyse de la tendance linéaire sur la période disponible des 6 départements

Mois	18	28	36	37	41	45	Moyenne	Saisons
janvier	0,5 (NS)	-1 (NS)	1,5 (NS)	0 (NS)	0 (NS)	-0,8 (NS)	0,0	hiver
février	0,6 (NS)	0,9 (NS)	0,4 (NS)	0,2 (NS)	0,4 (NS)	1,7 (NS)	0,7	
mars	-0,6 (NS)	0,5 (NS)	-0,6 (NS)	-0,3 (NS)	0,1 (NS)	0,1 (NS)	-0,1	printemps
avril	2,7 (NS)	-0,3 (NS)	2 (NS)	0 (NS)	0,6 (NS)	1,3 (NS)	1,1	
mai	1,2 (NS)	1,6 (NS)	1 (NS)	0,7 (NS)	1,5 (NS)	3,2 (NS)	1,6	été
juin	0,5 (NS)	2,4 (NS)	2,1 (NS)	2 (NS)	1,2 (NS)	1,4 (NS)	1,6	
juillet	3,4 (NS)	0,4 (NS)	1,1 (NS)	1 (NS)	2,1 (NS)	2,2 (NS)	1,7	automne
août	-2 (NS)	-0,4 (NS)	-1,6 (NS)	-1,2 (NS)	-0,1 (NS)	0,4 (NS)	-0,8	
septembre	-2,1 (NS)	-2,7 (NS)	-2,5 (NS)	-2,1 (NS)	-2,5 (NS)	-0,7 (NS)	-2,1	hiver
octobre	2,7 (NS)	0,7 (NS)	3,6 (NS)	2,4 (NS)	2,8 (NS)	2,1 (NS)	2,4	
novembre	0,5 (NS)	-2,4 (NS)	-0,6 (NS)	-1,2 (NS)	-1 (NS)	-0,2 (NS)	-0,8	
décembre	2,6 (NS)	2,6 (NS)	2,3 (NS)	2,4 (NS)	3,1 (NS)	3,7 (NS)	2,8	

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

Les observations mensuelles affinent l'interprétation des tendances saisonnières non significatives des cumuls de précipitations. On note qu'aucune tendance n'est significative. Seul le département du Loiret, au mois de décembre, se rapproche d'une tendance significative ($p=0,08$). Sans être significatif, on a une évolution du cumul des pluies en 65 ans de (moyenne des 6 départements) :

- + 0,01 mm/10 ans en **janvier**
- + 0,7 mm/10 ans en au **février**
- 0,1 mm/10 ans en **mars**
- +1,1 mm/10 ans en **avril**
- + 1,6 mm/10 ans en **mai**
- + 1,6 mm/10 ans en **juin**
- + 1,7 mm/10 ans en **juillet**
- 0,8 mm/10 ans en **août**
- 2,1 mm/10 ans en **septembre**
- + 2,4 mm/10 ans en **octobre**
- 0,8 mm/10 ans en **novembre**
- + 2,8 mm/10 ans en **décembre**

Pour mémoire, le cumul estival des pluies a augmenté de 4 mm/10 ans (NS) ; aucun mois estival ne se distingue pour expliquer cette hausse relative car les mois de mai, juin et juillet semble évoluer de la même façon. Par contre, le cumul automnal qui évoluait peu (-0,5 mm/10 ans) semble cacher une évolution différente entre le début de l'automne (août et septembre) et la fin de l'automne (octobre). Le mois de décembre est le mois qui aurait eu l'évolution de son cumul annuel qui aurait augmenté le plus même si ces tendances ne sont pas significatives. Enfin, la fin de l'hiver et le début de printemps ne semblent pas avoir évolués durant ces soixante dernières années.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A7 - Cumul mensuel des pluies



Indicateur 2

Séries de 1959 à 2020 sur la région Centre Val-de-Loire.

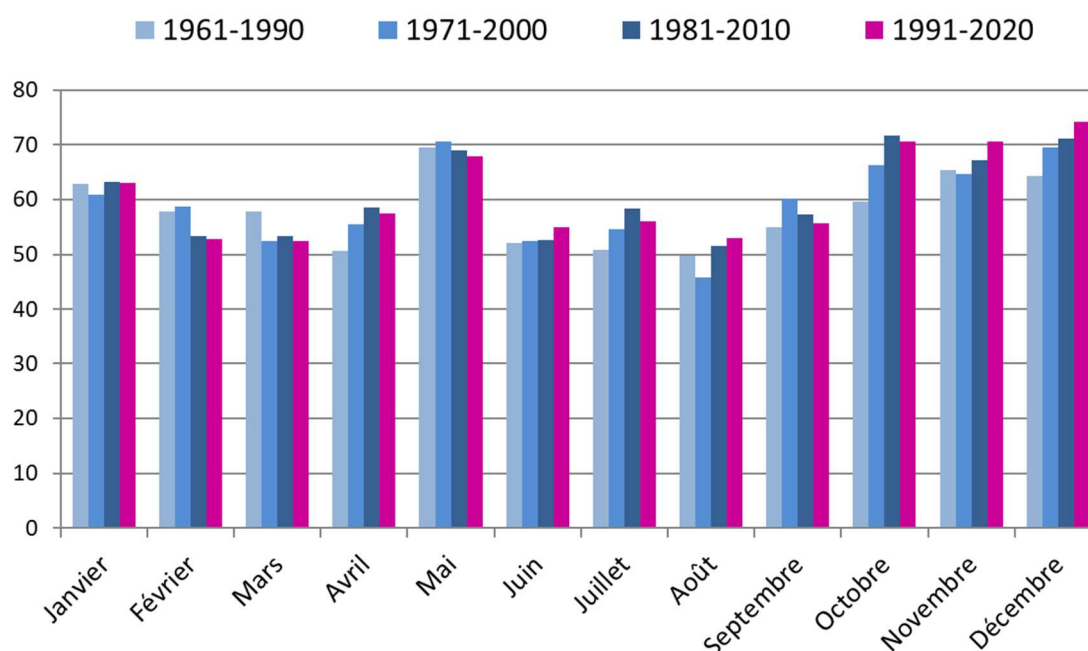


Calcul de l'indicateur 1

Cumul mensuel des pluies en moyenne trentenaire glissante (diagramme bleu clair : 1961-1990 ; diagramme bleu : 1971-2000 ; diagramme bleu foncé : 1981-2010 ; diagramme violet : 1991-2020).



Évolution observée en région Centre Val-de-Loire



Evolution des cumuls mensuels des pluies en moyenne trentenaire glissante

On retrouve les résultats de l'indicateur précédent sous forme plus visuelle. Aucune tendance n'étant significative, il est difficile de conclure sur des évolutions mensuelles depuis 60 ans.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A7 - Cumul mensuel 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 mensuel des pluies en région Centre Val-de-Loire. Même si elle n'est pas significative, l'évolution à la baisse du cumul mensuel d'août et septembre est la plus inquiétante car elle coïncide avec des augmentations de températures importantes.



Pour aller plus loin

Il s'agit ici de cumul mensuel de pluie qui cache peut-être des variations plus localisées ; il serait intéressant d'étudier le nombre d'épisodes pluvieux, les pluies intenses, le nombre de jours consécutifs sans pluie...



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.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A8 - 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

Chaîne SIM modélisée sur les 6 départements de la Région Centre Val-de-Loire

Calcul de l'indicateur 1

Cumul sur l'année des évapotranspirations potentielles.
Tendance linéaire sur la période 1991 – 2023 (courbe noire)
Moyenne trentenaire du cumul annuel d'ETP (courbe noire : 1991-2020)

Préambule

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 potentielle (ETP), difficile à calculer à l'échelle d'une exploitation ou d'un département, va être modélisée en fonction de nombreux paramètres (température, humidité, pression atmosphérique, latitude, altitude, durée d'ensoleillement et force du vent...). L'ETP va donc 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'ETR¹ (évapotranspiration réelle) 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'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 est donc en lien étroit avec l'augmentation des températures.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



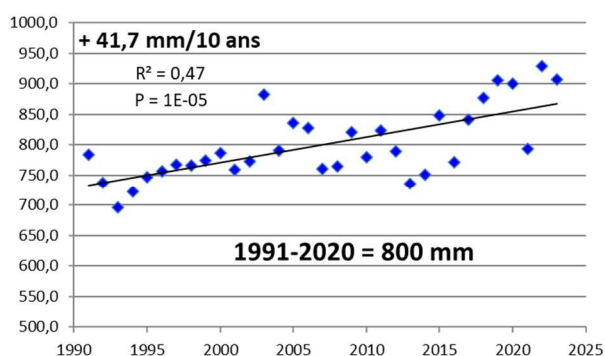
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



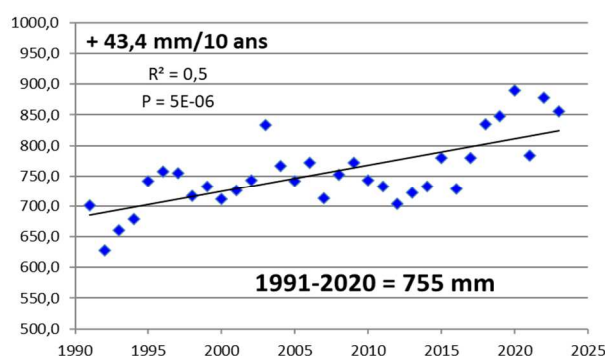
Évolution observée dans les 6 départements de la Région Centre Val-de-Loire

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

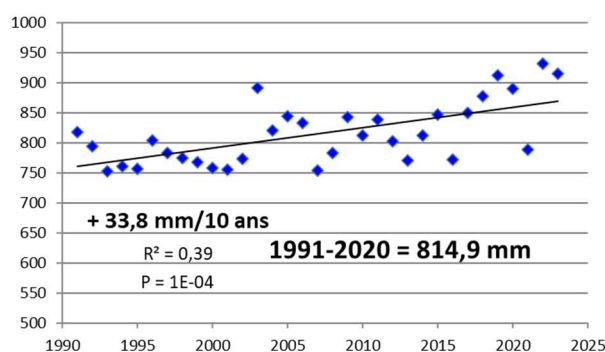
CHER



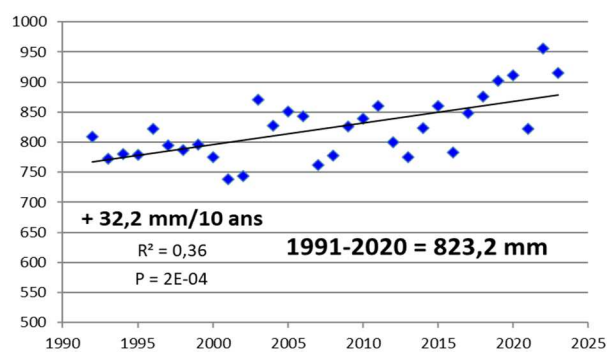
EURE-ET-LOIR



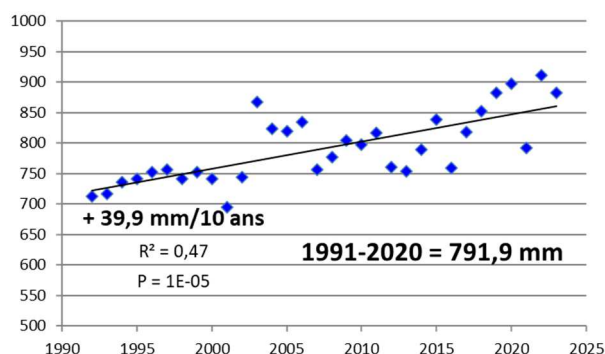
INDRE



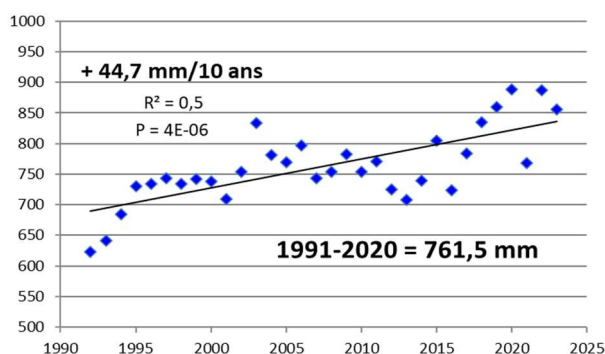
INDRE-ET-LOIRE



LOIR-ET-CHER



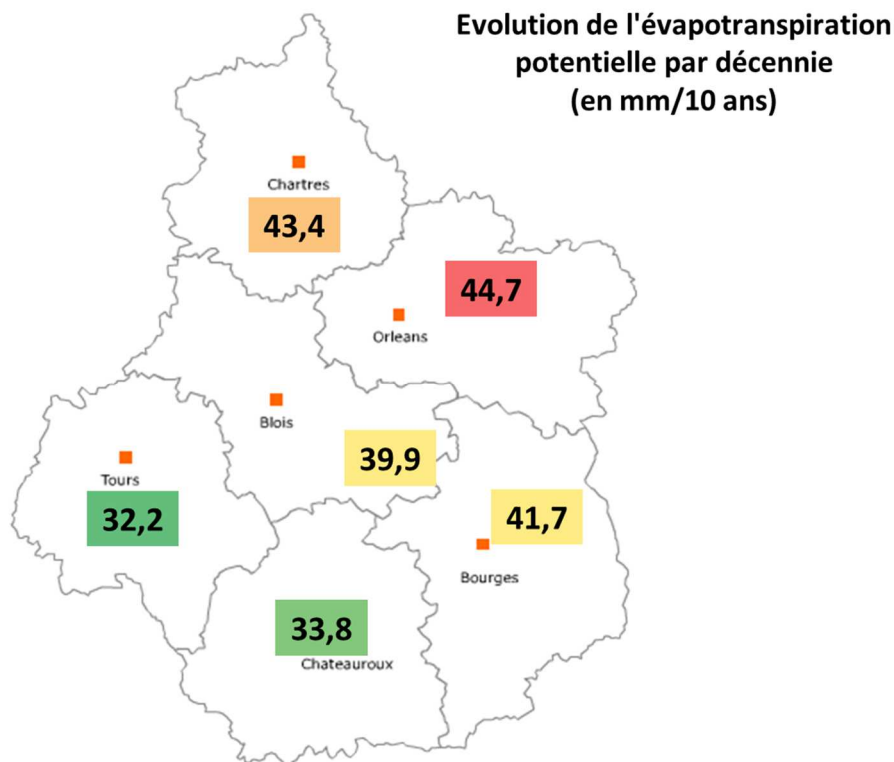
LOIRET



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE



Indicateur 2

Chaîne SIM modélisée sur la Région Centre Val-de-Loire



Calcul de l'indicateur 2

Cumul sur l'année des évapotranspirations potentielles.
Tendance linéaire sur la période 1959 – 2020 (courbe noire)
Moyenne trentenaire du cumul annuel d'ETP (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010 ; courbe noire : 1991-2020)



Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

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



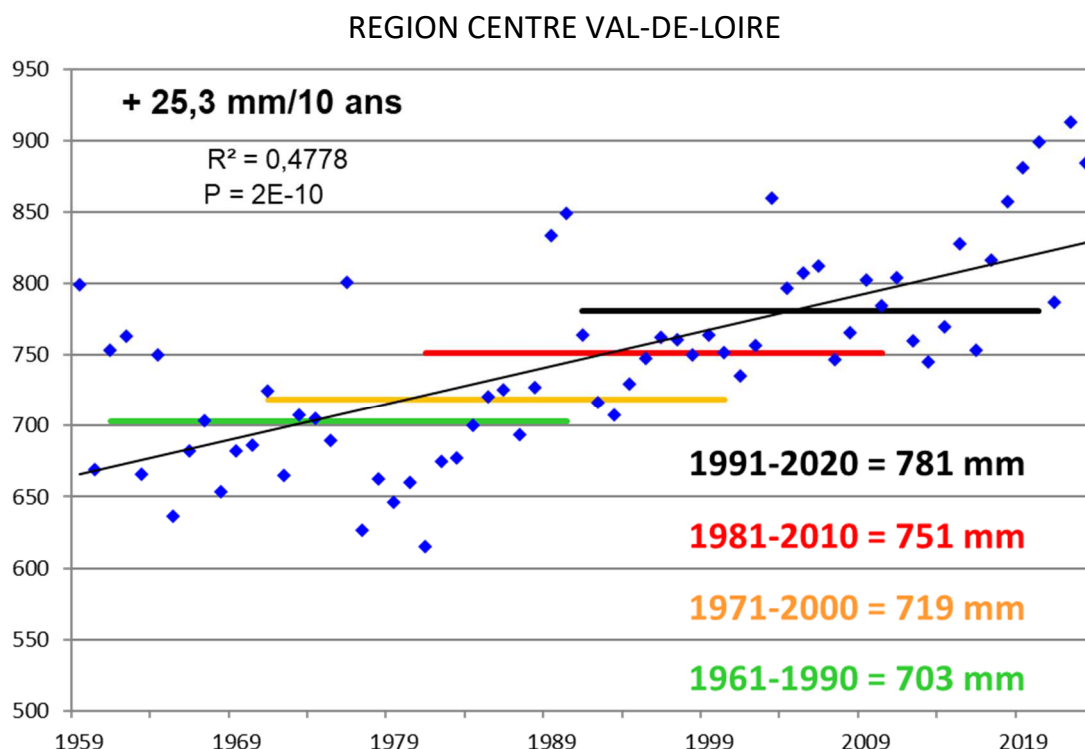
Analyse

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A8 - Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)



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

- la tendance linéaire est de **25,3 mm par décennie**, soit + 152 mm en 60 ans. Cette tendance est très hautement significative car $p = 2.10^{-8}$, avec de fortes variations interannuelles ($R^2 = 0,3$).
- On note que la tendance régionale (indicateur 2) est beaucoup plus faible que les tendances départementales (indicateur 1), mais la série temporelle n'est pas comparable (33 années pour les ETP départementales et le double pour la série régionale). L'ETP se calculant avec de nombreux paramètres, Météo France n'a pas le même degré de certitude pour les ETP calculés avant 1991 ; ces tendances linéaires sont donc à relativiser.
- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple, **+ 38 mm par décennie** pour le département de la Vienne en 58 ans, **+ 20 mm par décennie** pour la ville du Mans en 44 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).



A8 - Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)



A retenir

Depuis 1959, l'évapotranspiration potentielle annuelle de la région augmente de +25 mm par décennie. Il semble que depuis 1991, cette évolution est beaucoup plus rapide puisque la moyenne des 6 départements est à +39 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 réelle¹ des plantes durant les cycles culturaux.

¹ : 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>

FEDOU, LEVRAULT, ORACLE Poitou Charentes, 2018, <https://deux-sevres.chambre-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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A9 - 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

Chaîne SIM modélisée sur les 6 départements de la Région Centre Val-de-Loire

📊 Calcul de l'indicateur 1

Cumul sur 3 mois des évapotranspirations potentielles depuis 1991.

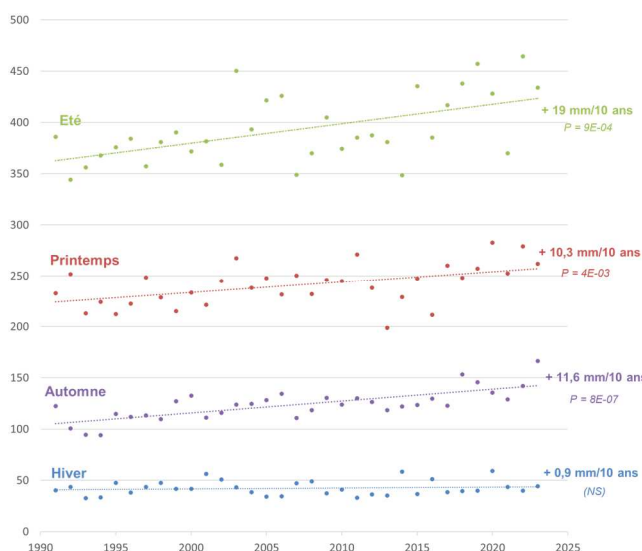
- Hiver : Décembre à Février (en bleu)
- Printemps : Mars à Mai (en rouge)
- Été : Juin à Août (en vert)
- Automne : Septembre à Novembre (en violet)

📈 Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

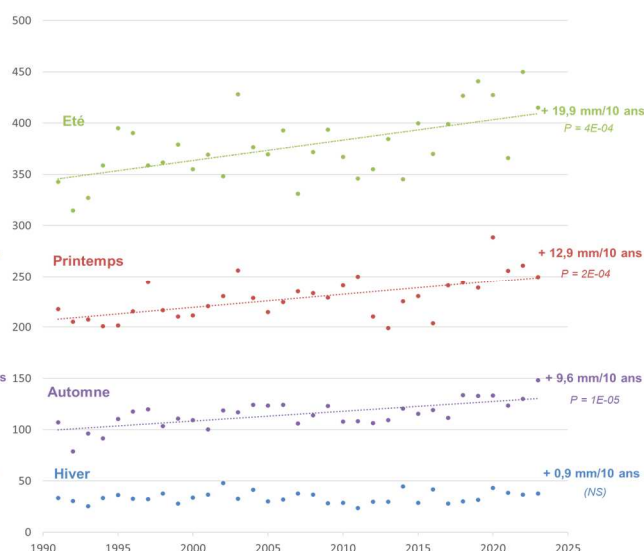
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Evapotranspiration potentielle en mm

📈 Analyse

CHER



EURE-ET-LOIR

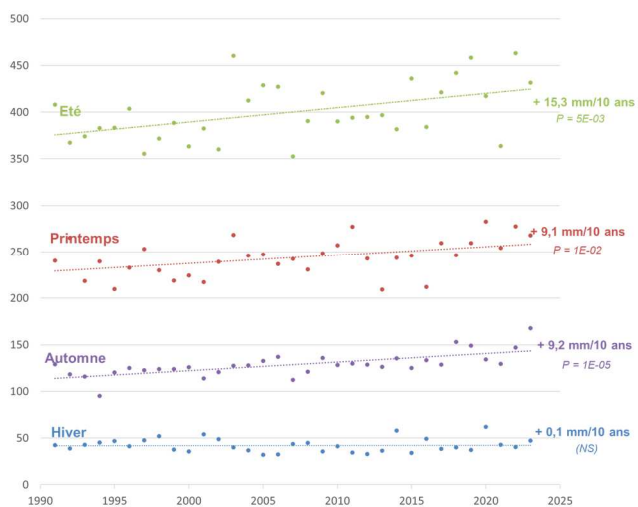


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

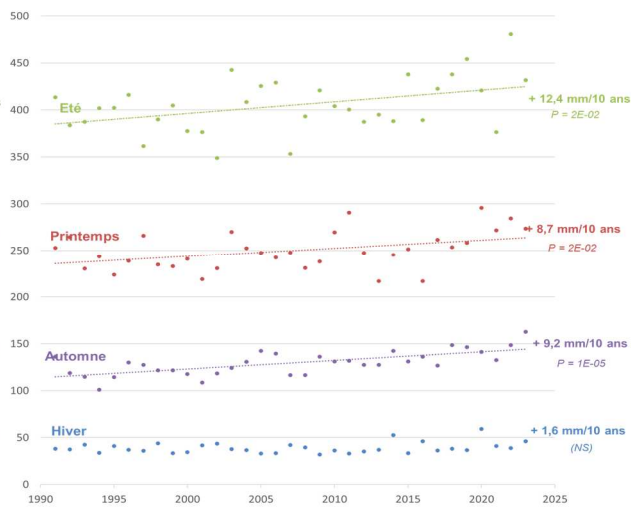


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

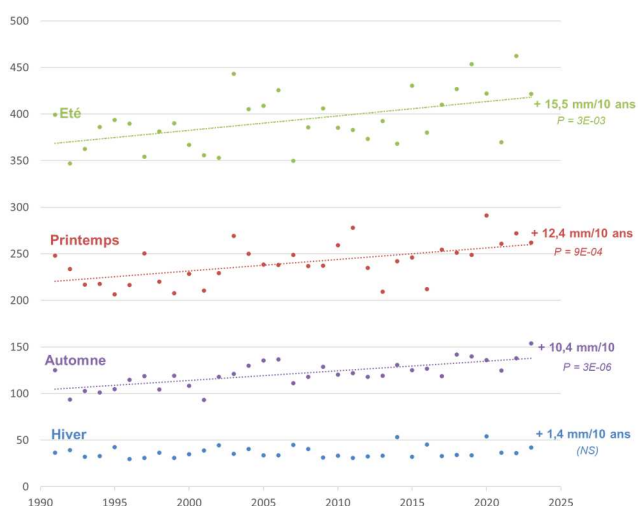
INDRE



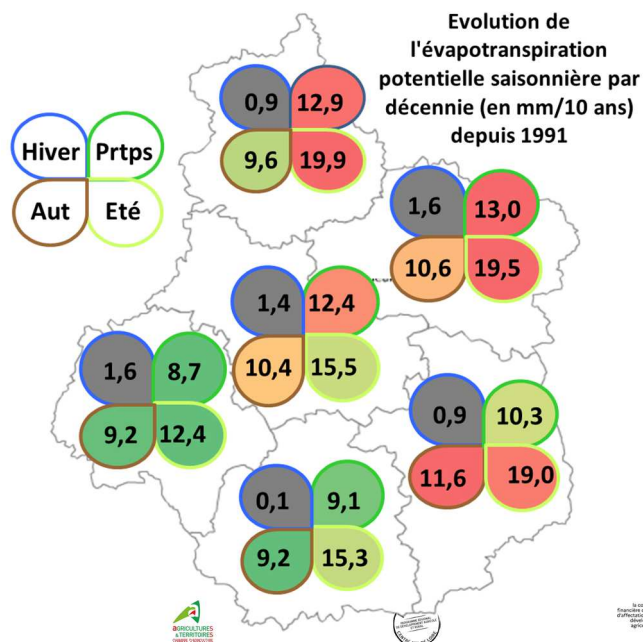
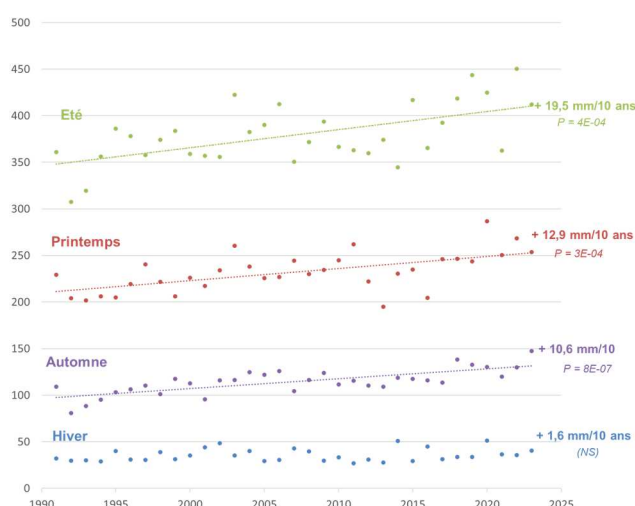
INDRE-ET-LOIRE



LOIR-ET-CHER



LOIRET



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



Indicateur 2

Chaîne SIM modélisée sur la Région Centre Val-de-Loire



Calcul de l'indicateur 2

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)



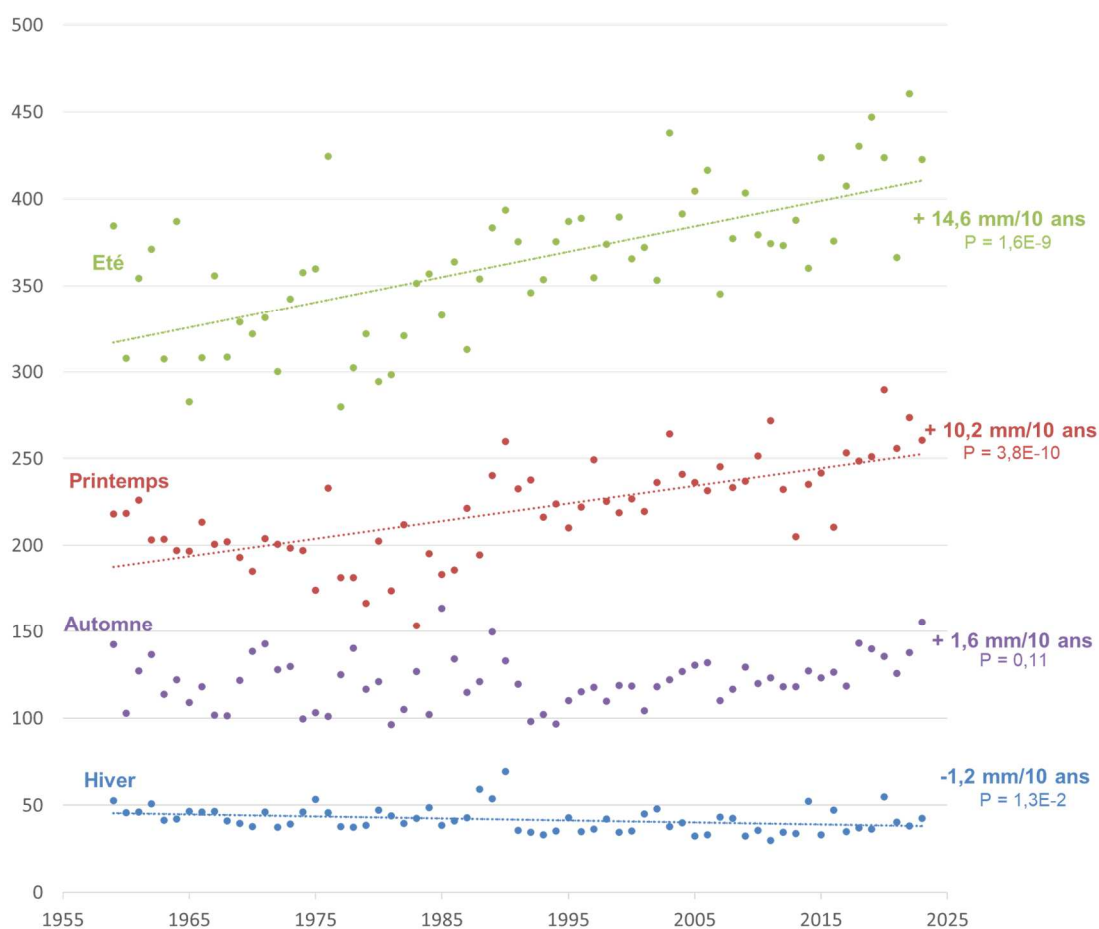
Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

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



Analyse

REGION CENTRE VAL-DE-LOIRE





A9 - Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)

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 :
 - 1,2 mm par décennie en hiver, soit - 7 mm en 60 ans ;
 - + 10,2 mm par décennie au printemps, soit + 61 mm en 60 ans ;
 - + 14,6 mm par décennie en été, soit + 88 mm en 60 ans ;
 - + 1,6 mm par décennie en automne (NS), soit + 9 mm en 60 ans ;
- L'été et le printemps montrent une tendance significative à la hausse mais cette augmentation est plus marquée en été ; l'automne n'est pas significatif ; l'hiver est en très légère baisse.
- De fortes variations des évapotranspirations potentielles d'une année à l'autre sont présentes ($R^2 = 0,3$).

La tendance à l'augmentation annuelle de l'ETP en Région Centre Val-de-Loire (+ 25 mm/10 ans) s'explique majoritairement par la saison estivale (expliquant plus de la moitié de l'augmentation annuelle) suivi de près par le printemps. L'évolution de l'ETP des 2 autres saisons (automne et hiver) semble moins clairement établi (moins de significativité).

On retrouve la différence entre l'évolution de la tendance régionale (indicateur 2) qui est beaucoup plus faible que l'évolution de la tendance des 4 saisons départementales (indicateur 1), mais la série temporelle n'est pas comparable (33 années pour les ETP départementales et le double pour la série régionale). L'ETP se calculant avec de nombreux paramètres, Météo France n'a pas le même degré de certitude pour les ETP calculés avant 1991 ; ces tendances linéaires sont donc à relativiser.

En faisant le parallèle avec une relative stabilité des précipitations, cette augmentation de l'évapotranspiration implique donc un durcissement des conditions hydriques estivales et printanières.

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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatique



A retenir

Depuis 1959, l'augmentation annuelle de l'ETP (+25 mm/10 ans) est beaucoup plus marquée en été (+15 mm/10 ans) et au printemps (+10 mm/10 ans) que les 2 autres saisons. Il semble que depuis 1991, cette évolution annuelle est beaucoup plus rapide puisque la moyenne des 6 départements est à +39 mm par décennie, plus marqué en été (+17 mm/10 ans), au printemps (+11 mm/10 ans) et en automne (+10 mm/10 ans).

Du fait de la relative stabilité des précipitations, cela implique un durcissement des conditions hydriques estivales et printanières.



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.



Pour en savoir plus

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

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A10 - Contenu en eau des sols

Nature et source des données

On utilise des données issues de la chaîne d'analyse spatiale du bilan hydrique « SAFRAN-ISBA MODCOU » (SIM). La chaîne modélise les indicateurs sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur chaque département.

Données fournies par Météo France.

Indicateur 1 : Moyenne annuelle du contenu en eau des sols

Séries de 1959 à 2023 sur 6 départements :

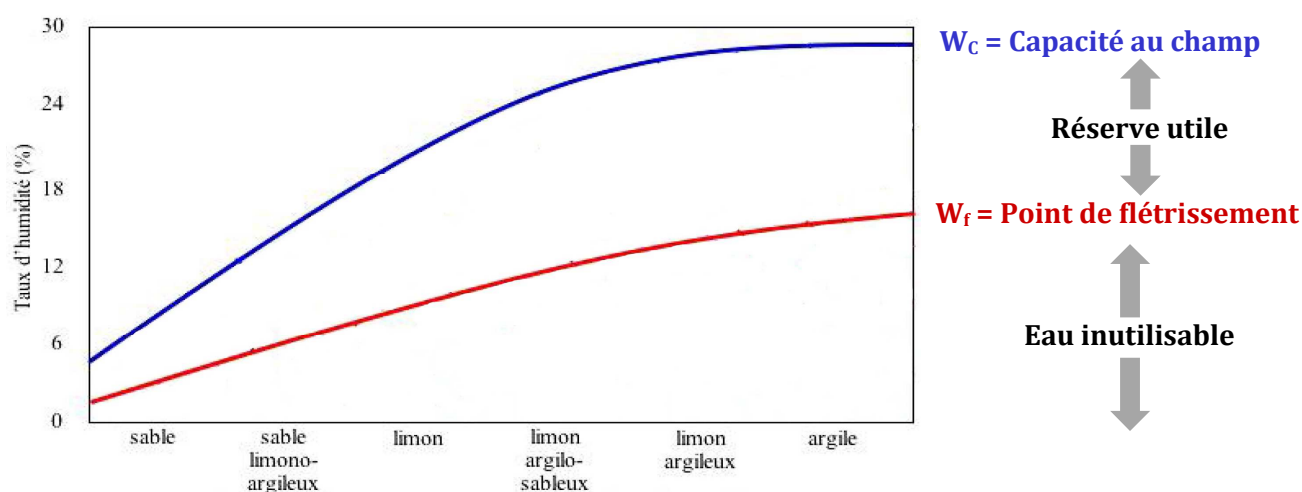
- 18 : Cher
- 28 : Eure-et-Loir
- 36 : Indre
- 37 : Indre-et-Loire
- 41 : Loir-et-Cher
- 45 : Loiret

A10 - Contenu en eau des sols

Calcul de l'indicateur 1

- Moyenne annuelle du contenu en eau des sols journalier (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2020 (courbe noire) si significativité
- Moyenne trentenaire du contenu en eau des sols (droite verte : 1961-1990 ; droite orange : 1971-2000 ; droite rouge : 1981-2010 ; droite noire : 1991-2020)

Rappel sur la réserve en eau du sol :



La capacité au champ est la capacité de rétention maximale en eau du sol alors que la réserve utile du sol correspond à l'eau utilisable par la plante.

Lorsque la RU est épuisée, on est au point de flétrissement, la plante ne peut alors plus puiser l'eau. Sous ce point de flétrissement (propre à chaque plante et à son volume d'enracinement), l'eau est inutilisable pour la plante.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

On peut exprimer l'humidité du sol à partir du SWI (Soil Wetness Index en anglais). Le SWI représente pour une plante le ratio entre le contenu en eau disponible dans le sol un jour donné et sa valeur maximum.

$$SWI = \frac{W - W_f}{W_c - W_f}$$

Avec :

- W le contenu en eau du sol à une date donnée,
- Wf le contenu en eau au point de flétrissement,
- Wc le contenu en eau du sol à la capacité au champ.

Le SWI varie principalement entre les valeurs 0 (sol extrêmement sec si W = Wf) et 1 (sol extrêmement humide si W = Wc). En dessous de 0,5 un sol est considéré comme sec et au-dessus de 0,8 comme très humide.

En abscisse : Années

En ordonnée : Contenu en eau des sols en SWI

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



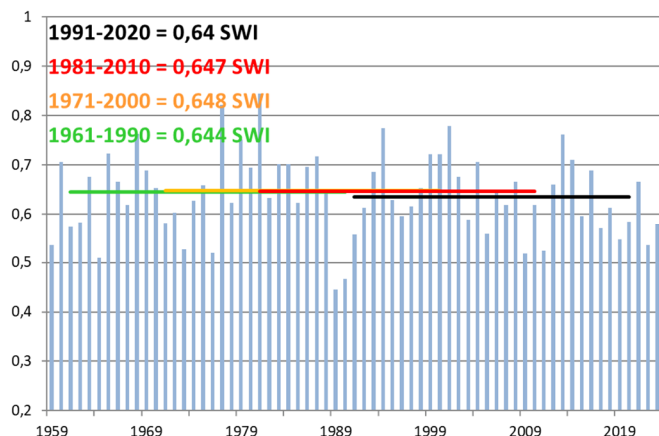
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A10 - Contenu en eau des sols

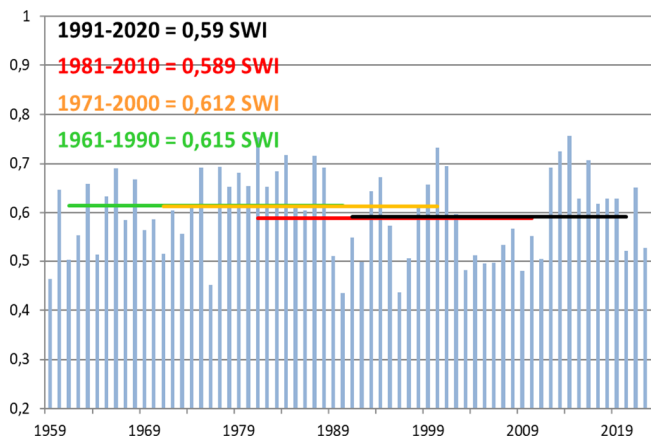


Évolution observée

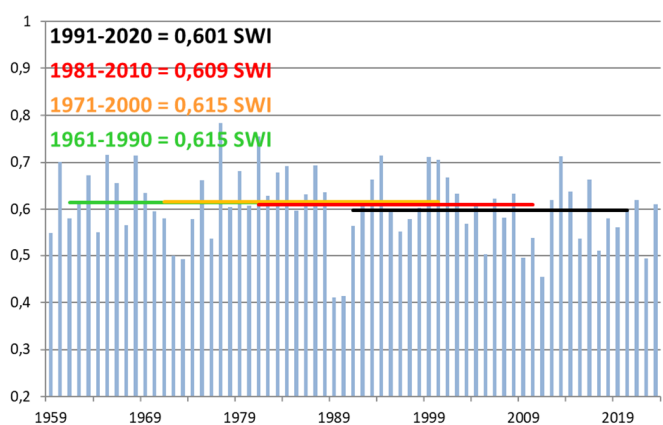
Cher (18)



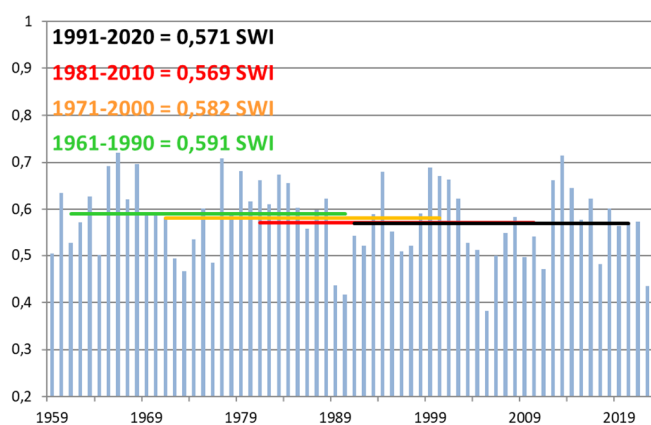
Eure-et-Loir (28)



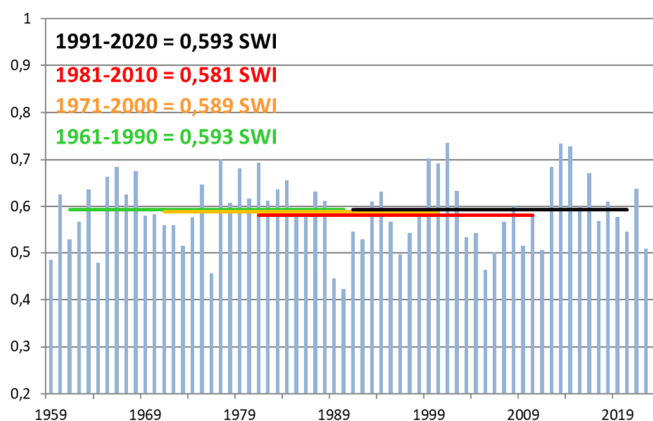
Indre (36)



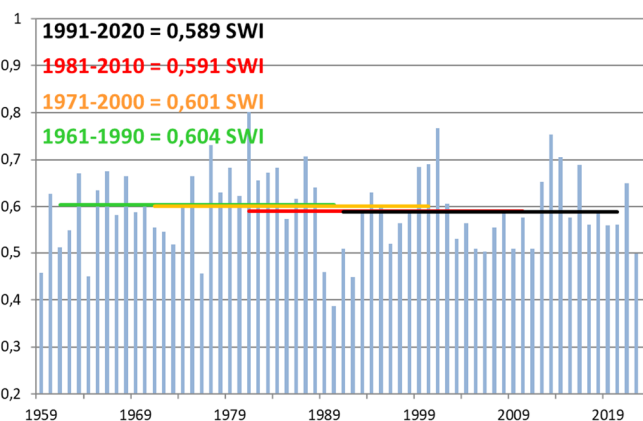
Indre-et-Loire (37)



Loir-et-Cher (41)



Loiret (45)



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A10 - Contenu en eau des sols

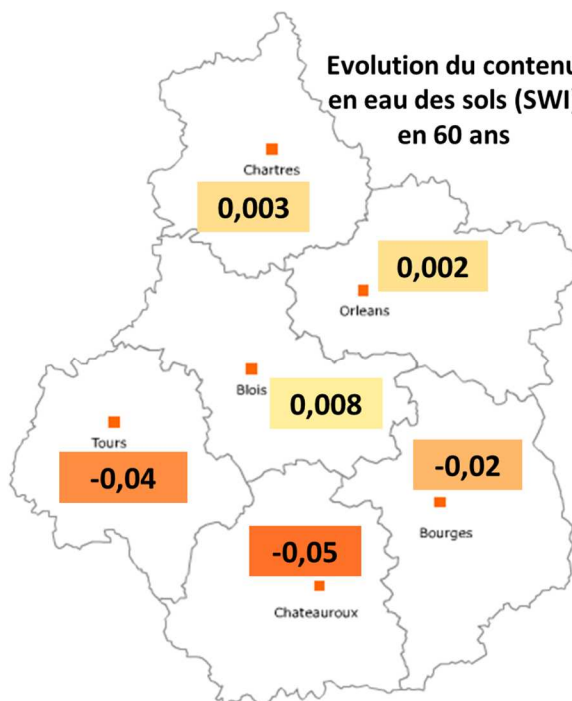
Dép.	Zone d'études	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution °C /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Cher	1959	65	-0,004	0,5	non significative	0,008
28	Eure-et-Loir	1959	65	0,0005	0,9	non significative	0,0001
36	Indre	1959	65	-0,008	0,1	non significative	0,035
37	Indre-et-Loire	1959	65	-0,007	0,2	non significative	0,025
41	Loir-et-Cher	1959	65	0,001	0,8	non significative	0,001
45	Loiret	1959	65	0,0003	1,0	non significative	0,0001
CVL	Centre Val-de-Loire	1959	65	-0,003	0,6	non significative	0,005

L'évolution du contenu en eau des sols moyen depuis 65 ans ne montre aucune tendance significative :

- -0,004 SWI par décennie dans le Cher
- 0,0005 SWI par décennie dans l'Eure-et-Loir
- -0,008 SWI par décennie dans l'Indre
- -0,007 SWI par décennie dans l'Indre-et-Loire
- 0,001 SWI par décennie dans le Loir-et-Cher
- 0,0003 SWI par décennie dans le Loiret

Même si aucune tendance n'est significative, il semblerait que le contenu en eau des sols du sud de la région ait diminué plus vite que le nord de la région.

L'évolution du contenu en eau des sols de la région Centre n'est également pas significative avec une diminution de -0,003 SWI par décennie.



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A10 - Contenu en eau des sols



Indicateur 2 : Moyenne saisonnière du contenu en eau des sols

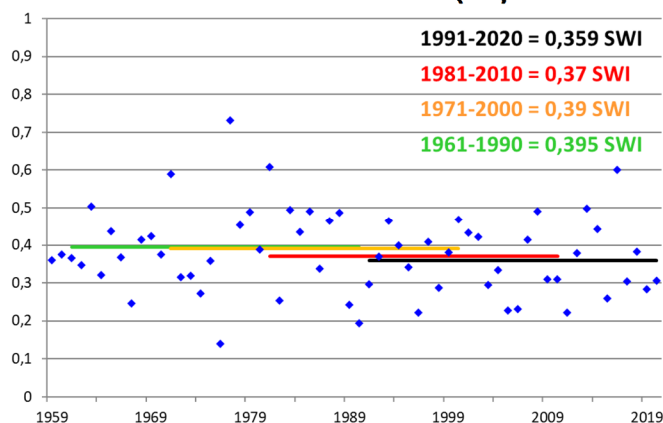
Séries de 1959 à 2023 sur 6 départements :

- 18 : Cher
- 28 : Eure-et-Loir
- 36 : Indre
- 37 : Indre-et-Loire
- 41 : Loir-et-Cher
- 45 : Loiret

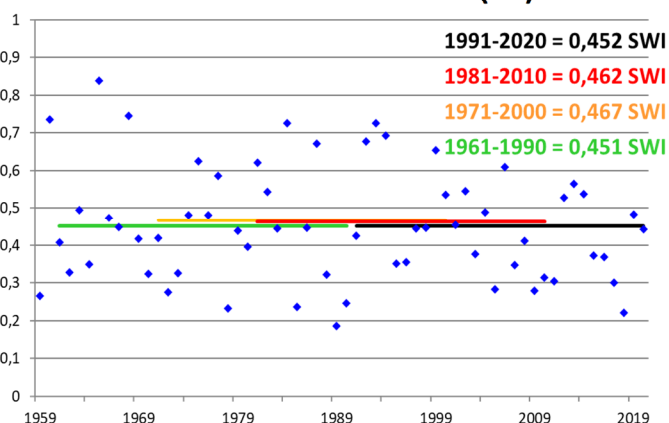


Évolution observée à Châteauroux Déols (36)

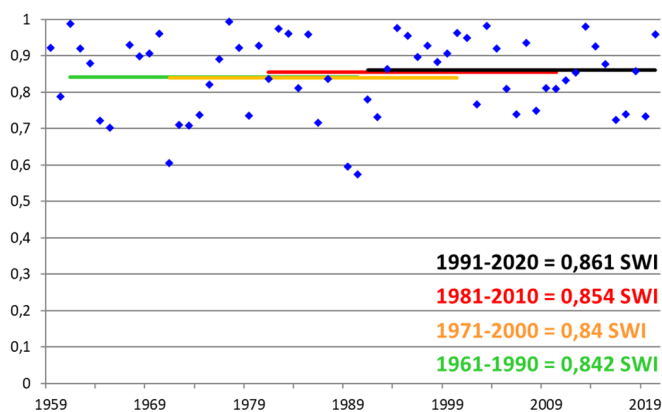
Été dans l'Indre (36)



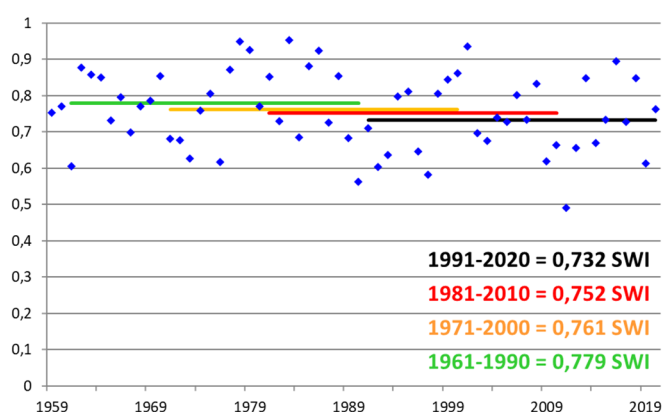
Automne dans l'Indre (36)



Hiver dans l'Indre (36)



Printemps dans l'Indre (36)



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A10 - Contenu en eau des sols

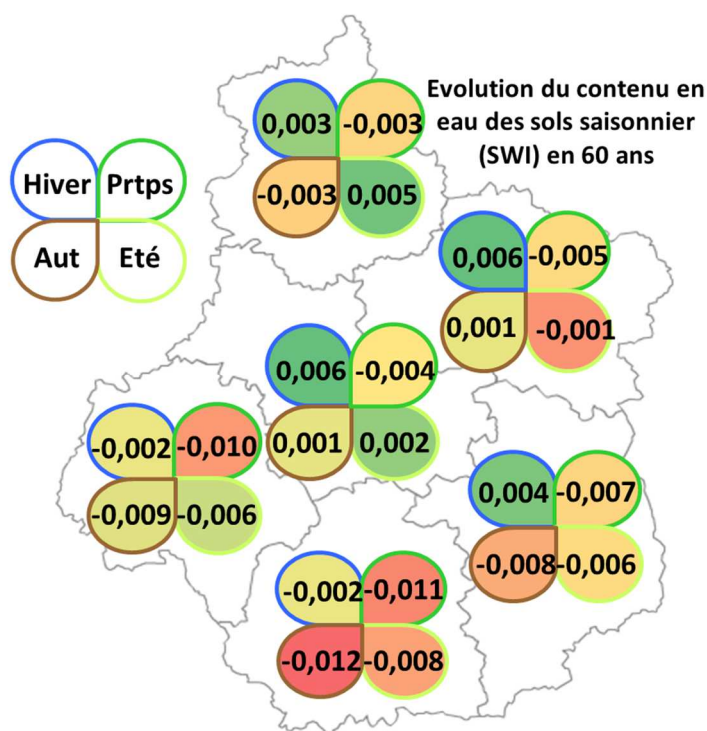
	Cher (18)	Eure-et-Loir (28)	Indre (36)	Indre-et-Loire (37)	Loir-et-Cher (41)	Loiret (45)
Hiver	0,004 (NS)	0,003 (NS)	-0,002 (NS)	-0,002 (NS)	0,006 (NS)	0,006 (NS)
Printemps	-0,007 (NS)	-0,003 (NS)	-0,011 (NS)	-0,010 (NS)	-0,004 (NS)	-0,005 (NS)
Eté	-0,006 (NS)	0,005 (NS)	-0,008 (NS)	-0,006 (NS)	0,002 (NS)	-0,001 (NS)
Automne	-0,008 (NS)	-0,003 (NS)	-0,012 (NS)	-0,009 (NS)	0,001 (NS)	0,001 (NS)

Evolution du contenu en eau des sols saisonnier (SWI) par décennie

Concernant le contenu en eau des sols saisonnier, aucune tendance n'est significative.

Cependant, même s'il n'y a pas de significativité, la saison hivernale ne semble pas évoluer, voire être de plus en plus humide (+0,002 SWI_{hiver}/10 ans) alors que les autres saisons semblent évoluer vers des sécheresses de plus en plus importantes

(-0,005 SWI_{été-printemps-automne}/10 ans).



Ces évolutions non significatives se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Cependant, l'évolution du SWI_{printannier} de la Sarthe de -0,03 SWI/décennie est significatif depuis 1980 (Colombie et al, 2017).

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A10 - Contenu en eau des sols

Analyse

L'indice SWI (Soil Wetness Index) permet d'évaluer les sécheresses agricoles, c'est-à-dire qu'il définit l'état de sécheresse du sol en mesurant leur teneur en eau (DRIAS). Plus la valeur est proche de 0, moins le sol contient de l'eau. Cet indice ne permet pas de comparer différents lieux entre eux car il ne prend pas en compte les différentes typologies des sols mais il permet seulement d'en observer les évolutions temporelles.

Les principales sources en eau du sol sont les précipitations. Sur ces périodes, les précipitations n'ont pas évolué de manière significative (voir Cumul saisonnier des pluies). A contrario, les pertes du sol se font par l'évapotranspiration. Or, l'augmentation annuelle régionale de l'ETP est beaucoup plus marquée en été (+15 mm/10 ans) et au printemps (+10 mm/10 ans) que les 2 autres saisons. On pourrait donc s'attendre à ce que l'évolution des conditions hydriques du sol soit plus marquée en période estivale.

Une hypothèse peut être émise pour expliquer cette contradiction : les précipitations présentent une forte variabilité interannuelle, ce qui peut entraîner une forte variabilité des valeurs des bilans hydriques d'une année à l'autre. Il faut également relativiser par rapport à la méthode de calcul qui moyenne l'humidité des sols sur tous les points de la grille Safran régionale de la région Centre (616 points de grille de 8km x 8km). Or, la surface agricole utile ne représente que 60% de la région et pourrait avoir des évolutions par rapport à la sécheresses différentes des sols forestiers (27 % de la surface régionale).

La diminution de la ressource en eau des sols est un paramètre à surveiller car elle peut devenir pénalisante pour les prairies dont les espèces sont sensibles au stress hydrique (Felten, 2011) ainsi que toutes les cultures estivales irriguées. Des sécheresses printanières peuvent également décaler les semis des cultures de printemps, ce qui entraînera un retard et un décalage de la levée des plants (Ray, 2014).

Au niveau des projections climatiques au cours du XXI^{ème} siècle, le projet ClimSec a mis en évidence une augmentation continue des sécheresses du sol en moyenne annuelle sur le territoire métropolitain. A la fin du XXI^{ème} siècle, les projections réalisées (à partir des trois scénarios) s'accordent globalement sur un niveau moyen annuel d'humidité des sols correspondant au niveau extrêmement sec de la période de référence 1961-1990 (Soubeyroux).

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A10 - Contenu en eau des sols



Pour aller plus loin

Les tendances saisonnières peuvent masquer les tendances mensuelles. Il serait intéressant de refaire cette analyse sur chaque mois pour mettre en évidence d'éventuelles évolutions plus localisées dans le temps afin d'identifier les périodes les plus sensibles pour les plantes.



A retenir

Depuis 1959, l'évolution du contenu en eau des sols n'a pas évolué significativement en région Centre Val-de-Loire.

Ce paramètre est toutefois à surveiller notamment au sud de la région où les évolutions de sécheresse des sols semblent plus rapides qu'au nord de la région.



Pour en savoir plus

DRIAS, Définition des indicateurs de sécheresse,
<http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/183>

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

Arvalis. Faut-il semer plus tôt pour éviter les risques de sécheresse ? Disponible sur : <https://www.arvalis-infos.fr/faut-il-semer-plus-tot-pour-eviter-les-risques-de-secheresse--@/view-6575-arvarticle.html> Consulté le 01/02/2022.

Soubeyroux J.-M., N. Kitova, M. Blanchard, J.-P. Vidal, E. Martin et P. Dandin, 2012 : Sécheresse des sols en France et changement climatique. *La Météorologie*, 78, p. 21-30.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A11 - 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 régional

Calcul de l'indicateur 1

Déficit hydrique climatique (Précipitations – ETP régionales) annuel

Tendance linéaire sur la période 1959 – 2023 (courbe noire) si significativité

Moyenne trentenaire du déficit hydrique climatique (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010 ; courbe noire : 1991-2020)

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, réaction des plantes via les stomates...).

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

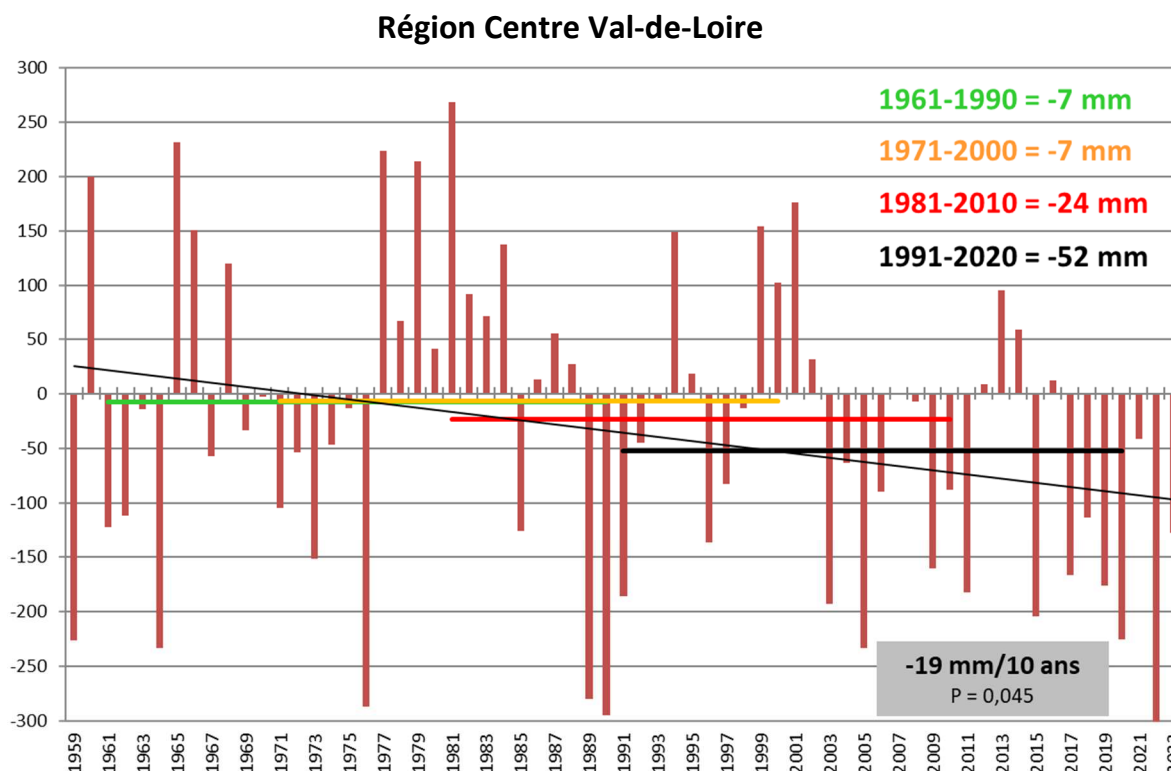


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

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



Indicateur 2

Déficit hydrique climatique saisonnier régional

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 pointillée)

Évolution observée en Région Centre Val-de-Loire

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

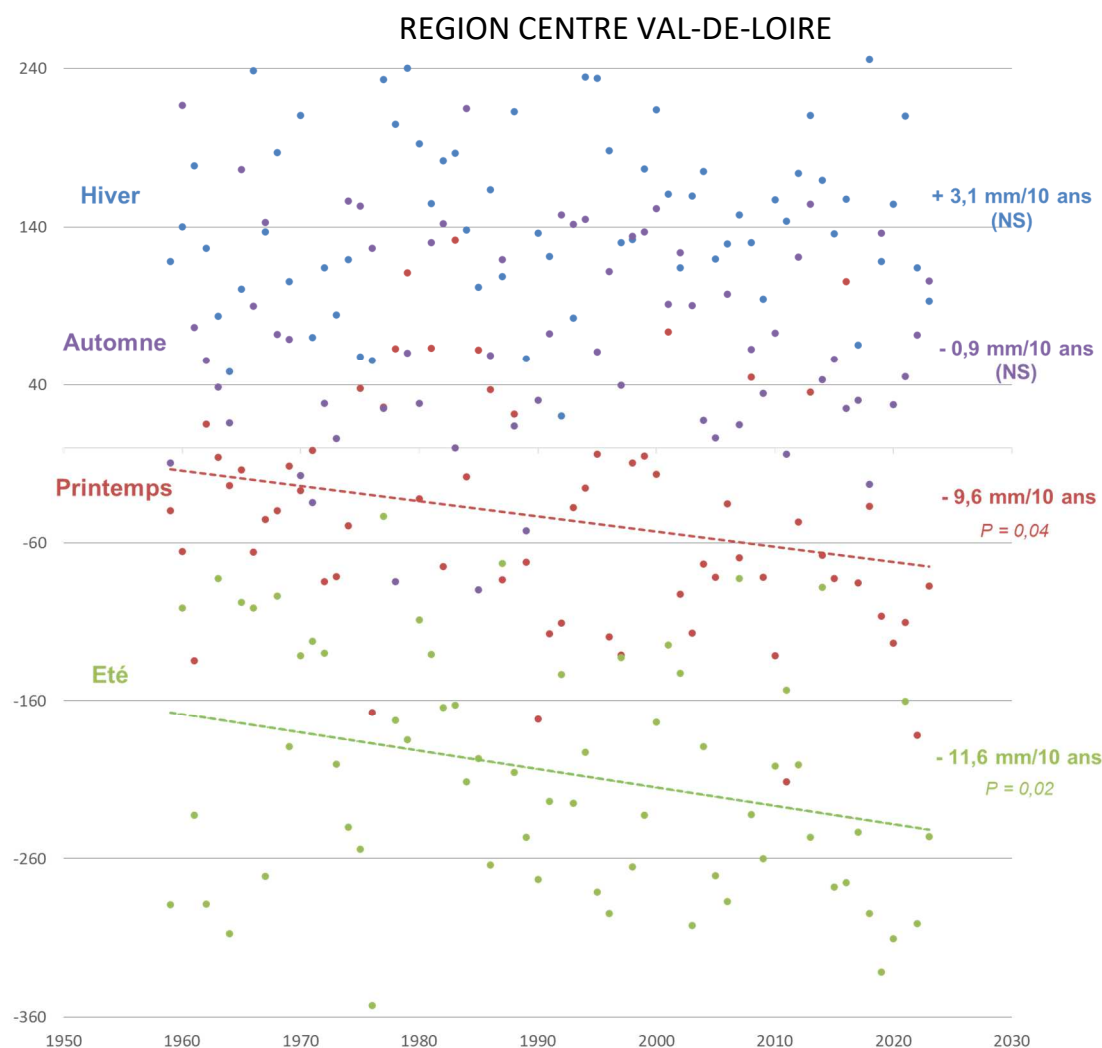
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

Analyse



Période	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution en mm / 10 ans	évolution en mm/60 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
annuelle	1959	65	-19,018	-114,11 mm	0,045	significative	0,06
hivernale	1959	65	3,053	18,32 mm	0,392	non significative	0,01
printanière	1959	65	-9,642	-57,85 mm	0,043	significative	0,06
estivale	1959	65	-11,583	-69,5 mm	0,019	significative	0,08
automnale	1959	65	-0,920	-5,52 mm	0,838	non significative	0,001

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)



Indicateur 3

Déficit hydrique climatique mensuel départementaux sur la période 1991-2020.



Calcul de l'indicateur 3

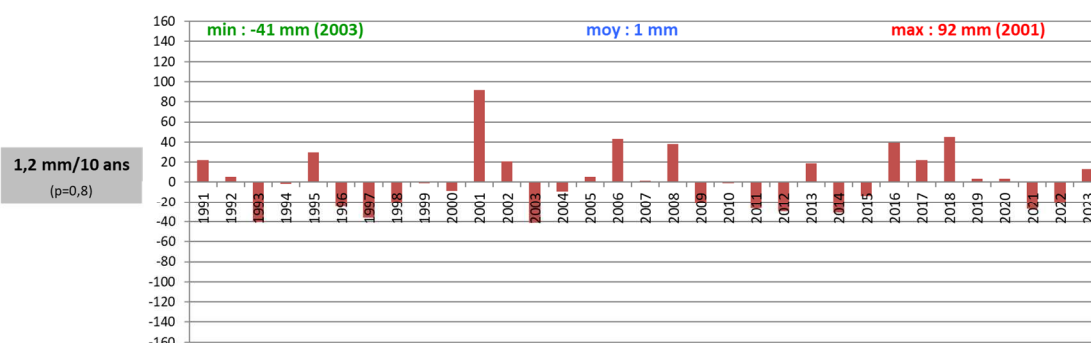
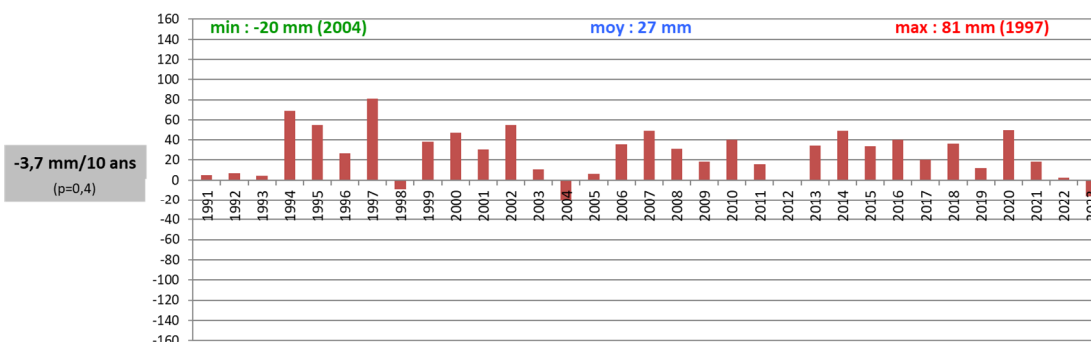
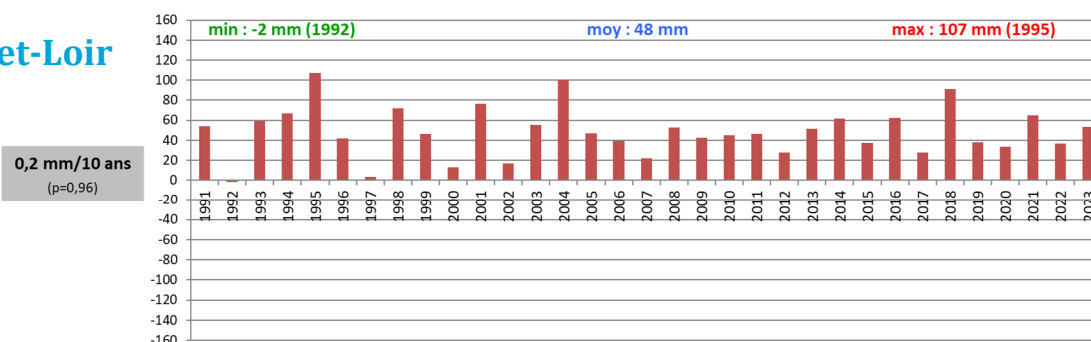
Déficit hydrique climatique (Précipitations – ETP départementaux) mensuel
Tendance linéaire sur la période disponible (ligne rouge) si significativité



Évolution observée du déficit hydrique climatique mensuel dans le département d'Eure-et-Loir

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Déficit hydrique climatique (Précipitations – ETP) en mm

Eure-et-Loir

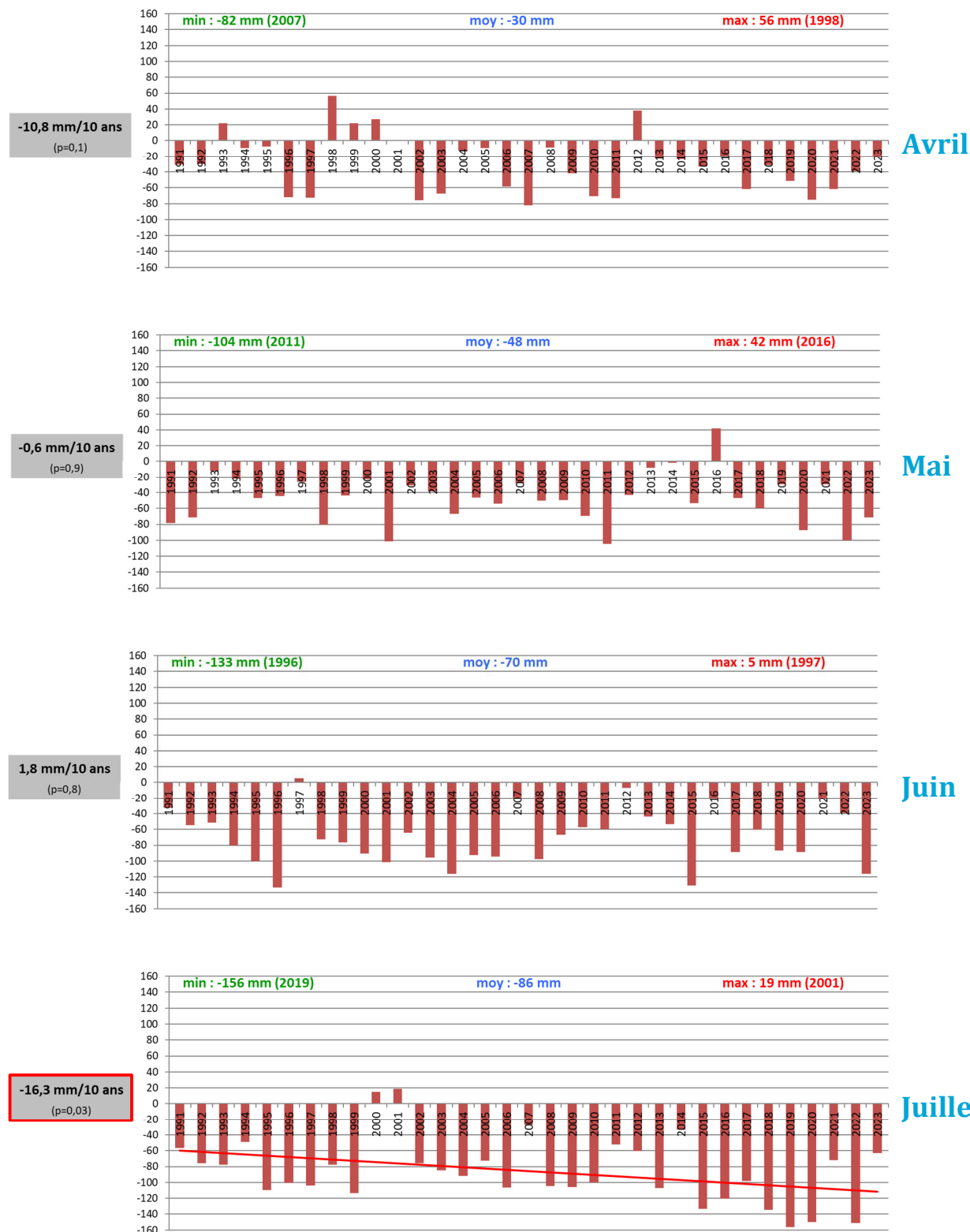


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

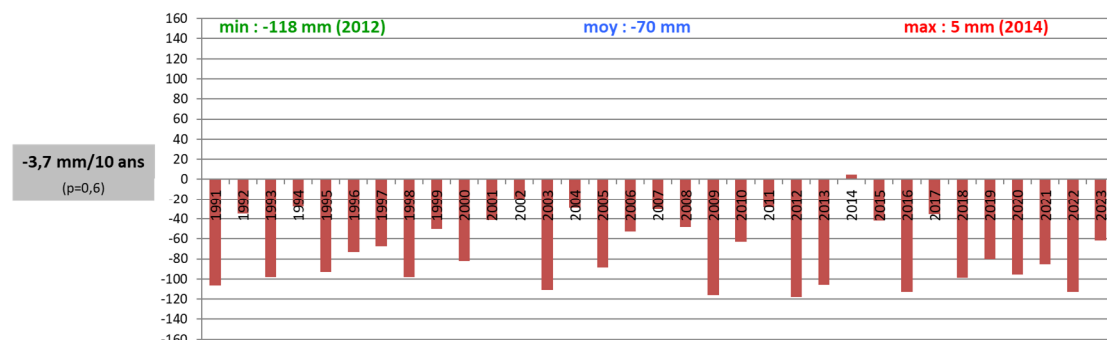


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

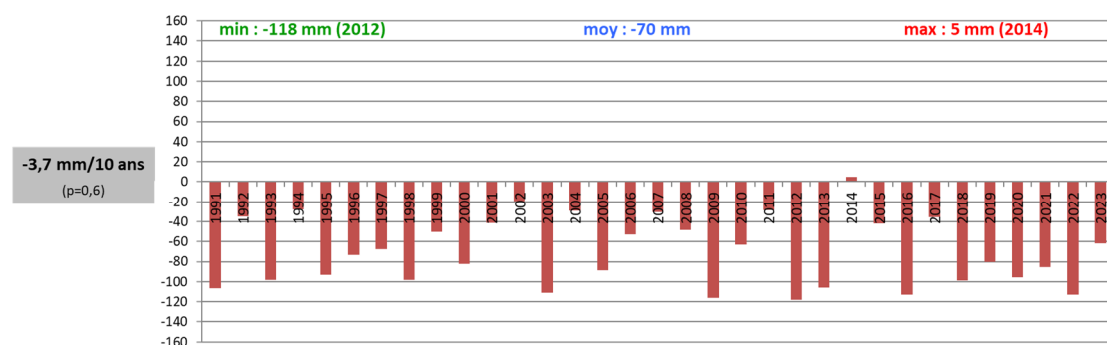


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

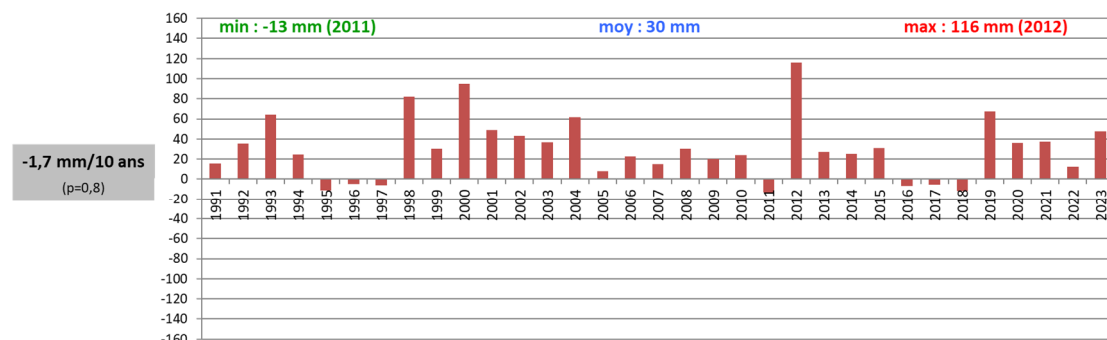
A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)



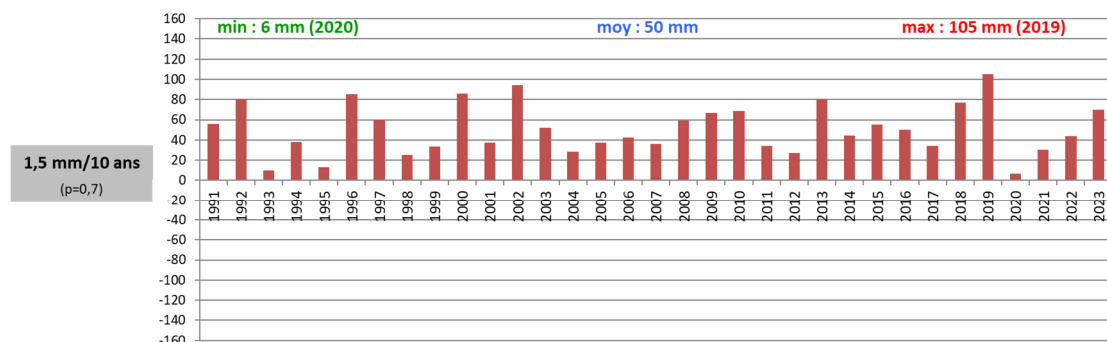
Août



Septembre



Octobre



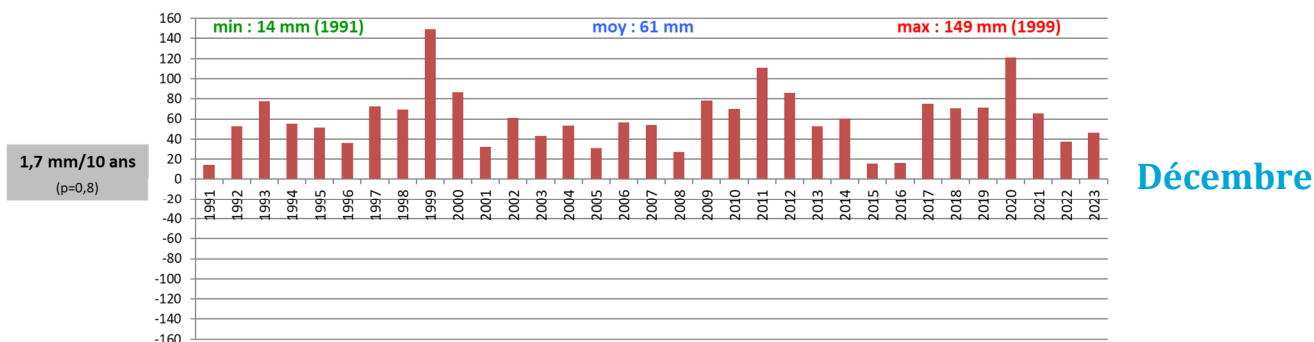
Novembre

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)



Analyse

Mois	Départements						région Centre Val-de-Loire	Saisons
	18	28	36	37	41	45		
janvier	5,8 (NS)	0,2 (NS)	5 (NS)	0,1 (NS)	1,5 (NS)	3,4 (NS)	2,6 (NS)	hiver
février	-5,8 (NS)	-3,7 (NS)	-3,4 (NS)	-4,9 (NS)	-3,7 (NS)	-3,7 (NS)	-4,3 (NS)	
mars	2,7 (NS)	1,2 (NS)	3,5 (NS)	3 (NS)	0,9 (NS)	-0,6 (NS)	1,7 (NS)	printemps
avril	-14 (NS)	-10,8 (NS)	-13,4 (NS)	-13 (NS)	-11,5 (NS)	-10,4 (NS)	-12,2 (NS)	
mai	-3,8 (NS)	-0,6 (NS)	-0,6 (NS)	2,2 (NS)	-0,1 (NS)	0,9 (NS)	-0,3 (NS)	été
juin	1,2 (NS)	1,8 (NS)	5,4 (NS)	6,5 (NS)	3,4 (NS)	1,3 (NS)	3,2 (NS)	
juillet	-15,9 (NS)	-16,3 (P=0,03)	-12,3 (NS)	-10,9 (NS)	-9,5 (NS)	-9,6 (NS)	-12,6 (NS)	été
août	-12,2 (NS)	-3,7 (NS)	-14,2 (NS)	-8,4 (NS)	-6,9 (NS)	-5,5 (NS)	-8,6 (NS)	
septembre	-18,6 (P=0,011)	-12,4 (NS)	-17,4 (P=0,02)	-13,8 (P=0,03)	-14,7 (P=0,02)	-12,8 (NS)	-14,9 (P=0,018)	automne
octobre	-3,1 (NS)	-1,7 (NS)	-4,9 (NS)	-1,5 (NS)	-0,1 (NS)	-0,6 (NS)	-1,9 (NS)	
novembre	-8 (NS)	1,5 (NS)	-5,8 (NS)	-6 (NS)	-3,6 (NS)	-4,1 (NS)	-4,5 (NS)	hiver
décembre	2,6 (NS)	1,7 (NS)	1 (NS)	-0,5 (NS)	1 (NS)	1,9 (NS)	1,2 (NS)	

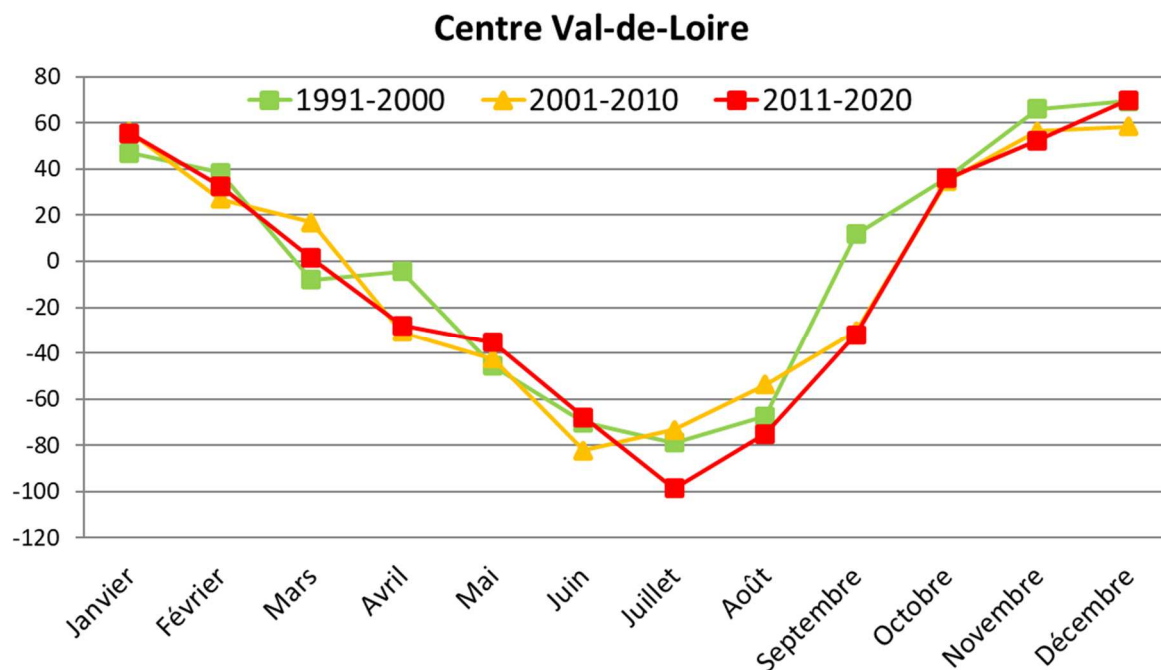
Evolution mensuelle du déficit hydrique en mm par décennie (NS = Non significatif)

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)



Evolution des cumuls mensuels de déficit hydrique en moyenne décennale glissante

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 -19 mm par décennie ($P=0,04$). Le déficit hydrique climatique annuel est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) allant de +267 mm en 1981 à -332 mm en 2022.
- 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 :
 - 0,9 mm par décennie en automne (NS) ;
 - + 3 mm par décennie en hiver (NS) ;
 - 10 mm par décennie au printemps ($P=0,04$) ;
 - **11,6 mm par décennie en été ($P=0,02$)**, soit -70 mm en 60 ans ;

Toutes les saisons montrent une tendance à la baisse sauf l'hiver qui présente une tendance à la hausse (+3 mm/10 ans) mais non significative. La saison estivale montre une baisse du déficit hydrique significatif avec -11,6 mm tous les 10 ans.

- Les observations mensuelles affinent l'interprétation des tendances saisonnières. Cependant, concernant les déficits hydriques mensuels, Météo France nous a fourni seulement 30 rapports années d'historique, il est donc difficile de comparer ces tendances mensuelles



A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)

aux tendances saisonnières ou annuelles. Au niveau régional, aucune tendance n'est significative sauf le mois de septembre (cas de tous les départements), avec :

- + 2,6 mm/10 ans en **janvier** (NS)
- - 4,3 mm/10 ans en au **février** (NS)
- + 1,7 mm/10 ans en **mars** (NS)
- - 12,2 mm/10 ans en **avril** (NS)
- - 0,3 mm/10 ans en **mai** (NS)
- + 3,2 mm/10 ans en **juin** (NS)
- -12,6 mm/10 ans en **juillet** (NS)
- - 8,6 mm/10 ans en **août** (NS)
- **- 14,9 mm/10 ans en septembre** (p=0,018)
- - 1,9 mm/10 ans en **octobre** (NS)
- - 4,5 mm/10 ans en **novembre** (NS)
- + 1,2 mm/10 ans en **décembre** (NS)

Le déficit hydrique estival (Juin-Juillet-Août), de -17,9 mm tous les 10 ans depuis 1959 semble se creuser plutôt à cause du mois de juillet (-12,6 mm/déc.) et du mois d'août (-8,6 mm/déc.) même si ces tendances ne sont pas significatives.

Concernant le déficit automnale (Septembre-Octobre-Novembre), de -21,4 mm tous les 10 ans qui ne semblaient pas évoluer depuis une soixantaine d'années semble cacher une évolution mensuelle très contrastée. En effet, le déficit hydrique du mois de septembre est fortement négatif de -14,9 mm par décennie. Ceci est à relativiser car les tendances saisonnières sont calculées sur 60 ans alors que les tendances mensuelles sont calculées avec 30 ans d'historique.

- Ces données de déficit hydrique corroborent les données des précipitations et de l'ETP puisque :
 - Concernant les précipitations : pas d'observation de tendance marquée quel que soient la saison ou le mois considérés pour les 6 stations de la Région Centre.
 - Concernant l'ETP régional : une augmentation des ETP est observée annuellement (+25 mm par décennie) mais principalement sur la saison estivale (+15 mm par décennie)

Comme l'étude du déficit hydrique mensuelle n'a pu être réalisée que sur 30 années d'historique, ces données manquent forcément de recul. Cependant, le mois de septembre en fort recul dans tous les départements (moyenne de -20 mm par décennie) est à surveiller dans les années à venir.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)



A Retenir

Depuis 1959, Le bilan hydrique climatique annuel a diminué de manière significative de l'ordre de - 19 mm par décennie). C'est le déficit hydrique estival (Juin-Juillet-Août) qui évolue le plus de l'ordre de -17,9 mm tous les 10 ans, ce qui implique un durcissement des conditions hydriques estivales.



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.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

B1 - Nombre de jours échaudant au printemps

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

Indicateurs 1

Séries de 1959 à 2023 sur la station :

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

Séries de 1982 à 2023 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 1^{er} avril et le 30 juin (nuage de points bleus).

Tendance linéaire sur la période 1959 – 2023 (courbe noire)

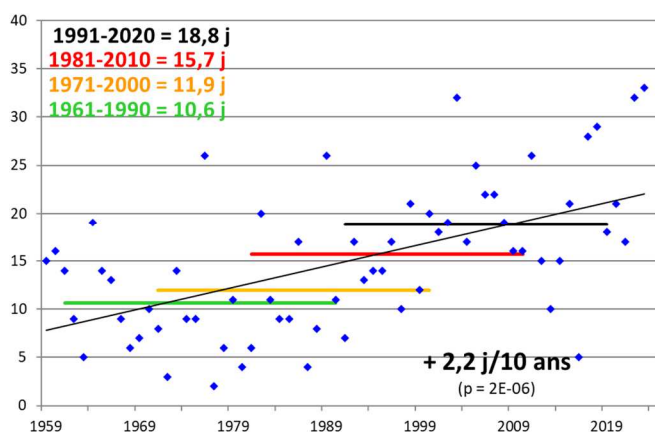
Moyenne trentenaire du nombre de jours échaudant (courbe verte : 1961-1990 ; courbe orange : 1971-2000 ; courbe rouge : 1981-2010 ; courbe noire : 1991-2020)

Évolution observée

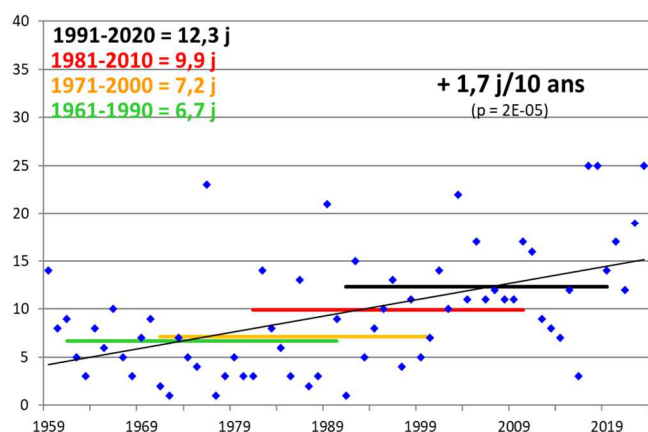
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours échaudant du 1^{er} avril au 30 juin

B1-Nombre de jours échaudant au printemps

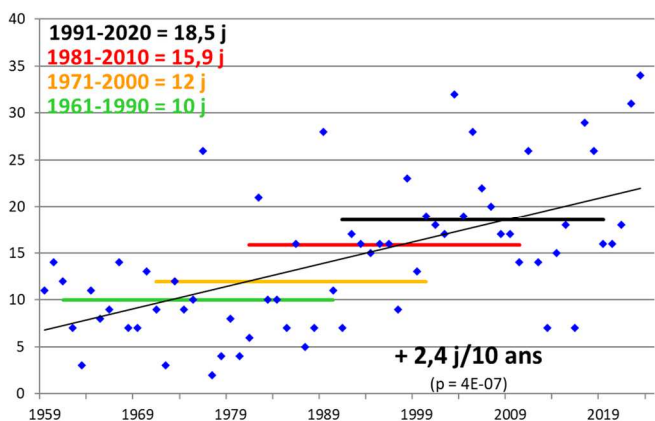
BOURGES



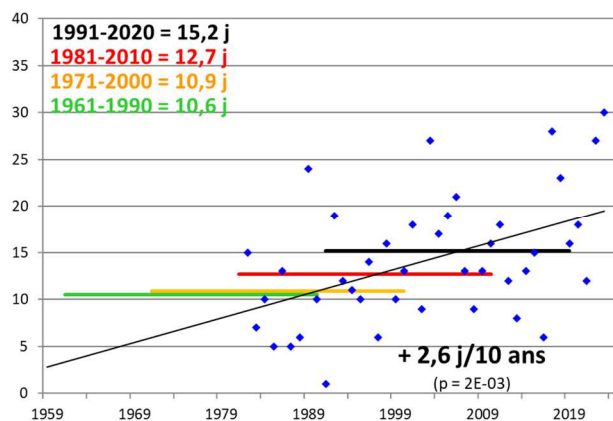
CHARTRES



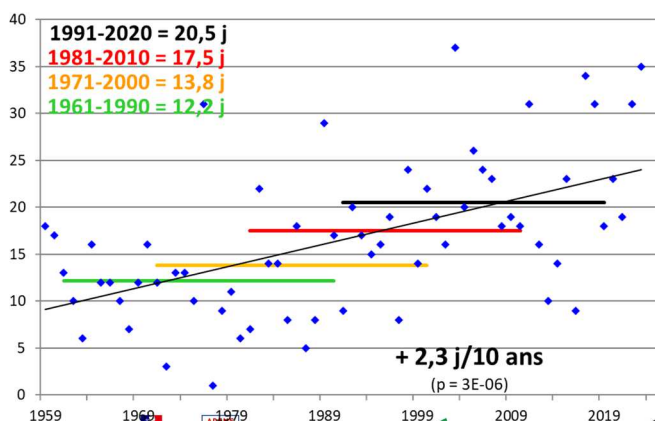
CHATEAUROUX



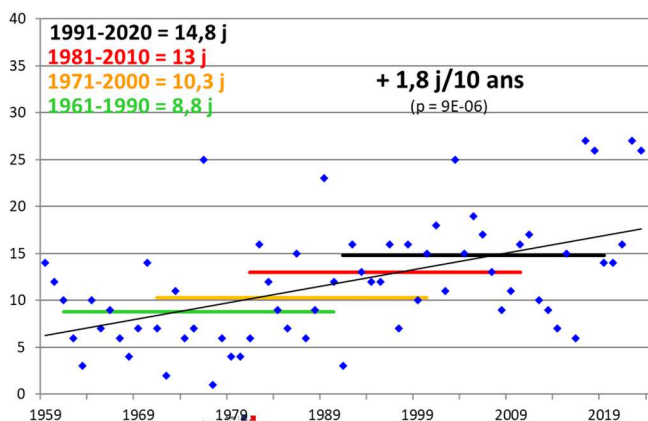
TOURS



ROMORANTIN



ORLEANS



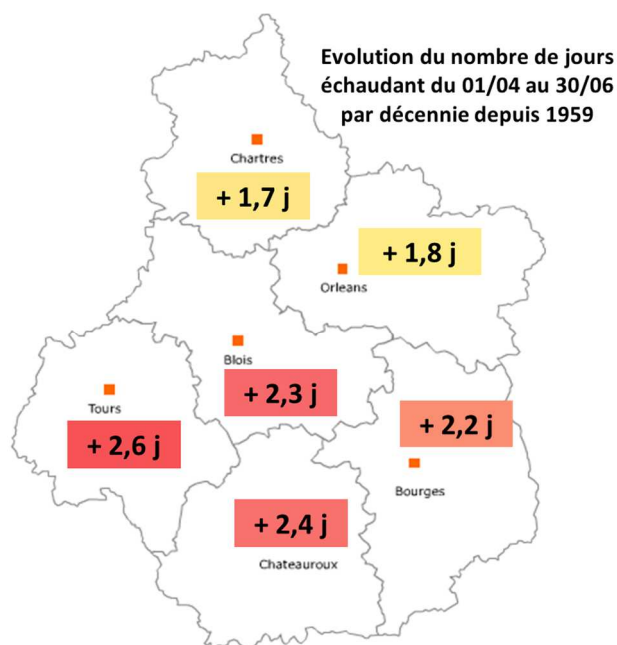
B1 - Nombre de jours échaudant au printemps

Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1959	65	2,2	1,7E-06	très hautement significative	0,31
28	Chartres	1959	65	1,7	1,5E-05	très hautement significative	0,26
36	Châteauroux	1959	65	2,4	4,4E-07	très hautement significative	0,34
37	Tours	1982	42	2,6	1,6E-03	hautement significative	0,22
41	Romorantin	1959	65	2,3	3,1E-06	très hautement significative	0,29
45	Orléans	1959	65	1,8	9,2E-06	très hautement significative	0,27

- L'évolution du nombre de jours échaudant du 01/04 au 30/06 montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sont toutes significatives, et sont de :
 +2,2 jour échaudant par décennie à Bourges,
 +1,7 jour échaudant par décennie à Chartres,
 +2,4 jours échaudant par décennie à Châteauroux,
 +2,6 jours échaudant par décennie à Tours,
 +2,3 jours échaudant par décennie à Romorantin,
 +1,8 jour échaudant par décennie à Orléans,

Soit une moyenne de **2 jours échaudants par décennie** (moyenne des 6 stations).



Comme pour l'indicateur de la température moyenne, on observe une évolution plus marquée des températures dans le sud-ouest de la région par rapport au nord, même si ce n'est pas significatif.

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).

La variabilité interannuelle est marquée, mais n'empêche pas la visualisation d'une tendance générale à l'accroissement. Dans la dernière moyenne trentenaire (1991-2020), le nombre de jour échaudant du 1^{er} avril au 30 juin est de 16 jours (moyennes des 6 stations), ce qui correspond à une fréquence d'1 jour sur 6.

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.



B1 - Nombre de jours échaudant au printemps

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).

En théorie, le réchauffement climatique entraînera une accélération des cycles végétatifs (stade « remplissage des grains » de plus en plus tôt) qui permettra d'esquiver partiellement ces jours échaudant 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 65 dernières années, le nombre de jours échaudant entre le 01/04 et le 30/06 (moyenne des 6 stations de la région) est passé de 10 jours dans la période 1961-1990 (soit **1 jour sur 9**), à 16 jours dans la période 1990-2020 (soit **1 jour sur 6**).

L'évolution tendancielle constatée (ajustement linéaire) sur l'ensemble de la période étudiée (1959 – 2023) est de **+ 2 jours échaudants du 01/04 et le 30/06 par décennie**.

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 échaudant observée est inquiétant. L'augmentation de ce stress thermique est 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), ce 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

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1960 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1976 à 2023)

Calcul de l'indicateur

Nombre de jours où la température minimale est inférieure ou égale à 0°C du 1^{er} mars au 30 avril (nuage de points bleus).

Tendance linéaire sur la période disponible x-2023 (courbe noire)

Moyenne trentenaire du nombre de jours de gel au printemps (ligne verte foncée : 1951-1980 ; ligne verte claire : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

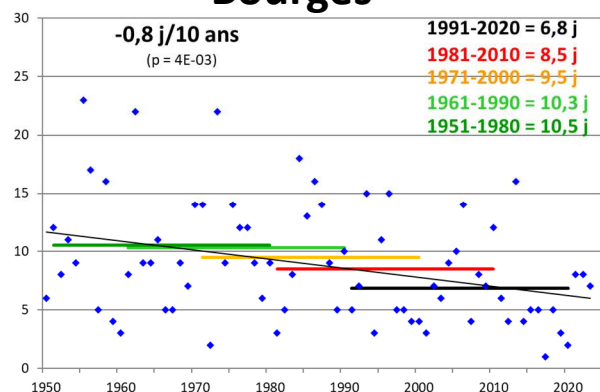
Évolution observée

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

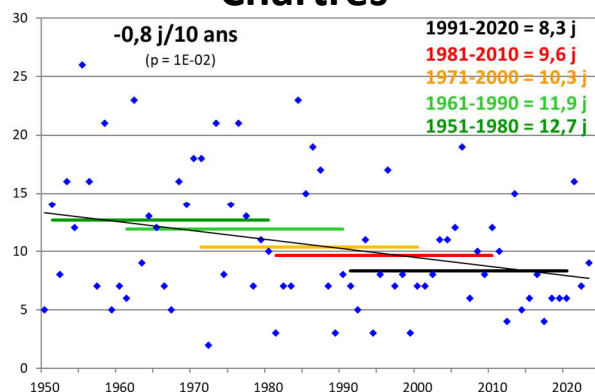


B2 - Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril

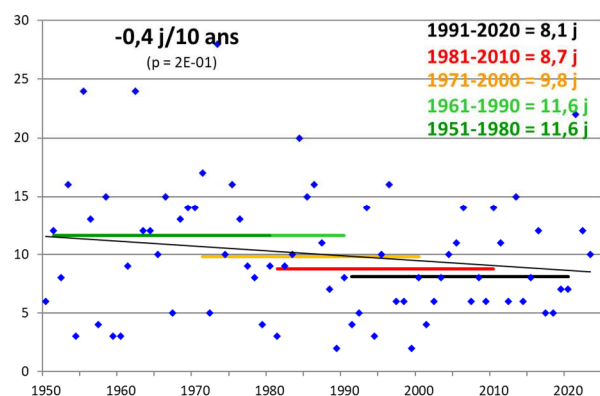
Bourges



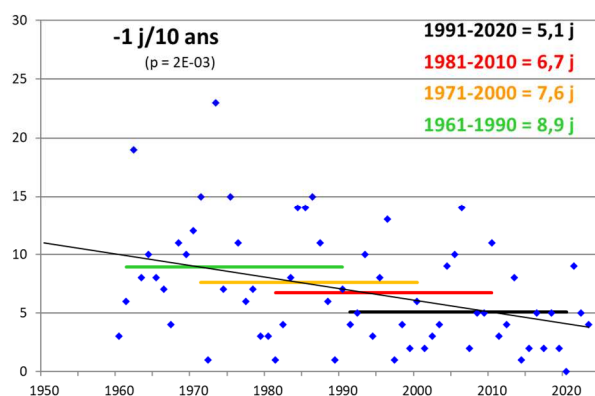
Chartres



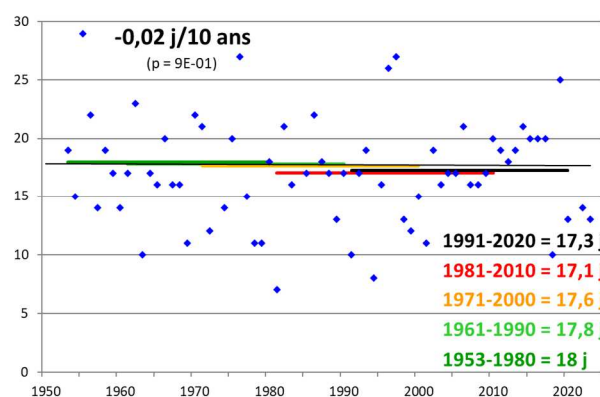
Châteauroux



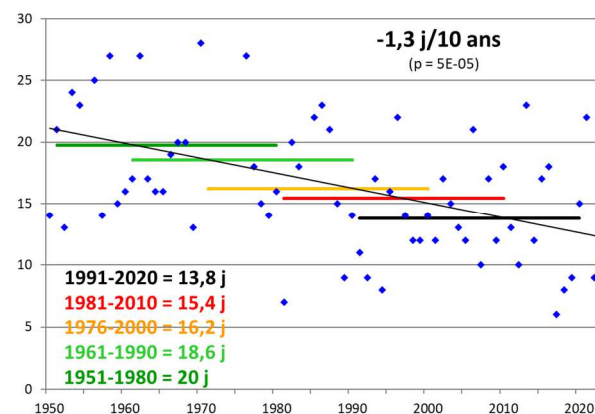
Tours



Romorantin



Orléans



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

Analyse

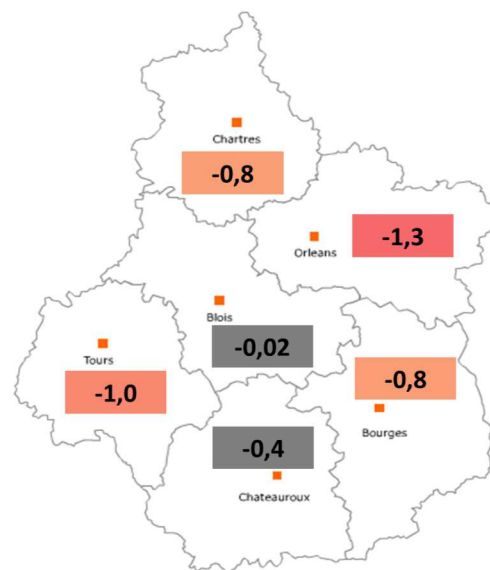
Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	77	-0,8	3,7E-03	hautement significative	0,11
28	Chartres	1950	77	-0,8	1,1E-02	significative	0,09
36	Châteauroux	1950	77	-0,4	1,7E-01	non significative	0,03
37	Tours	1960	65	-1,0	2,0E-03	hautement significative	0,14
41	Romorantin	1953	74	-0,02	9,4E-01	non significative	0,00
45	Orléans	1950	73	-1,3	4,6E-05	très hautement significative	0,00

L'évolution du nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril en Région Centre Val-de-Loire depuis 1950 montre que les tendances (ajustement linéaire) sont toutes en baisses significatives :

- 0,8 j par décennie à Bourges,
- 0,8 j par décennie à Chartres,
- 1 j par décennie à Tours,
- 1,3 j par décennie à Orléans,

Cependant, cette évolution baissière n'est pas significative pour les stations de :

- Châteauroux (-0,4 j/10ans),
- Romorantin (-0,02 j/10ans),



Soit une moyenne de -0,7 jour de gel en mars-avril par décennie (moyenne des 3 stations).

Evolution du nombre de jours de gel du 1/03 au 30/04 par décennie (en j/10 ans) depuis les 70 dernières années

Ces évolutions ne sont pas très franches mais 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 de 1971 à 2015 (Colombie et al, 2017),
- 1,4 j par décennie au Mans de 1971 à 2015 (Colombie et al, 2017),

La variabilité interannuelle est marquée, mais n'empêche pas la visualisation d'une tendance générale à raréfaction du nombre de jours de gel de mars à avril. Dans la dernière moyenne trentenaire (1991-2020), le nombre de jour de gel du 1er avril au 30 juin est de 10 jours (moyenne de 6 stations), ce qui correspond à une fréquence d'**1 jour sur 6**, alors qu'entre 1951-1980, cette fréquence était d'**1 jour sur 4**.

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 »).



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

La période du 1er 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, du fait du réchauffement de la saison printanière se trouveront alors sujettes au risque de gel printanier, malgré la diminution du nombre de jours à risque (Dubreuil et al., 2012).



A retenir

Au cours des 70 dernières années, le nombre de jours de gel entre le 1/03 et le 30/04 (moyenne de 6 stations de la région) est passé de 15 jours dans la période 1951-1980 (soit **1 jour sur 4**), à 10 jours dans la période 1991-2020 (soit **1 jour sur 6**).

Le nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril est en diminution significative sur les 4 stations étudiées mais relativement faible, soit **0,7 jour de gel en moins tous les 10 ans depuis 1950** (moyenne de 6 stations régionales).

Malgré cette tendance, l'avancement des stades phénologiques des cultures et la forte variation interannuelle du nombre de gelées font que le risque de gel reste une problématique pour 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.arvalisinfos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=3&type_acc=5&id_acc=
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^{ème} 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 du premier et du dernier gel

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)

Calcul de l'indicateur 1

Evolution des dates de la première journée en automne (année n) et de la dernière journée au printemps (année n+1) où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C (nuage de points bleus).

Tendance linéaire (si significative) sur la période 1950 – 2023 (courbe noire)

Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

Évolution observée

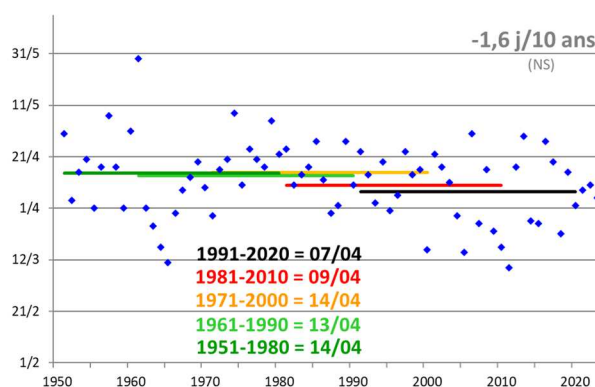
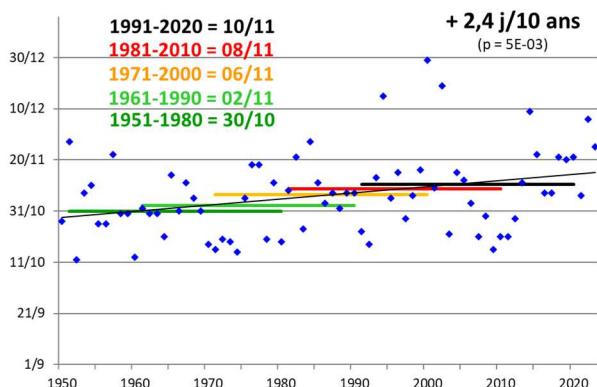
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date



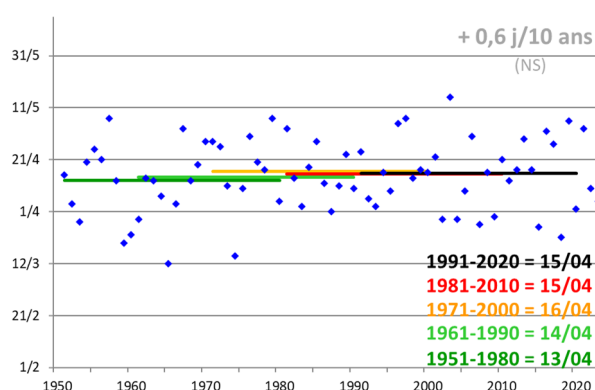
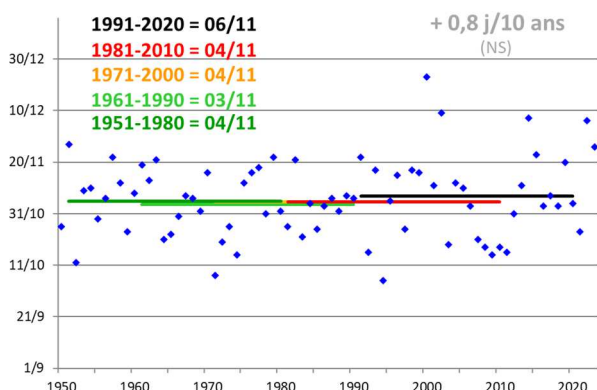
Date de la première gelée automnale année n

Date de la dernière gelée printanière année n+1

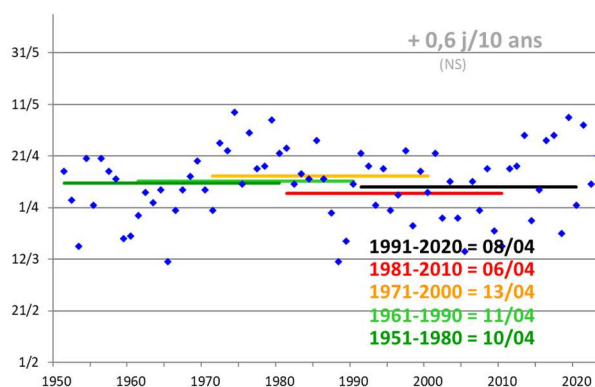
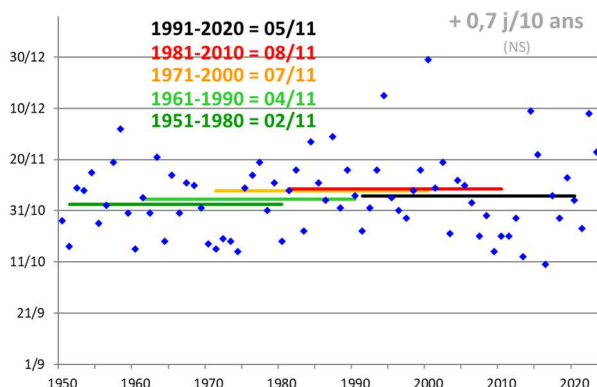
Bourges



Chartres



Châteauroux

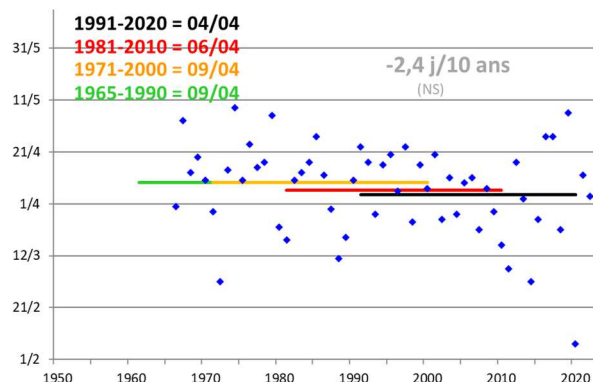
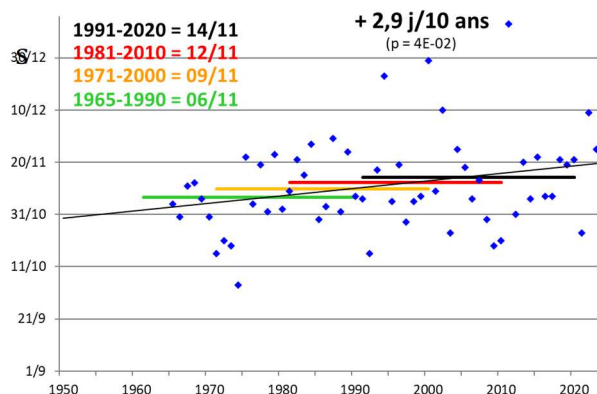




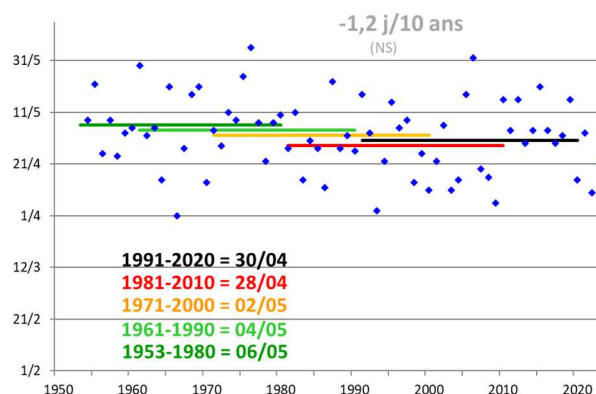
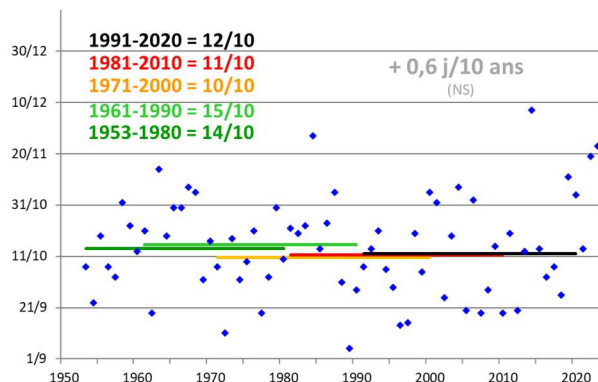
Date de la première gelée automnale année n

Date de la dernière gelée printanière année n+1

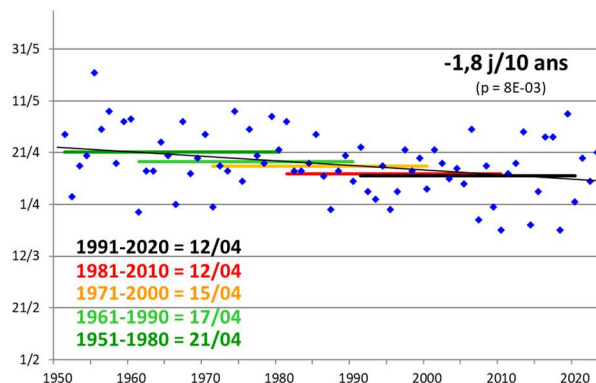
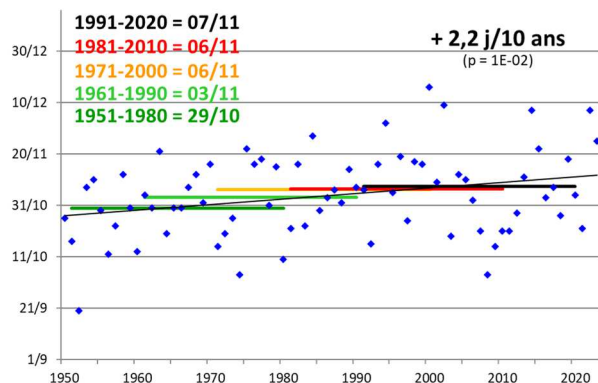
Tours



Romorantin



Orléans





B3 - Début et fin de la période de gel



Date de la première gelée automnale

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	74	2,4	0,005	hautement significative	0,10
28	Chartres	1950	74	0,8	0,3	non significative	0,01
36	Châteauroux	1950	74	0,7	0,4	non significative	0,01
37	Tours	1965	59	2,9	0,04	significative	0,08
41	Romorantin	1953	71	0,6	0,6	non significative	0,005
45	Orléans	1950	74	2,2	0,01	significative	0,08

- L'évolution de la date de la première journée de gel en automne depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont significatives uniquement pour 3 stations :
 - o **+ 2,4 j par décennie** à Bourges (P=0,005),
 - o **+ 2,9 j par décennie** à Tours (P=0,04),
 - o **+ 2,2 j par décennie** à Orléans (P=0,01),
- L'évolution de la première gelée automnale recule de **+1,6 jours/10 ans** (moyenne des 6 stations départementales depuis 1950).
- Ces évolutions se retrouvent au-dessous de la moyenne des régions voisines. Par exemple :
 - o + 4 j par décennie à Angers (P<0,1) depuis 1971 (Colombie et al., 2017)

Date de la dernière gelée printanière

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	73	-1,6	0,06	non significative	0,05
28	Chartres	1950	73	0,6	0,41	non significative	0,01
36	Châteauroux	1950	73	0,6	0,409	non significative	0,01
37	Tours	1965	58	-2,4	0,077	non significative	0,05
41	Romorantin	1953	70	-1,2	0,157	non significative	0,03
45	Orléans	1950	73	-1,8	0,008	hautement significative	0,10

- L'évolution de la date de la dernière gelée printanière depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont significatives uniquement pour 1 station :
 - o **1,8 j par décennie** à Orléans (P=0,008),
- L'évolution de la dernière gelée printanière avance de **-1,1 jours/10 ans** (moyenne des 6 stations départementales depuis 1950).
- Ces évolutions se retrouvent au-dessous de la moyenne des régions voisines. Par exemple :
 - o 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 (entre le 1^{er} gel automnal de l'année n et le dernier gel printanier de l'année $n+1$)



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)

Tendance linéaire sur la période 1950 – 2023 (courbe noire)

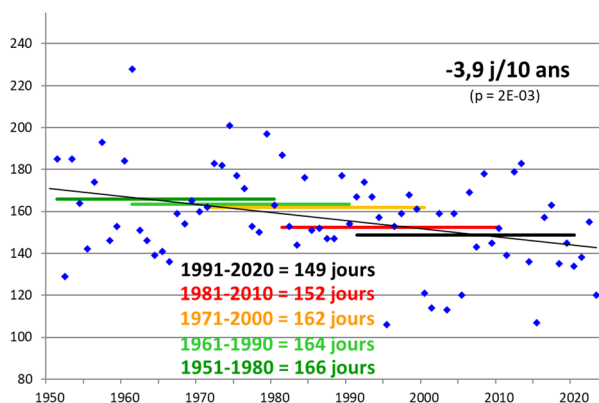
Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1961-1990 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)



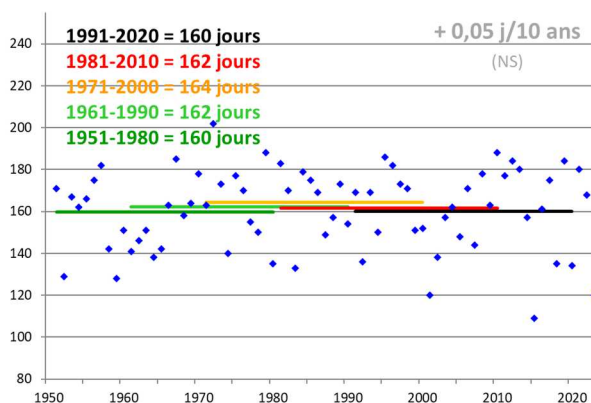
Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date

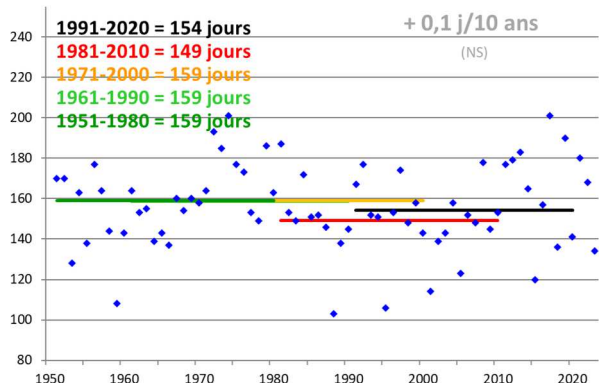
Bourges



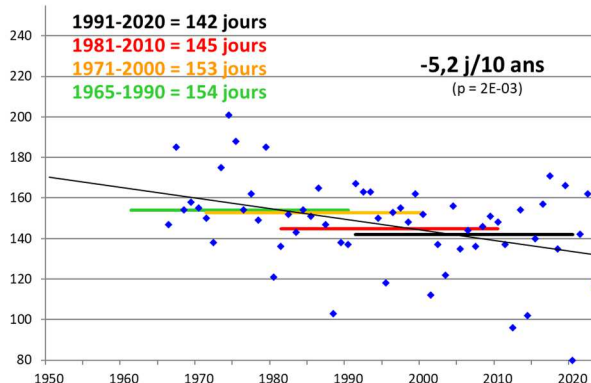
Chartres



Châteauroux



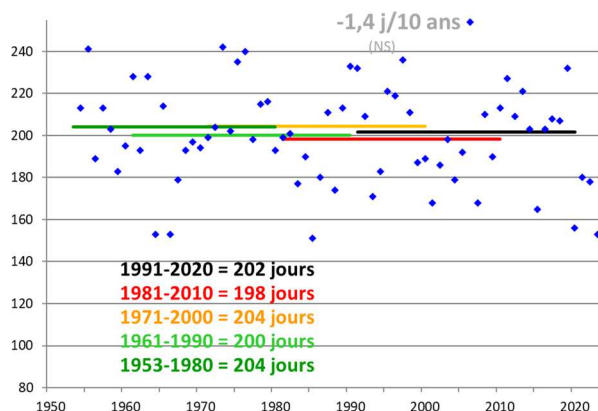
Tours



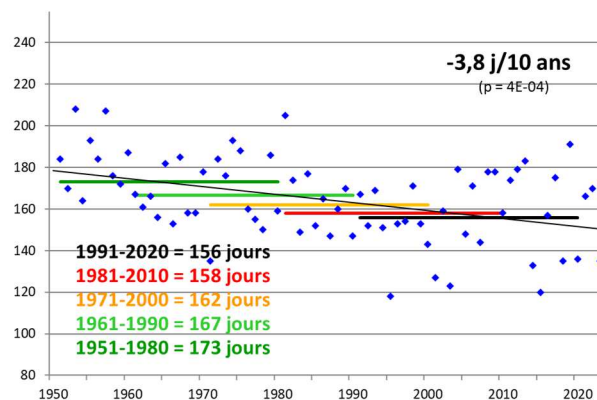


B3-Début et fin de la période de gel

Romorantin



Orléans



Durée de la période de gel

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	73	-3,9	1,7E-03	hautement significative	0,13
28	Chartres	1950	73	0,05	0,97	non significative	2,6E-05
36	Châteauroux	1950	73	0,1	0,919	non significative	1,5E-04
37	Tours	1965	58	-5,2	2,2E-03	hautement significative	0,16
41	Romorantin	1953	70	-1,4	0,323	non significative	0,01
45	Orléans	1950	73	-3,8	3,5E-04	très hautement significative	0,17

L'évolution de la durée de la période de gel depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont significatives uniquement pour 3 stations :

- **3,9 j par décennie** à Bourges ($P=1,7 \cdot 10^{-3}$),
- **5,2 j par décennie** à Tours ($P=2,2 \cdot 10^{-3}$),
- **3,8 j par décennie** à Orléans ($P=3,5 \cdot 10^{-4}$),

- Ces évolutions se retrouvent au-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)

- Le radoucissement de l'hiver est avéré par l'indicateur du nombre de jours de gel annuel (-3,3 jours de gel/10 ans en moyenne). Cependant, le recul de la dernière gelée printanière n'avance pas significativement (1 seule station départementale significative). Il semblerait que la première gelée automnale recule mais pas très nettement (3 stations départementales significatives). La ville du Mans (72), est dans la même situation (Colombie et al., 2017).



B3-Début et fin de la période de gel

Le nombre de jour de gel annuel tend à diminuer sur pratiquement toutes les stations départementales d'environ 3,3 jours par décennie (voir « Nombre de jours de gel »). Si ce nombre de jours de gel tend à diminuer annuellement, il semble que logiquement « la durée » de la période de gel (différence entre dernier gel printanier année $n+1$ et 1^{er} gel automnal année n) diminue également d'environ 3 j/10 ans mais pas de manière nette (3 stations départementales significatives seulement). Le décalage de la période de gel (gelée automnale plus tardive ou gelée printanière plus précoce) n'est également pas clairement établi, notamment au printemps.

Or les plantes ayant une avancée des cycles végétatifs de par le réchauffement climatique, on peut craindre que le risque de gel printanier soit toujours présent malgré la diminution avérée du nombre de jour de gel annuel (Dubreuil et al., 2012).



A retenir

La « durée » de la période de gel (différence entre dernier gel printanier année $n+1$ et 1^{er} gel automnal année n) semble diminuer de l'ordre de 3 jours par décennie (moyenne régionale) mais pas de façon nette (seule 3 stations avec une tendance significative).

La date de la première gelée automnale semble reculer plus rapidement (3 stations significatives) que l'avancée de la première gelée printanière (1 station significative), mais n'est pas clairement établie.

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 au cours du XXI^{ème} siècle.



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 XXI^{ème} 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

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)

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 1^{er} avril au 31 octobre (nuage de points bleus).

Tendance linéaire sur la période 1959 – 2023 (courbe noire)

Moyenne trentenaire de l'indice de Winkler (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

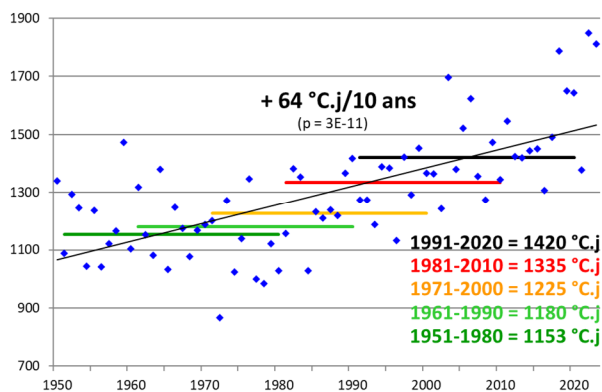
Évolution observée

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

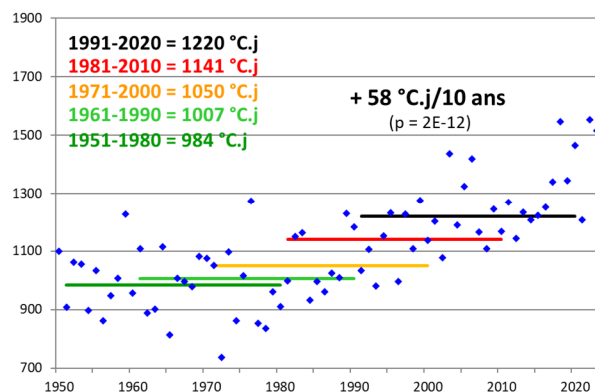


B4-Indice de Winkler

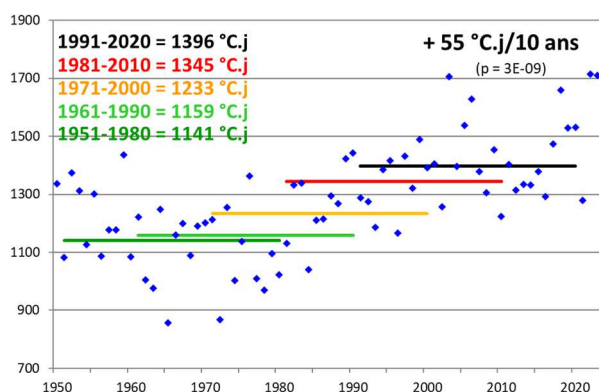
Bourges



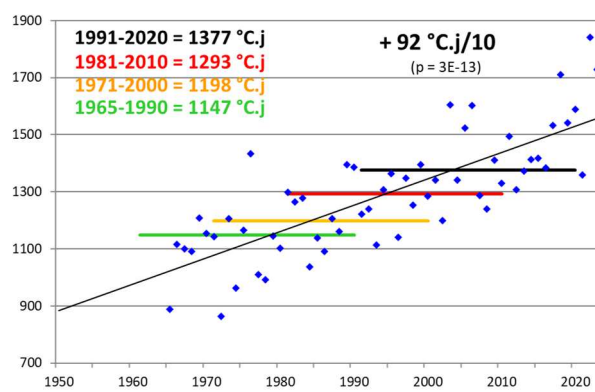
Chartres



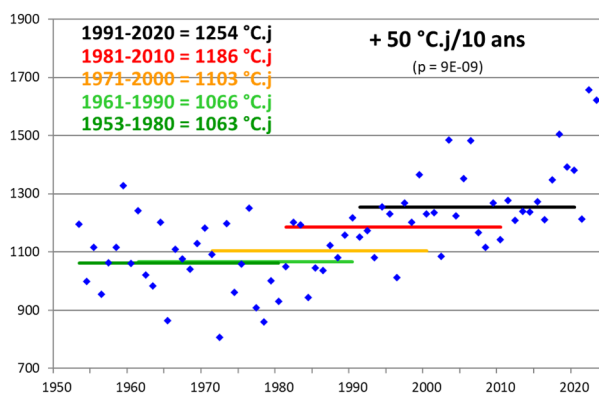
Châteauroux



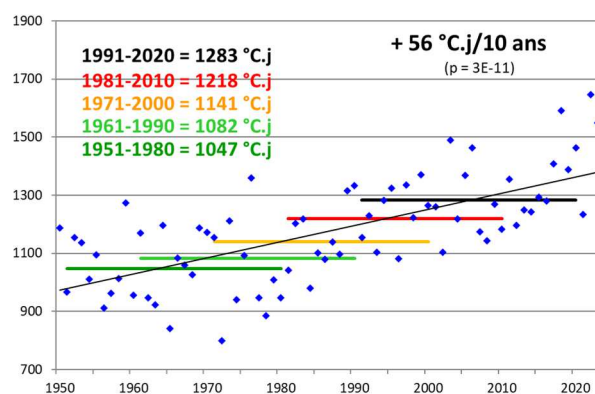
Tours



Romorantin



Orléans





B4-Indice de Winkler

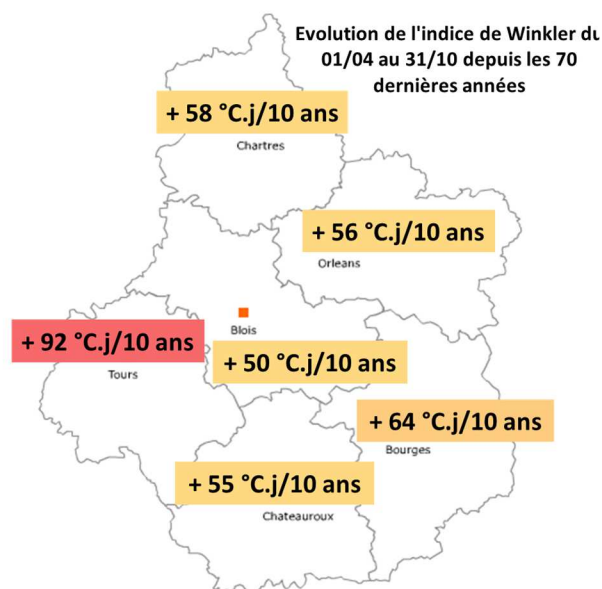
Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	74	64	2,6E-11	très hautement significative	0,46
28	Chartres	1950	74	58	1,8E-12	très hautement significative	5,0E-01
36	Châteauroux	1950	74	55	3,3E-09	très hautement significative	3,9E-01
37	Tours	1965	59	92	3,1E-13	très hautement significative	0,61
41	Romorantin	1953	71	50	9,4E-09	très hautement significative	0,38
45	Orléans	1950	74	56	3,1E-11	très hautement significative	0,46

L'évolution de l'indice de Winkler du 1^{er} avril au 31 octobre depuis 1959 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

- + 64 °C.j par décennie à Bourges,
- + 58 °C.j par décennie à Chartres,
- + 55 °C.j par décennie à Châteauroux,
- + 92 °C.j par décennie à Tours,
- + 50 °C.j par décennie à Romorantin,
- + 56 °C.j par décennie à Orléans.

Toutes ces tendances sont très largement significatives ($p < 0,001$).



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

- + 45 °C.J par décennie à Saumur en 60 ans ($P < 0,01$)
- + 56 °C.J par décennie à Angers en 60 ans ($P < 0,01$)
- + 73 °C.J par décennie à Mâcon (100 km au sud de Dijon) en 57 ans ($P < 0,0001$)
- + 47 °C.J par décennie à Châtillon-sur-Seine (50 km au nord de Dijon) en 56 ans ($P < 0,0001$)



B4-Indice de Winkler



Indicateurs 2 : Classes des indices de Winkler

Séries de 1959 à 2023 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 ; 1991-2020)



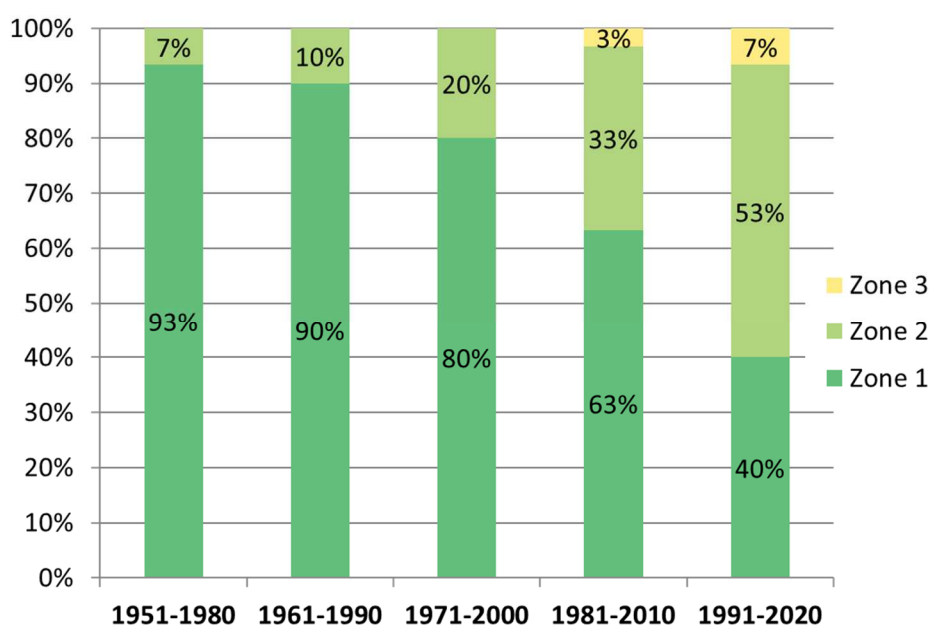
Évolution observée

- 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	$1650 \leq x < 1926$	Montpellier (F) , Milan (I), Porto (P), Napa (USA)
2	$1371 \leq x < 1649$	Rioja (E), Côtes du Rhône (F) , Barolo (I), Santiago (C)
1	$x < 1371$	Geisenheim (D), Champagne (F) , Dijon, (F) , Bordeaux (F)

Bourges





B4-Indice de Winkler

A Bourges :

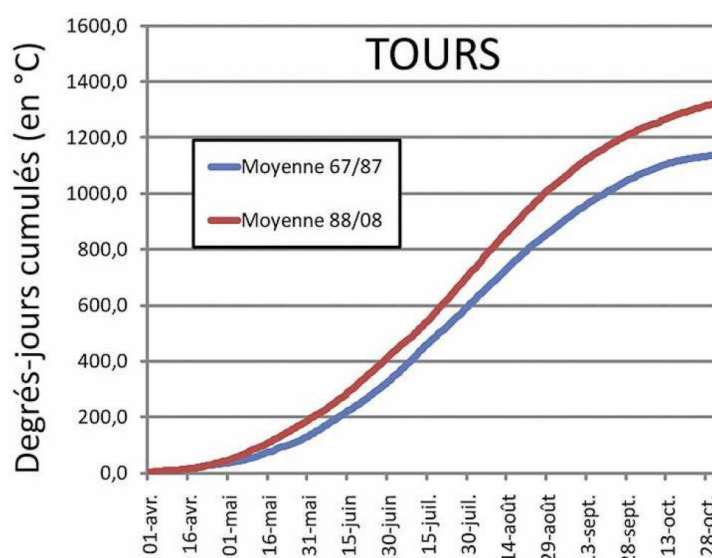
- la classe 1 de Winkler ($IW < 1371$ °C.j) s'est déroulée 9 années sur 10 de 1951 à 1990, 8 années sur 10 de 1971 à 2000, 6 années sur 10 de 1981 à 2010 puis 4 années sur 10 de 1991 à 2020.
- durant les 30 dernières années (1991-2020), les zones 2 et 3 deviennent majoritaires (6 années sur 10) par rapport à la zone 1 (4 années sur 10).



L'indice de Winkler est en augmentation significative dans les six 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 pour chaque phase étant atteint plus tôt dans la saison, les viticulteurs observent déjà une plus grande précocité de ces stades, parfois de 15 jours à 3 semaines. Sur le graphique ci-dessous, Tours a gagné 184 °C.j entre les 2 périodes étudiées.



Evolution cumulée de l'indice de Winkler de 1967 à 1987 (courbe bleue) et de 1988 à 2008 (courbe rouge)

Source : Bonnefoy et al., 2010

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 ») ou les dates de débourrement. Or, au stade débourrement, 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, ce qui retarde le développement végétatif, 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.

Lors de futures plantations, le vigneron pourra affiner son choix de cépage et porte greffe au regard des évolutions des zones climatiques de Winkler, car petit à petit la région Centre-Val-de-Loire va de plus en plus se rapprocher de la zone 2 de Winkler (1 année sur 2 dans la dernière moyenne trentenaire) (Climenvi, 2021)



A retenir

L'indice de Winkler est en forte augmentation significative sur les 6 stations de la région (moyenne de + 62°C.J par décennie).

La classe 1 de Winkler ($IW < 1371$ °C.j) avait lieu 9 années sur 10 dans les années « 1970 » (1951-1990) et seulement 4 années sur 10 dans les années « 2000 » (1991-2020).

L'évolution de ce paramètre agro-climatique pourra aider le vigneron à affiner sa stratégie d'adaptation au futur climat (pratiques agricoles, choix de cépages, ...). Dans tous les cas, la hausse de l'indice de Winkler 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 ce malgré un nombre de jours de gel annuel sensiblement en baisse.



Pour en savoir plus

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

CLIMENVI : Intégrer le changement climatique dans les décisions des chefs d'entreprises viticoles pour les vignobles du Centre Val de Loire, Chambre d'Agriculture de Loir-et-Cher, 2021

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.

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

ORACLE Bourgogne-Franche-Comté, 2021, www.bourgognefranchecomte.chambagri.fr

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

Profondeur des séries :

- 18 : Bourges, séries de 1913 à 2023
- 28 : Chartres, séries de 1913 à 2023
- 36 : Châteauroux, séries de 1893 à 2023
- 37 : Tours, séries de 1965 à 2023
- 41 : Romorantin, séries de 1953 à 2023
- 45 : Orléans, séries de 1946 à 2023

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).

Tendance linéaire sur la période 1959 – 2023 (courbe noire) si significativité

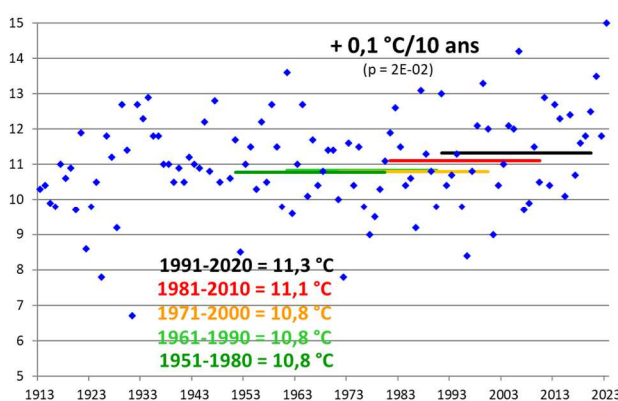
Moyenne trentenaire du nombre de jours estivaux (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

Évolution observée

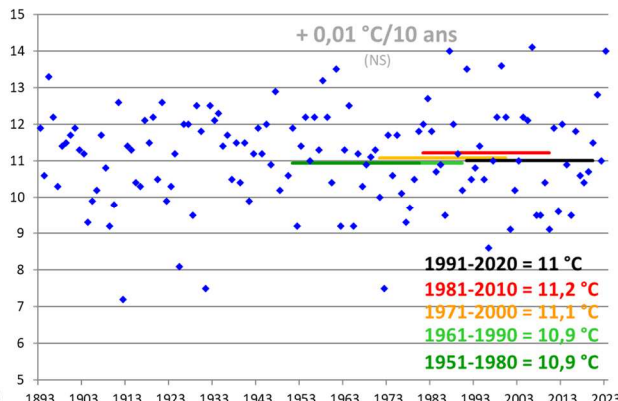
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Indice de fraîcheur des nuits du mois de septembre

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

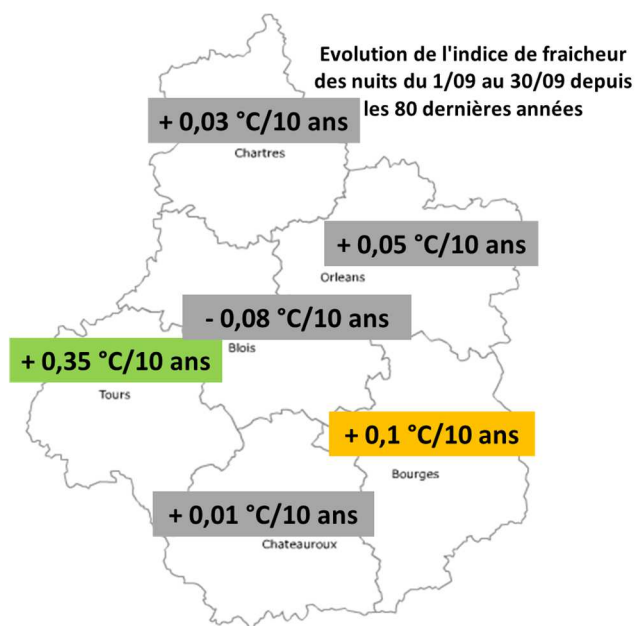
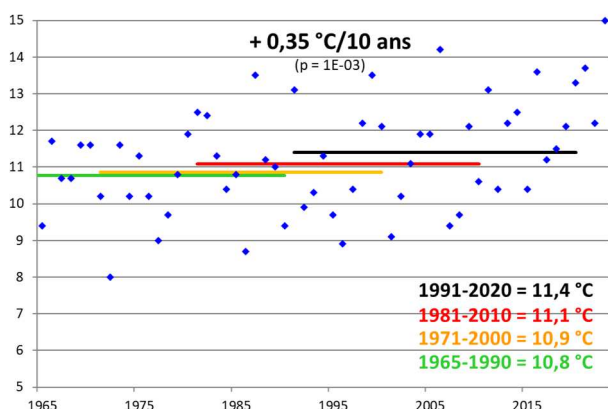
Bourges



Châteauroux



Tours



Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution °C/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1913	111	0,10	0,02	significative	0,05
28	Chartres	1945	79	0,03	0,63	non significative	0,003
36	Châteauroux	1893	131	0,01	0,777	non significative	0,001
37	Tours	1965	59	0,35	0,001	hautement significative	0,16
41	Romorantin	1953	71	-0,08	0,404	non significative	0,01
45	Orléans	1946	78	0,05	0,531	non significative	0,01

On constate 2 stations ayant une évolution significative de l'indice de fraîcheur des nuits, mais relativement faibles :

- pour Bourges, +0,10°C par décennie
- pour Tours, +0,35°C par décennie



B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1^{er} au 30 septembre

Indicateurs 2 : Classes des indices de fraîcheur des nuits

Séries de 1959 à 2023 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 (1951-1980 ; 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1991-2020).

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

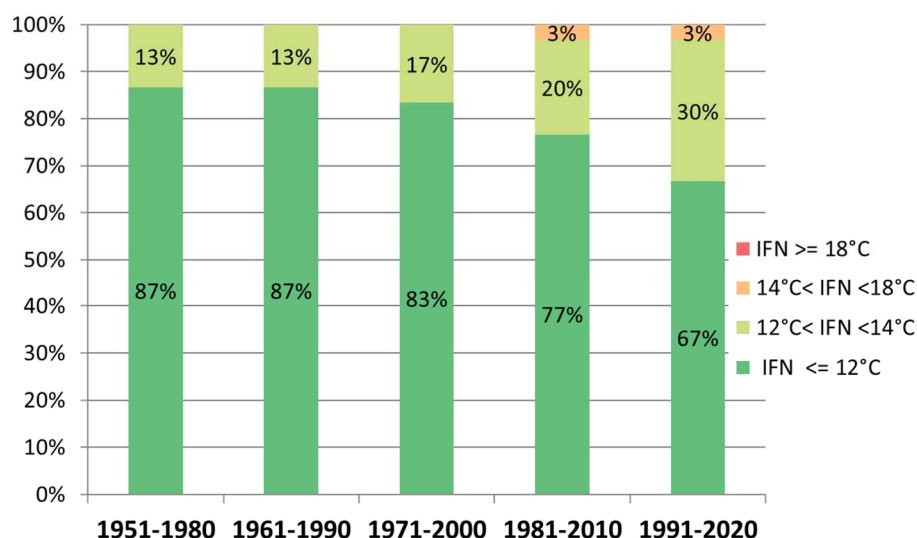
Caractéristiques	Rangs	Valeurs	Exemples : Villes (Pays)
Nuits chaudes	1	$x > 18^{\circ}\text{C}$	Marsala (I), Nabeul (T)
Nuits tempérées	2	$14^{\circ}\text{C} \leq x \leq 18^{\circ}\text{C}$	Madrid (E), Montpellier (F)
Nuits fraîches	3	$12^{\circ}\text{C} \leq x \leq 14^{\circ}\text{C}$	Porto (P), Carcassonne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

Bourges



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 « 1970 » (1951-1990) à 7 années sur 10 en « 2000 » (1991-2020).



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



Analyse

On ne constate aucune évolution franche de l'indice de fraîcheur des nuits, ni en tendance ni en variabilité, les valeurs se situant :

- pour Bourges, dans un intervalle de 7,8 °C (en 1925 et 1972) à 15 °C (en 2023)
- pour Chartres, dans un intervalle de 7,6 °C (en 1986) à 13,7 °C (en 2023)
- pour Châteauroux, dans un intervalle de 7,5 °C (en 1931 et 1972) à 14,1 °C (en 2006)
- pour Tours, dans un intervalle de 8 °C (1972) à 15 °C (en 2023)
- pour Romorantin, dans un intervalle de 5,8 °C (en 1972) à 12,5 °C (en 2023)
- pour Orléans, dans un intervalle de 7 °C (en 1972) à 13,8 °C (en 2023)

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). Lorsque 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 tendancielles 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

L'évolution de l'IFN peut avoir des conséquences importantes dans le domaine de l'œnologie. Pour ne prendre qu'un exemple, les thiols (composés soufrés) souvent recherchés dans le profil aromatique des vins vont avoir tendance à se développer en période de nuits fraîches pendant la maturation des raisins



A retenir

On ne constate pas d'évolution significative de l'indice de fraîcheur des nuits. Seule la station de Tours semble montrer une augmentation de l'indice de fraîcheur des nuits un peu plus marquée.

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

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)

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'hiver de l'année n une culture dite dérobée (ou culture intermédiaire d'été). 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-grass le 20 juin ;
- besoins thermiques en base 0 pour que la culture parvienne à maturité ;
- récolte le 1^{er} octobre 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 1^{er} octobre de l'année n 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).

Tendance linéaire sur la période 1950 – 2020 (courbe noire)

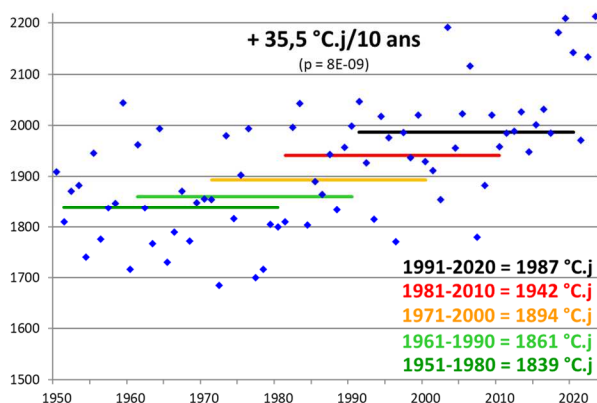
Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

📈 Évolution observée

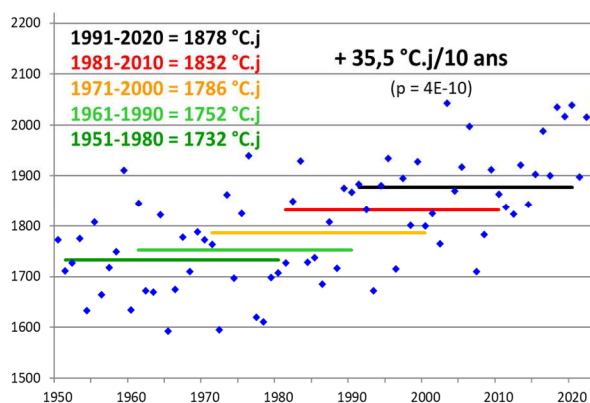
- En abscisse : Années
- En ordonnée : somme de température base 0°C

B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

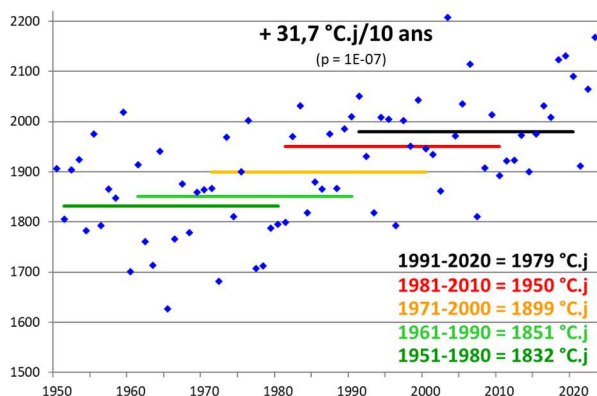
Bourges



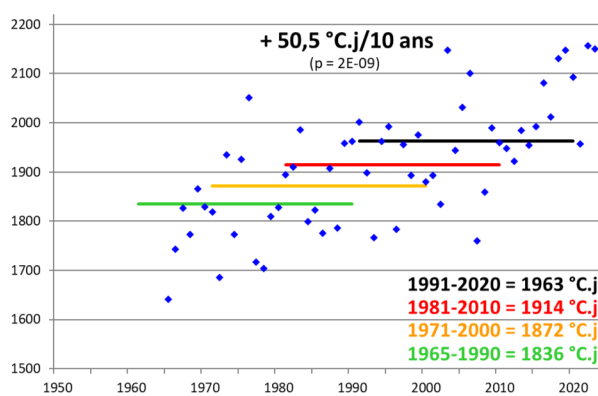
Chartres



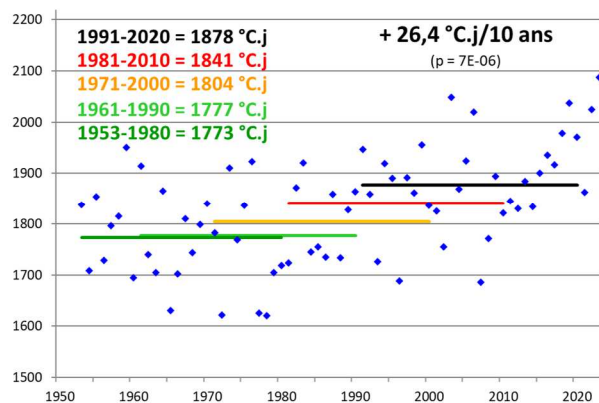
Châteauroux



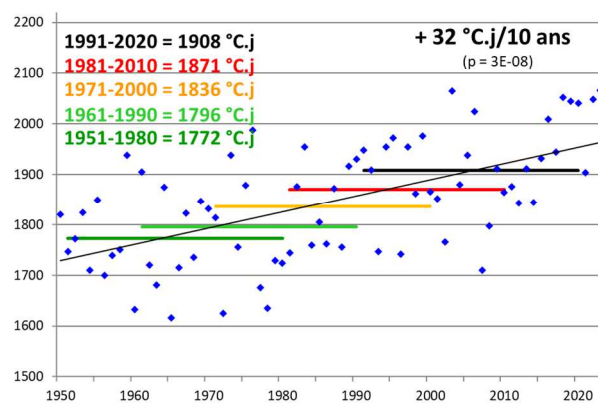
Tours



Romorantin



Orléans





B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution °C.j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	74	35,5	8,0E-09	très hautement significative	0,37
28	Chartres	1950	74	35,5	4,4E-10	très hautement significative	0,42
36	Châteauroux	1950	74	31,7	1,4E-07	très hautement significative	0,32
37	Tours	1965	59	50,5	1,6E-09	très hautement significative	0,48
41	Romorantin	1953	71	26,4	7,0E-06	très hautement significative	0,26
45	Orléans	1950	74	32,0	2,7E-08	très hautement significative	0,35

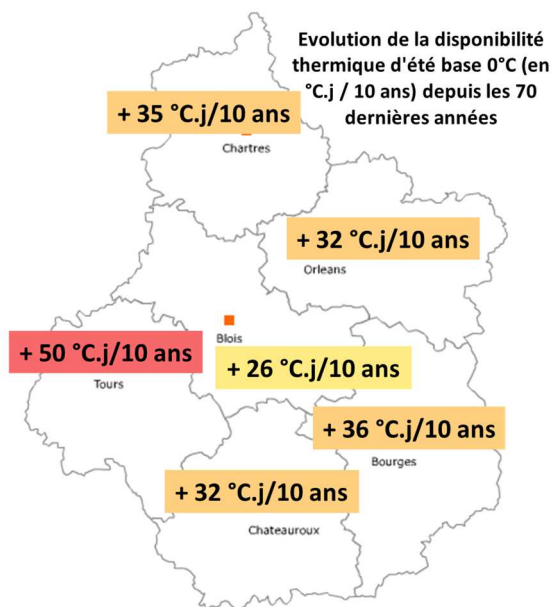
- L'évolution de la somme de température base 0°C du 20 juin au 30 septembre depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont toutes significatives de :

- + 35,5 °C.j par décennie à Bourges et à Chartres,
- + 31,7 °C.j par décennie à Châteauroux,
- + 50,5 °C.j par décennie à Tours,
- + 26,4 °C.j par décennie à Romorantin,
- + 32 °C.j par décennie à Orléans,

Soit une moyenne de + 40,5 °C.j par décennie (moyenne des 6 stations départementales)

- 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)





B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire



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

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)



Calcul de l'indicateur

Cumul des températures moyennes journalières à partir de la base de 0°C pour la période du 15 octobre année n au 1^{er} mai année n+1 (nuage de points bleus).

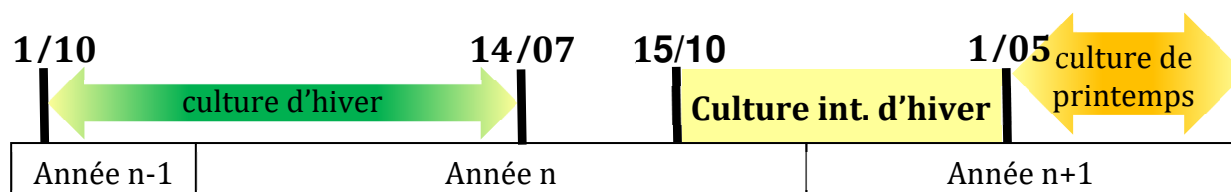
Tendance linéaire sur la période 1950 - 2023 (courbe noire)

Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

La quantité de chaleur ("disponibilité thermique") disponible durant l'hiver et le printemps, détermine la possibilité (ou non) de mettre en place une culture dite dérobée (ou culture intermédiaire d'hiver). Or, le réchauffement climatique accroît tendanciellement la disponibilité thermique hivernale et printanière. 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 le 15/10 de l'année n, entre une culture d'hiver et une culture de printemps (année n+1) ;
- besoins thermiques en base 0 pour que la culture parvienne à maturité ;
- récolte le 1^{er} mai sous forme d'ensilage pour pouvoir implanter la culture d'automne de l'année n+1

B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

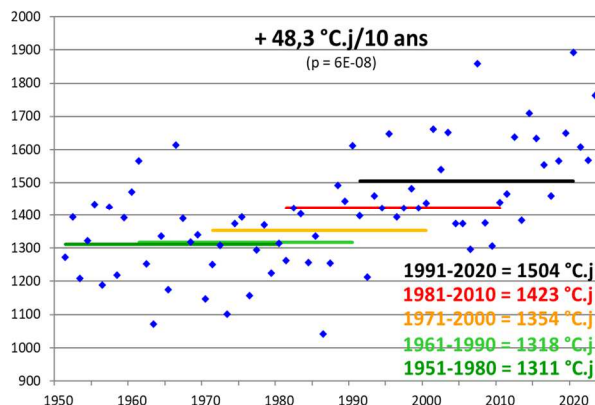


Évolution observée

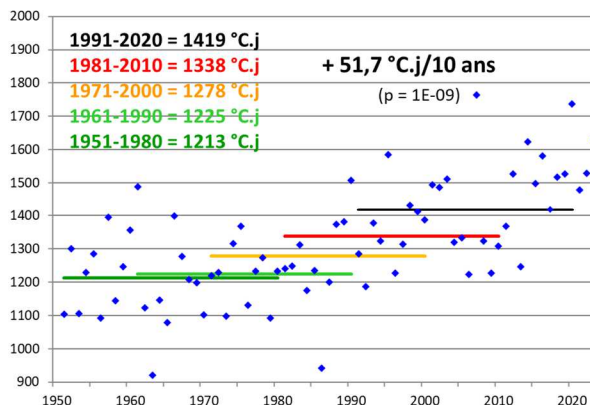
- En abscisse : Années
- En ordonnée : somme de température base 0°C

B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

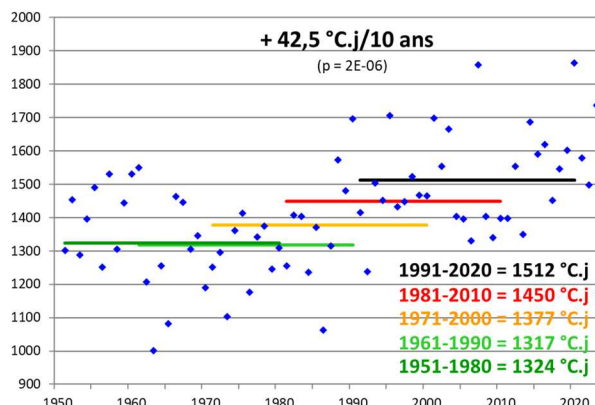
Bourges



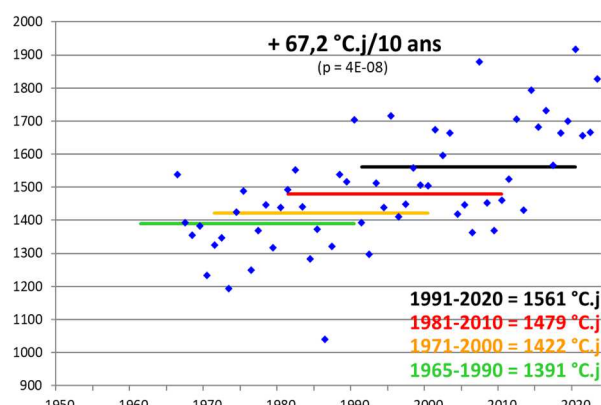
Chartres



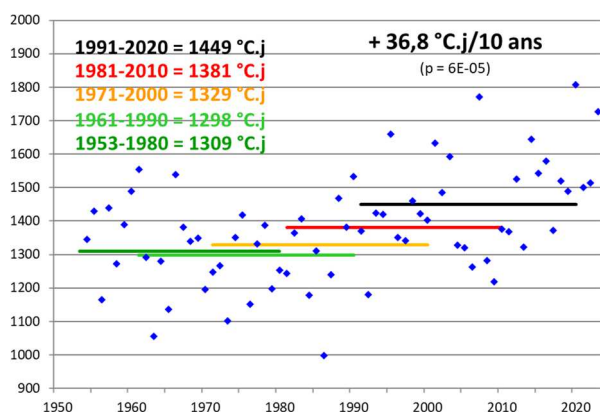
Châteauroux



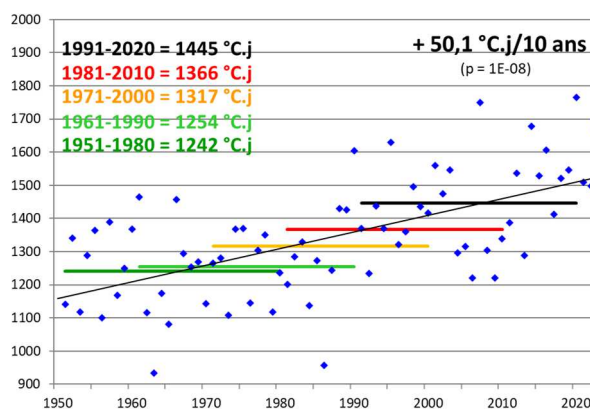
Tours



Romorantin



Orléans





B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

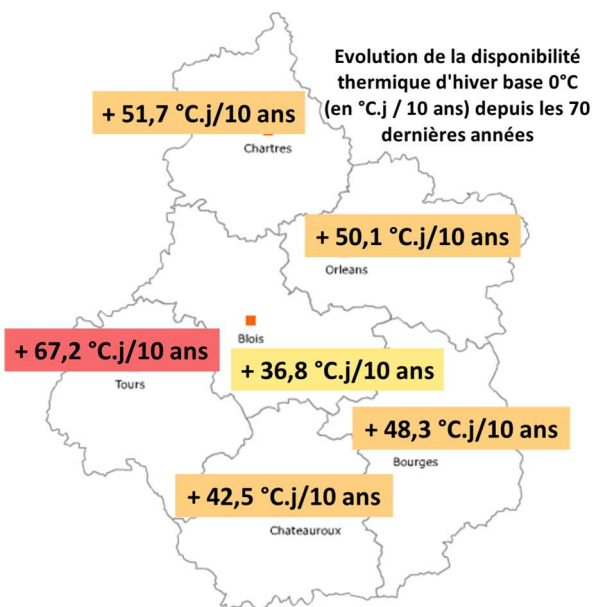
Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution en °C.j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	73	48,3	5,6E-08	très hautement significative	0,3
28	Chartres	1950	73	51,7	1,3E-09	très hautement significative	0,4
36	Châteauroux	1950	73	42,5	2,4E-06	très hautement significative	0,3
37	Tours	1965	58	67,2	3,9E-08	très hautement significative	0,4
41	Romorantin	1953	70	36,8	5,6E-05	très hautement significative	0,2
45	Orléans	1950	73	50,1	1,2E-08	très hautement significative	0,4

L'évolution de la somme de température base 0°C du 15 octobre au 1^{er} mai depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont toutes significatives, de :

- + 48,3 °C.j par décennie à Bourges,
- + 51,7 °C.j par décennie à Chartres,
- + 42,5 °C.j par décennie à Châteauroux,
- + 67,2 °C.j par décennie à Tours,
- + 36,8 °C.j par décennie à Romorantin,
- + 50,1 °C.j par décennie à Orléans,

Soit une moyenne de + 56 °C.j par décennie (moyenne des 6 stations départementales)



- 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)



B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire

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 **+ 40,5 °C.j par décennie** (moyenne des 6 stations étudiées). 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-grass). 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.

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. En revanche, 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. En plus de l'avancée des dates de semis, l'élévation des températures attendue pour le XXI^{ème} siècle entraînera une diminution de la durée des stades phénologiques, donc une avancée importante de la date de maturité. Ainsi, cette CIPAN pourrait se transformer en véritable culture intermédiaire avec un objectif de rendement de plus en plus important, dont l'exportation serait destinée à alimenter le sol, un animal voire un méthaniseur. Cette interculture peut être récoltée fin avril sans désorganiser l'assolement initial prévu en culture de printemps 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 chez les céréaliers notamment pour faire de la biomasse énergétique.



B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire



A retenir

Concernant les cultures intermédiaires d'été, la disponibilité thermique estivale a augmenté tendanciuellement de **+ 40,5 °C.j par décennie** 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 d'orge). A noter que seule la dimension thermique est étudiée ici ; or ces cultures seront de plus en plus touchées par l'accroissement du déficit hydrique estival. Ces cultures intermédiaires d'été (hors irrigation) ne constituent donc pas une opportunité à long terme.

Concernant les cultures intermédiaires d'hiver, la disponibilité thermique « hivernale » (du 15 octobre année n au 1^{er} mai année n+1) a augmenté tendanciuellement de **+ 56 °C.j par décennie**, rendant de plus en plus envisageable des cultures en dérobé avant culture de printemps.

Même si la vernalisation (besoin en froid l'hiver) des cultures d'hiver est difficile à caractériser, il est à supposer un avancement des stades phénologiques des cultures d'hiver, ce qui permettrait de valoriser cette culture avant une culture de printemps. L'élévation des sommes de température printanière permettra d'obtenir de plus en plus de biomasse pour cette culture intermédiaire d'hiver (ensilage en fin avril) sans avoir recours à l'irrigation (voir indicateur déficit hydrique).



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.

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

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)

Calcul de l'indicateur

Evolution des dates de franchissement de la somme de température base 0°C de 200°CJ, à compter du 1^{er} janvier (nuage de points bleus).

Tendance linéaire sur la période 1950 – 2023 (courbe noire) si significativité

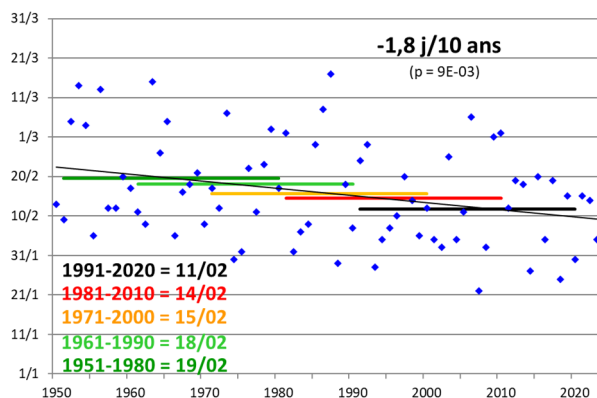
Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

Évolution observée

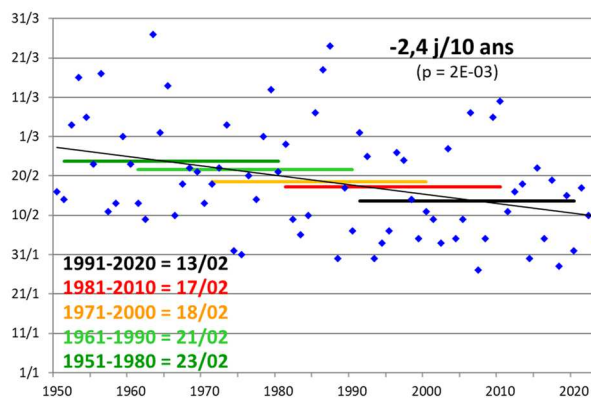
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date

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

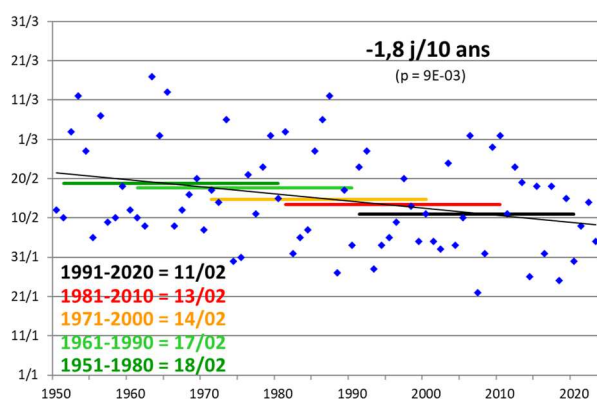
Bourges



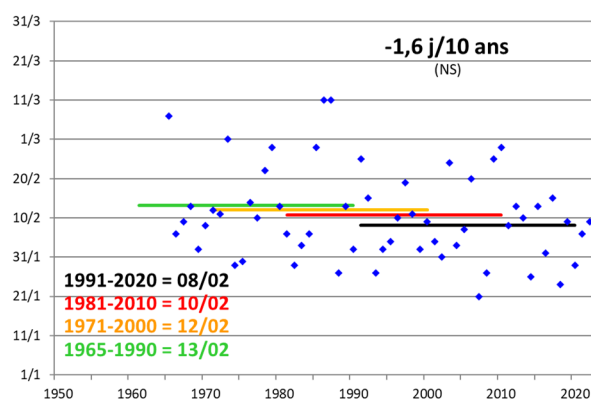
Chartres



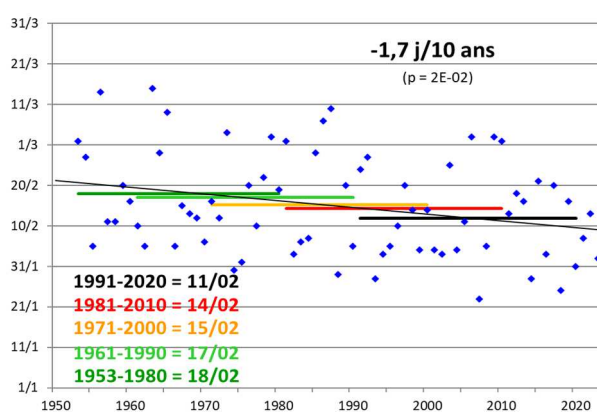
Châteauroux



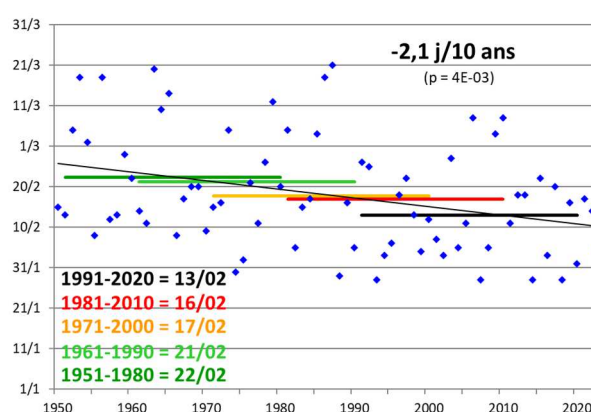
Tours



Romorantin



Orléans



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

Analyse

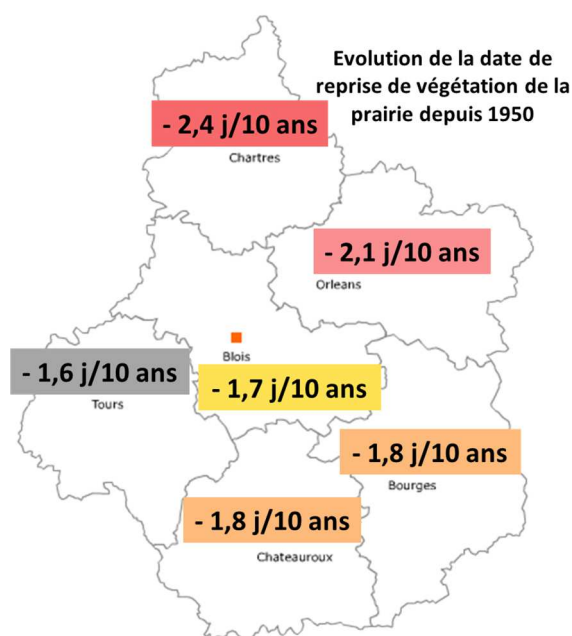
Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution °C.j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	74	-1,8	9,5E-03	hautement significative	0,09
28	Chartres	1950	74	-2,4	1,7E-03	hautement significative	0,13
36	Châteauroux	1950	74	-1,8	9,2E-03	hautement significative	0,09
37	Tours	1965	59	-1,6	7,6E-02	non significative	0,05
41	Romorantin	1953	71	-1,7	2,0E-02	significative	0,08
45	Orléans	1950	74	-2,1	4,5E-03	hautement significative	0,11

L'évolution de la date de reprise de végétation de la prairie depuis 1950 (pour les stations de Bourges et Chartres) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont significatives (sauf Tours) :

- 1,8 j par décennie à Bourges et Châteauroux
- 2,4 j par décennie à Chartres
- 1,7 j par décennie à Romorantin
- 2,1 j par décennie à Orléans
- 1,6 j par décennie à Tours (NS)

La date moyenne de reprise de végétation des 6 stations est le 11 février sur la période 1991-2020. La tendance de **-1,9 j par décennie** (moyenne des 6 stations départementales) semble modéré par rapport à d'autres indicateurs thermiques, ce qui peut s'expliquer par :

- le mode de calcul de l'indicateur (en base 0°C) 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 porte principalement sur la zone estivale alors que cet indicateur parle principalement de la période hivernale.



La date de reprise de végétation (200°CJ base 0°C initialisé au 1er janvier) est très variable d'une année à l'autre (variabilité inter-annuelle) car R² moyen = 0,1. La date la plus précoce a eu lieu le 21 janvier à Tours en 2007 et la plus tardive a eu lieu le 27 mars à Chartres en 1963.

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



Indicateurs 2 : Date de mise à l'herbe

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)



Calcul de l'indicateur

- Evolution des dates de franchissement de la somme de température base 0°C de 300°CJ, à compter du 1^{er} février (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1950 – 2023 (courbe noire) si significativité
- Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)



Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date



Analyse

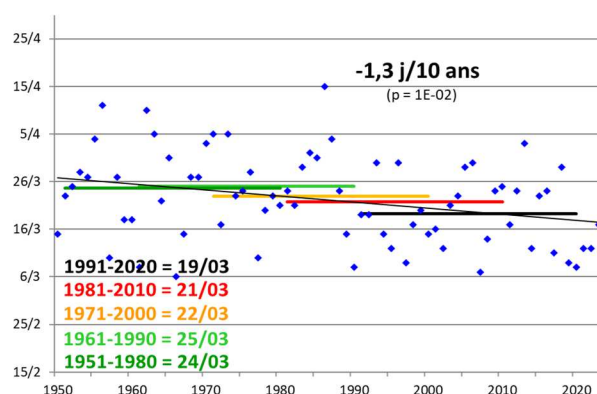
Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution °C.j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	74	-1,3	9,6E-03	hautement significative	0,09
28	Chartres	1950	74	-1,6	3,5E-03	hautement significative	0,11
36	Châteauroux	1950	74	-1,2	1,6E-02	significative	0,08
37	Tours	1965	59	-1,6	1,6E-02	significative	0,10
41	Romorantin	1953	71	-1,1	3,6E-02	significative	0,06
45	Orléans	1950	74	-1,4	8,0E-03	hautement significative	0,09

L'évolution de la date de mise à l'herbe depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont toutes significatives pour les stations de :

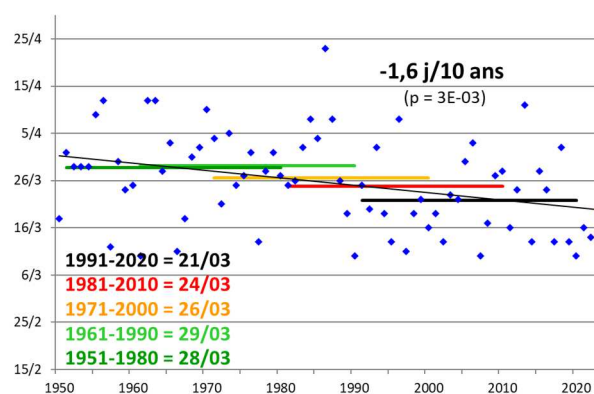
- Bourges (-1,3 j par décennie)
- Chartres (-1,6 j par décennie)
- Châteauroux (-1,2 j par décennie)
- Tours (-1,6 j par décennie)
- Romorantin (-1,1 j par décennie)
- Orléans (-1,4 j par décennie)

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

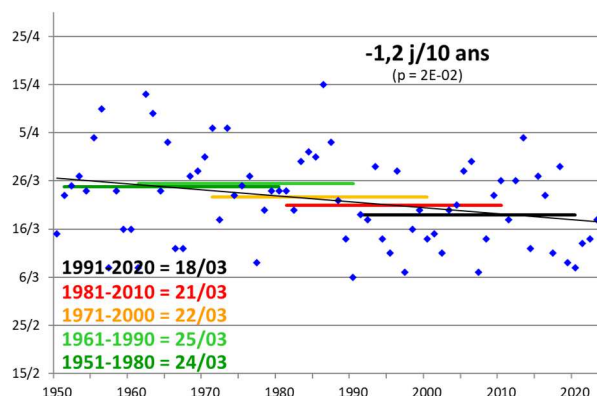
Bourges



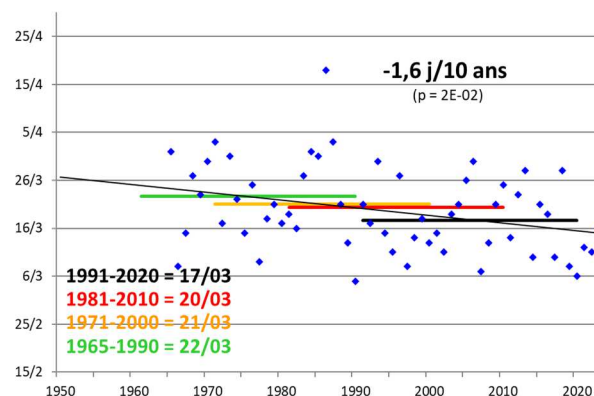
Chartres



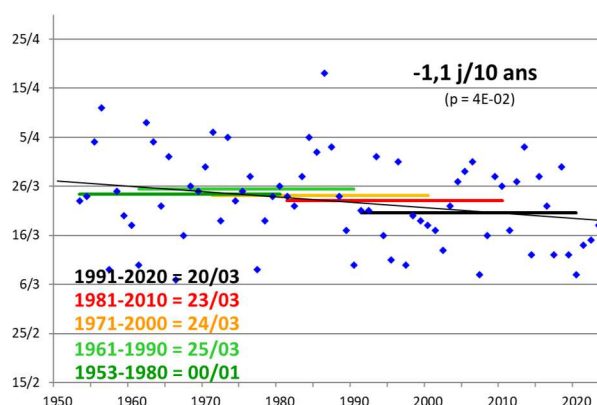
Châteauroux



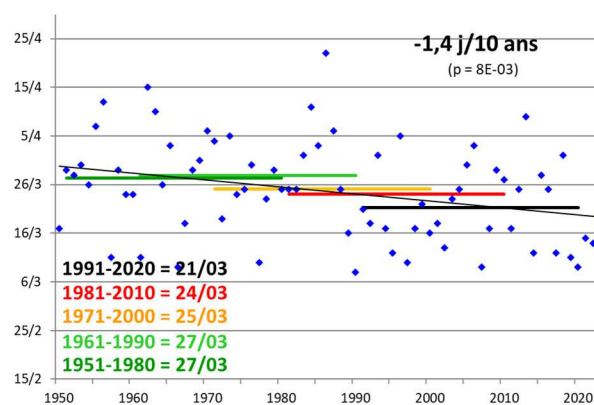
Tours



Romorantin



Orléans



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

Analyse

Ces différences d'évolution se retrouvent dans la moyenne des régions voisines. Par exemple :

- 1,9 j par décennie au Mans ($P < 0,05$) entre 1959 et 2016 (ORACLE PdL, 2018)
- 1,1 j par décennie (NS) à Nevers-Marzy entre 1959 et 2015 (ORACLE BFC, 2021)

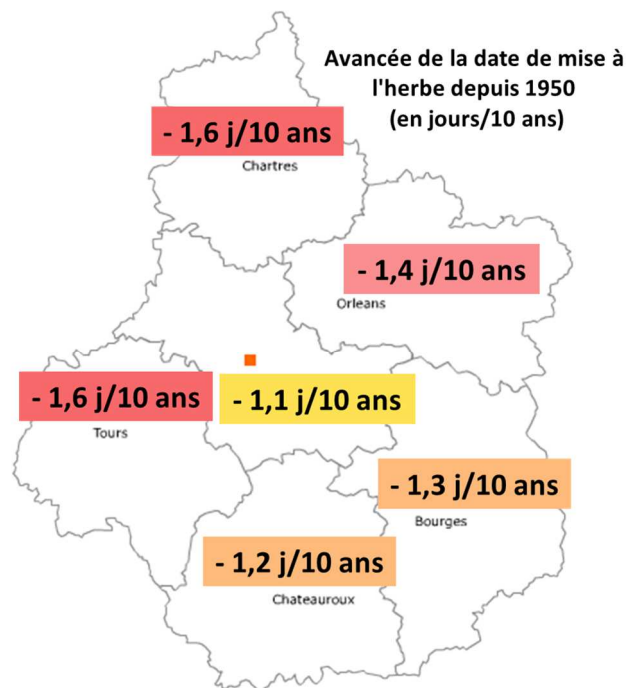
La date de mise à l'herbe (300°CJ base 0°C initialisé au 1er février) est très variable d'année en année. La date la plus précoce a eu lieu le 5 mars à Tours en 1990 et la plus tardive a eu lieu le 23 avril à Chartres en 1986.

La tendance à l'avancement de la date de mise à l'herbe, est semblable à l'indicateur précédent avec **- 1,4 jours par décennie** (moyenne des 6 stations).

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 (1950-2023), la date de reprise de végétation et la date de mise à l'herbe avance de respectivement - 1,9 et -1,4 jour par décennie (moyenne des 6 stations départementales). Le mode de calcul des indicateurs (en base 0°C) et la période sur laquelle il porte (période hivernale) expliquent que cette variation tendancielle reste modeste.

Sous réserve de confirmation dans d'autres sites de la région, ce critère de précocité de récolte ou pâturage, pris isolément n'apparaît pas être un levier majeur d'esquive à la baisse annoncée de fourrages estivaux.



B8-Episodes pluvieux intenses

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

🕒 Indicateurs 1

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)

🧮 Calcul de l'indicateur

Nombre de jours par an où le cumul journalier des précipitations dépasse 20 mm (nuage de points bleus)

Tendance linéaire sur la période 1950 – 2023 (courbe noire) si tendance significative

Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

📈 Évolution observée

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

📈 Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution j/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	72	0,12	0,3	non significative	0,01
28	Chartres	1950	66	0,10	0,3	non significative	0,01
36	Châteauroux	1950	73	0,06	0,6	non significative	0,00
37	Tours	1965	55	-0,04	0,8	non significative	0,00
41	Romorantin	1953	66	-0,02	0,9	non significative	0,00
45	Orléans	1950	69	0,14	0,2	non significative	0,03

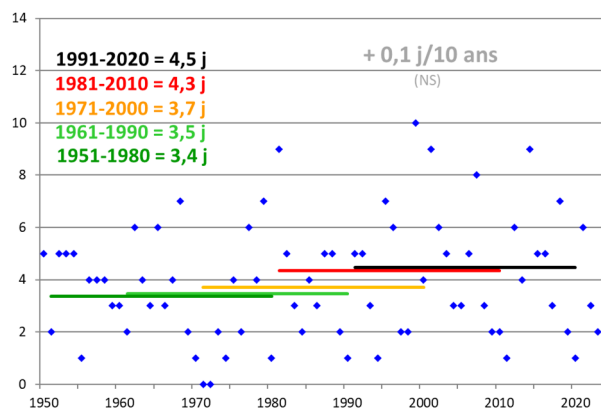
L'évolution du nombre de jours de pluies intenses (cumuls journaliers supérieurs à 20 mm) depuis 1950 (1965 pour la station de Tours) montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période ne sont pas significatives sur toutes les stations départementales :

- + 0,12 j par décennie à Bourges,
- + 0,1 j par décennie à Chartres,
- + 0,06 j par décennie à Châteauroux,
- 0,04 j par décennie à Tours,
- 0,02 j par décennie à Romorantin,
- + 0,14 j par décennie à Orléans.

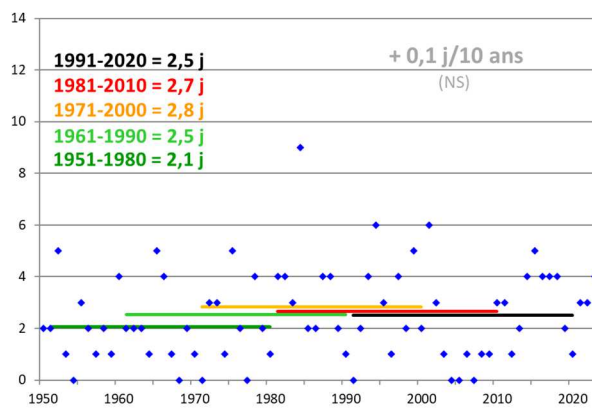


B8-Episodes pluvieux intenses

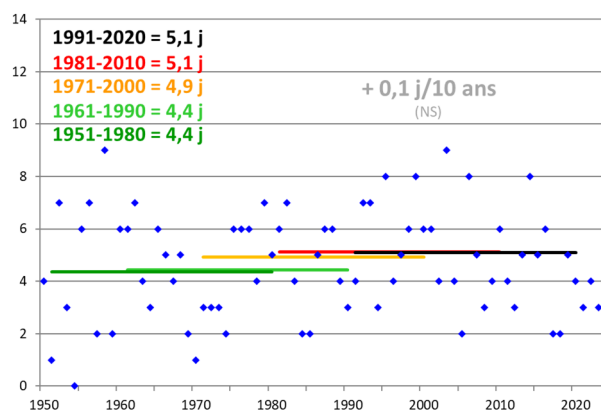
Bourges



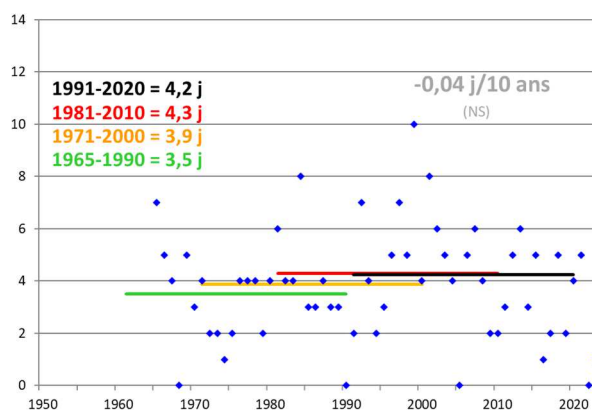
Chartres



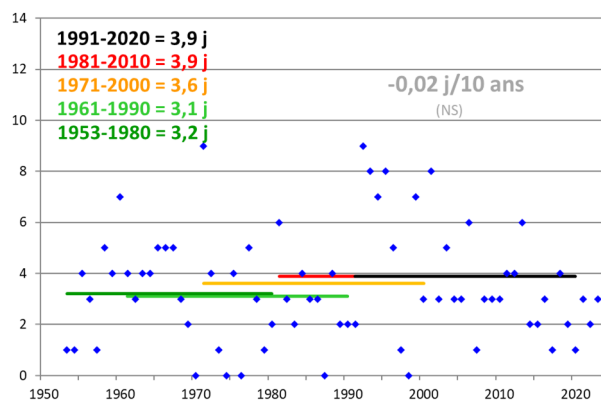
Châteauroux



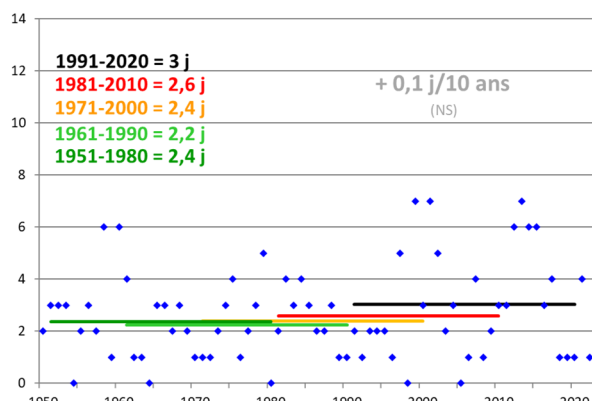
Tours



Romorantin



Orléans





B8-Episodes pluvieux intenses

Analyse

- Cet indicateur est extrêmement variable d'une année à l'autre (variabilité interannuelle) car R^2 moyen = 0,01.
- 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 (3,9 jours par an en moyenne sur la période 1991-2020).

Depuis 1950, 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.



A retenir

On ne constate aucune évolution du nombre de jours où les pluies journalières dépassent 20 mm, ni en tendance, ni en variabilité sur les 6 stations de la région Centre Val-de-Loire.

D'autres événements météorologiques violents (vents forts, grêles, 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>

B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France

Indicateurs 1

Stations disponibles :

- 18 : Bourges (série de 1950 à 2023)
- 28 : Chartres (série de 1950 à 2023)
- 36 : Châteauroux (série de 1950 à 2023)
- 37 : Tours (série de 1965 à 2023)
- 41 : Romorantin (série de 1953 à 2023)
- 45 : Orléans (série de 1950 à 2023)

Calcul de l'indicateur

- Nombre de cycles par an du Thrips Tabaci sachant qu'1 cycle de Thrips Tabaci est réalisé en 228,2 °C.J base 11,5°C (initialisé au 1^{er} janvier) (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire sur la période 1950 – 2023 (courbe noire)
- Moyenne trentenaire (ligne vert foncé : 1951-1980 ; ligne vert clair : 1961-1990 ; ligne orange : 1971-2000 ; ligne rouge : 1981-2010 ; ligne noire : 1991-2020)

Évolution observée

Le thrips tabaci est une espèce d'insectes de l'ordre des thysanoptères qui pique les feuilles de nombreuses espèces cultivées (poireau, maïs, tabac...). L'adulte est un insecte d'un millimètre de long environ, de couleur jaune pâle, à ailes longues. Il est considéré comme le plus petit insecte ailé.



Thrips tabaci.
Le stade adulte mesure 1 mm de long en moyenne.

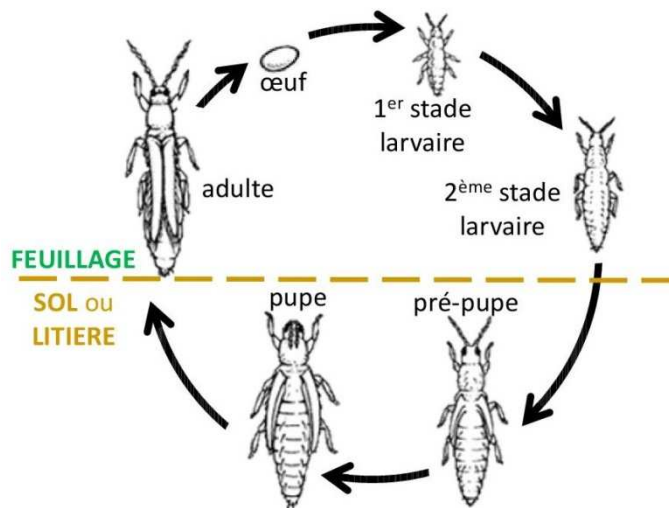
Les femelles peuvent pondre de 50 à 100 œufs. Les larves ont une forme similaire aux adultes mais sont dépourvus d'ailes, elles sont peu mobiles et restent généralement sur les feuilles où elles ont éclos. Pour effectuer leur nymphose (ou pupe), les larves se laissent tomber sur le sol et s'y enfouissent plus ou moins profondément selon la température. La reprise d'activité et du développement ont lieu au printemps lorsque les températures moyennes journalières sont supérieures à 11,5°C. Les adultes migreront alors vers les plantes hôtes.

B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci

Il a été démontré (Edelson & Magaro, 1988) que le cycle de Thrips tabaci était fortement corrélé à la somme de températures moyennes journalières supérieures à 11,5°C à partir du 1^{er} janvier. Le modèle prévoit que (en base 11,5°C, depuis le 1^{er} janvier) :

- 95,4°C.j sont nécessaires pour passer du stade œuf au stade larve,
- 132,8°C.j sont nécessaires pour passer du stade larvaire au stade adulte.

Autrement dit, le Thrips tabaci a besoin d'une somme de température base 11,5°C (depuis le 1^{er} janvier) de **228,2°C.j** pour effectuer un cycle complet.



Cycle du Thrips tabaci.

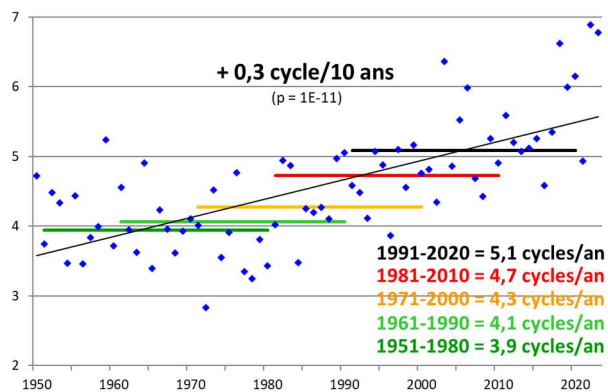
Une somme de température de 228,2°C.j (base 11,5°C depuis le 1^{er} janvier) est nécessaire pour effectuer un cycle complet

Les graphiques ci-dessous présentent le nombre de fois où la somme de température de **228,2°C.j** (en base 11,5°C, depuis le 1^{er} janvier) est atteinte dans une année, ou plus simplement, le nombre théorique de cycle du Thrips tabaci réalisé annuellement.

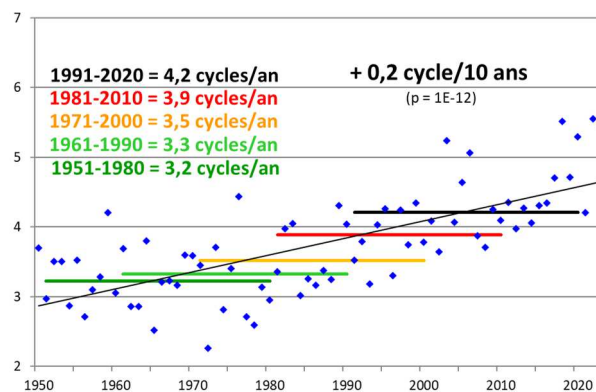
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de cycle de Thrips théorique effectué par an

B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci

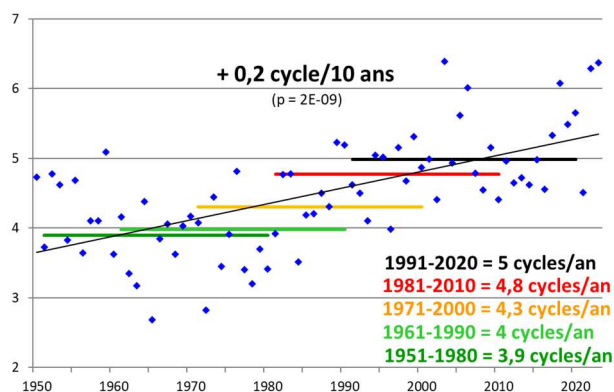
Bourges



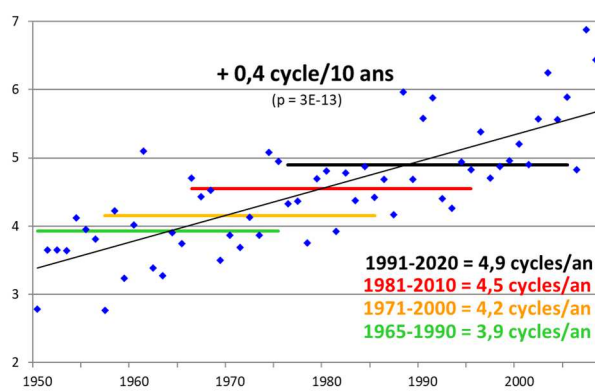
Chartres



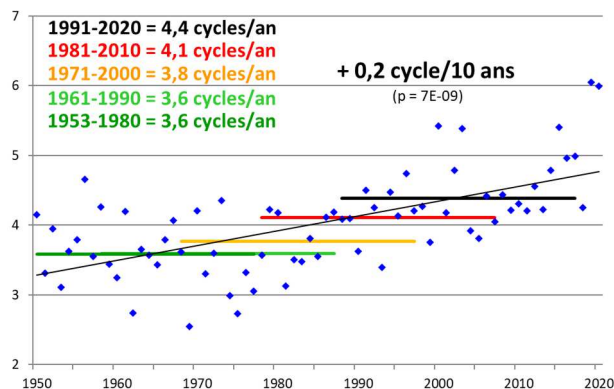
Châteauroux



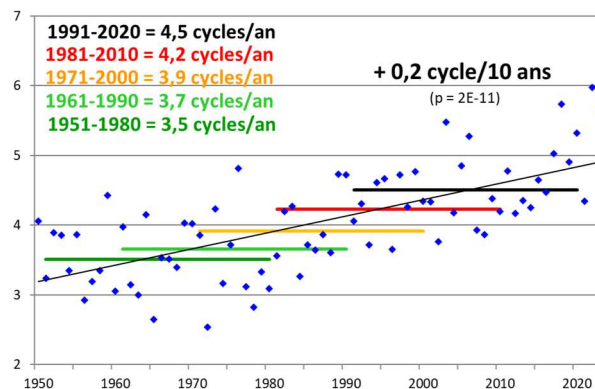
Tours



Romorantin



Orléans



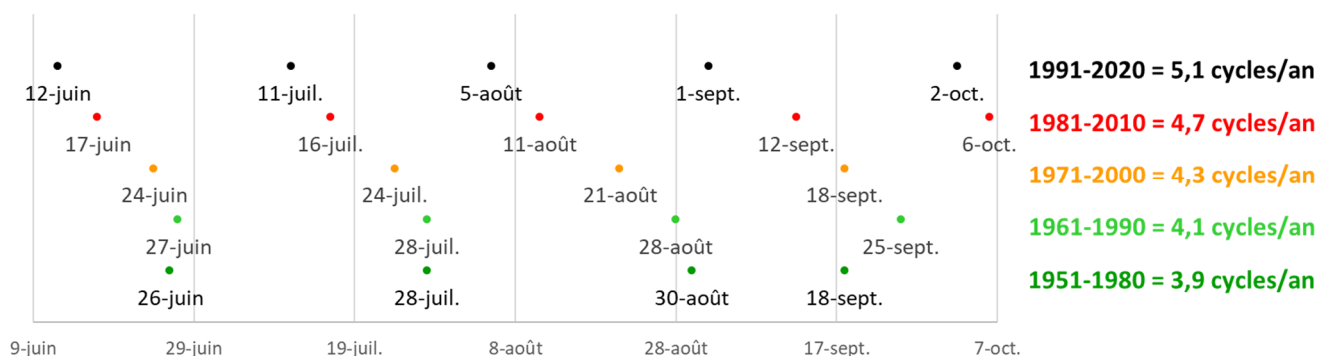
B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci

Il est également possible de calculer pour chaque normale (1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1991-2019), la date moyenne d'apparition des cycles de Thrips tabaci. Par exemple, pour la normale 1961-1990, le 1^{er} vol de Thrips tabaci (correspondant à un cycle de Thrips tabaci) arrive théoriquement le 4 juin en moyenne, et le 15 juillet pour le 2^{ème} vol, etc... Il existe donc un cumul de 228,3 °C.j base 11,5 (correspondant à un cycle de Thrips tabaci) entre chaque point de même couleur.

Les graphiques ci-dessous situent les dates moyennes d'apparition des cycles de Thrips tabaci au cours de l'année.

En abscisse : dates d'apparition des cycles de Thrips tabaci (en moyenne trentenaire) à Bourges

Bourges



Dates d'apparition théorique des cycles de Thrips tabaci (en moyenne trentenaire)

Il existe un cumul de 228,3 °C.j base 11,5 (correspondant à un cycle de Thrips tabaci) entre chaque point de même couleur).

Analyse

Dép.	Stations	1ère année disponible	Nb d'années analysées	évolution nb de cycle/10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Bourges	1950	74	0,27	1,5E-11	très hautement significative	0,47
28	Chartres	1950	74	0,24	1,2E-12	très hautement significative	0,51
36	Châteauroux	1950	74	0,23	2,2E-09	très hautement significative	0,39
37	Tours	1965	59	0,40	3,1E-13	très hautement significative	0,61
41	Romorantin	1953	71	0,21	7,2E-09	très hautement significative	0,39
45	Orléans	1950	74	0,24	2,4E-11	très hautement significative	0,46

L'évolution du nombre de cycle de Thrips tabaci augmente de manière significative, depuis 1961. Les En 70 ans, ces tendances linéaires montrent :

- + 1,9 cycle de Thrips tabaci en 70 ans à Bourges
- + 1,7 cycle de Thrips tabaci en 70 ans à Chartres
- + 1,6 cycle de Thrips tabaci en 70 ans à Châteauroux
- + 2,8 cycles de Thrips tabaci en 70 ans à Tours
- + 1,5 cycle de Thrips tabaci en 70 ans à Romorantin
- + 1,6 cycle de Thrips tabaci en 70 ans à Orléans

B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci

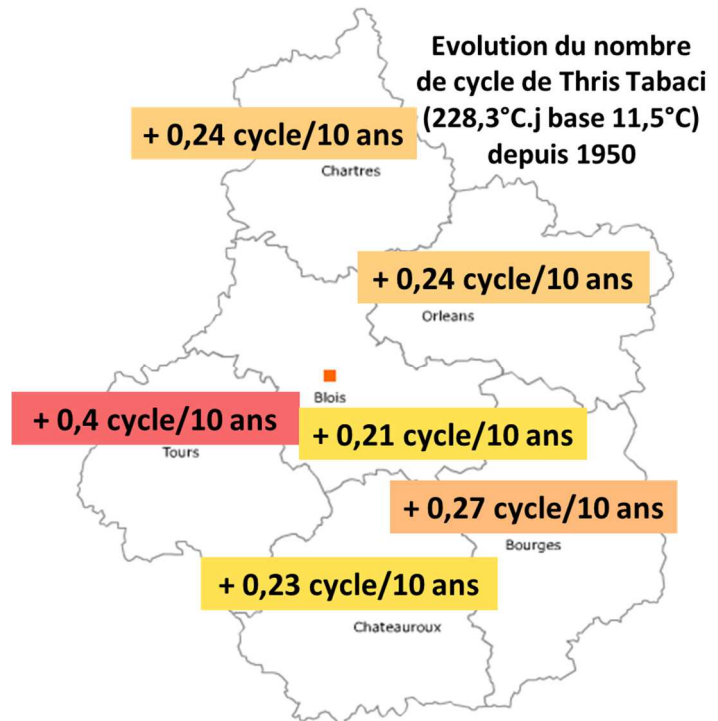
Entre 1951-1980, le nombre de cycle de Thrips tabaci était de 3,6 par an en moyenne alors que pendant la période 1991-2020, il est passé à 4,7 cycles (moyenne des 6 sites étudiées).

On constate que les dates d'apparition des cycles sont de plus en plus rapprochées en période estivale.

Le premier vol théorique de Thrips tabaci, correspondant à l'apparition du 1^{er} cycle dans l'année, arrive de plus en plus tôt. En l'espace de 40 ans, le premier cycle a été avancé de **14 jours**, soit du 30 juin au 16 juin (moyenne des 6 sites étudiés).

A noter que cet insecte est fortement corrélé aux sommes de températures mais à l'avenir, il est possible que d'autres phénomènes puissent perturber cette corrélation (accélération ou diminution du cycle de développement) ; par exemple, besoin en jour froid (vernalisation) pour commencer son développement, nombre de jours très chauds bloquant le développement, évolution de la pluviométrie et/ou humidité...

Dans tous les cas, ce suivi permet d'anticiper les stratégies de lutte contre les ravageurs des plantes : pose de piègeage pour évaluer l'intensité des vols plus tôt au printemps, étude des auxiliaires ayant un développement de son cycle en adéquation avec le ravageur, etc.



A retenir

Le cycle du Thrips tabaci est corrélé à la somme de température ; il effectue son cycle en 228,2 °C.j base 11,5°C. Ainsi on peut calculer le nombre de cycle théorique qu'il peut effectuer dans une année.

Le nombre de cycle de Thrips tabaci est passé de 4 cycles par an entre 1951-1980 à 5 cycles par an entre 1991-2010, soit 1 cycle supplémentaire en 50 ans. Le premier vol théorique a également été avancé de 14 jours entre ces deux pas de temps.

L'étude de l'évolution de ces cycles permettra à l'avenir d'affiner la stratégie de lutte contre les ravageurs, positionnement des piègeages, étude de l'adéquation des cycles des auxiliaires avec ceux des ravageurs...



Pour en savoir plus

EDELSON J-V, MAGARO J-J 1988. Development of onion thrips, Thrips tabaci Lindeman, as a function of temperature. The Southwestern. Entomologist 13(3): 171-176.

VILLENEUVE F, THICOÏPE J-P, LEGRAND M, BOSC J-P, Avril 1999 : Le Thrips du poireau : quelles stratégies ? Infos Ctifl, 150:44-49



B10-Nombre de jours de sécheresse

🔑 Nature et source des données

On utilise des données issues de la chaîne d'analyse spatiale du bilan hydrique « SAFRAN-ISBA MODCOU » (SIM). La chaîne modélise les indicateurs sur une grille de 8 x 8 km, dont les valeurs sont calculées en chaque point de la grille et moyennées sur chaque département.

Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur 1 : Nombre de jours de sécheresse des sols par an

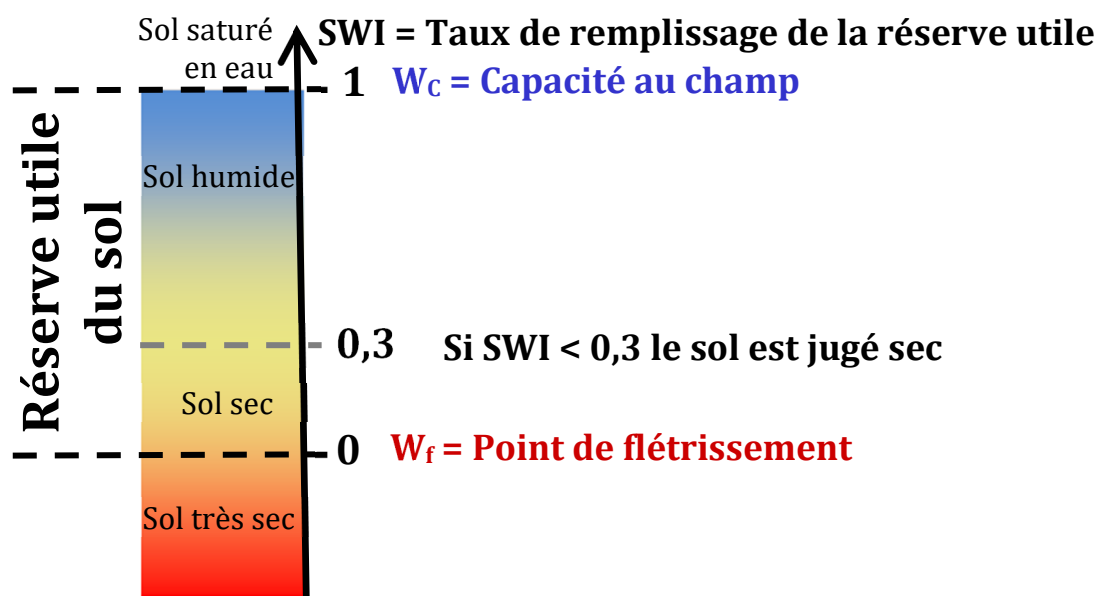
Séries de 1959 à 2020 sur 6 départements :

- 18 : Cher
- 28 : Eure-et-Loir
- 36 : Indre
- 37 : Indre-et-Loire
- 41 : Loir-et-Cher
- 45 : Loiret

📊 Calcul de l'indicateur 1

- Nombre de jours où le SWI est inférieur à 0,3 pour chaque année (nuage de points bleus).
- Tendence linéaire sur la période 1959 – 2020 (courbe noire) si significativité
- Moyenne trentenaire du nombre de jour en sécheresse des sols (droite verte : 1961-1990 ; droite orange : 1971-2000 ; droite rouge : 1981-2010 ; droite noire : 1991-2020)

Rappel sur le calcul du SWI (Soil Wetness Index) :



On considère qu'une valeur de $SWI = 0,3$ (équivalent à 30 % de la réserve utile) correspond à un seuil où les plantes n'ont plus accès facilement à l'eau, donc en état de stress hydrique.

L'indicateur calculé ici consiste à compter le nombre de jour par an où une sécheresse des sols ($SWI < 0,3$) est observée (DRIAS).

En abscisse : Années

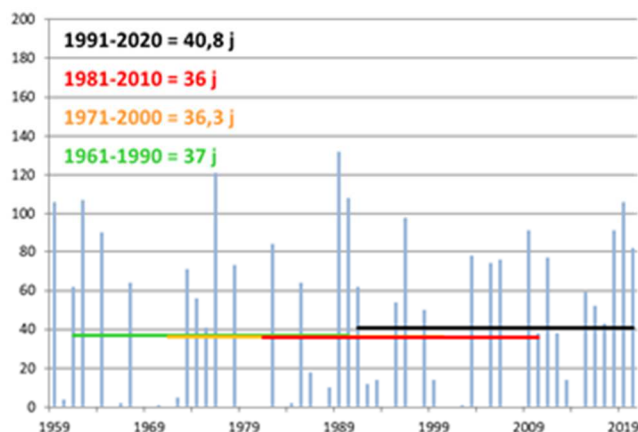
En ordonnée : Contenu en eau des sols en SWI



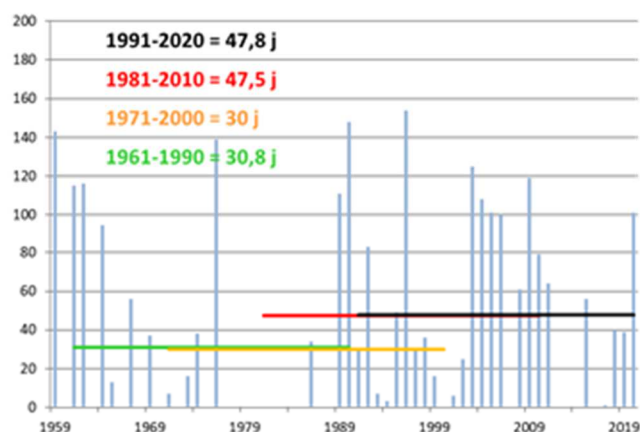
B10-Nombre de jours de sécheresse

Évolution observée

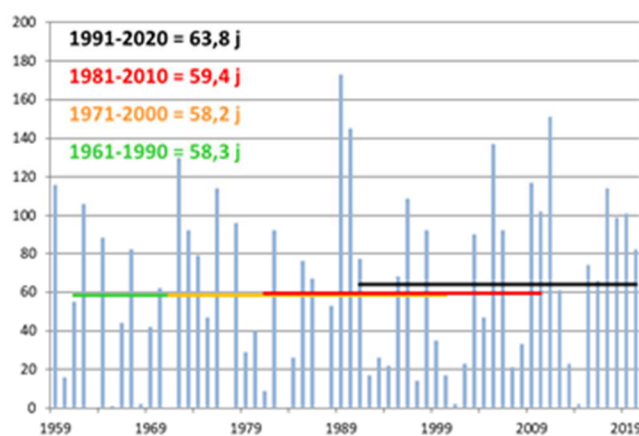
Cher (18)



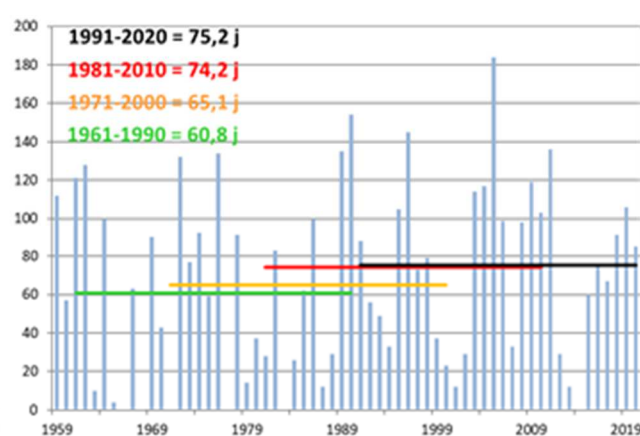
Eure-et-Loir (28)



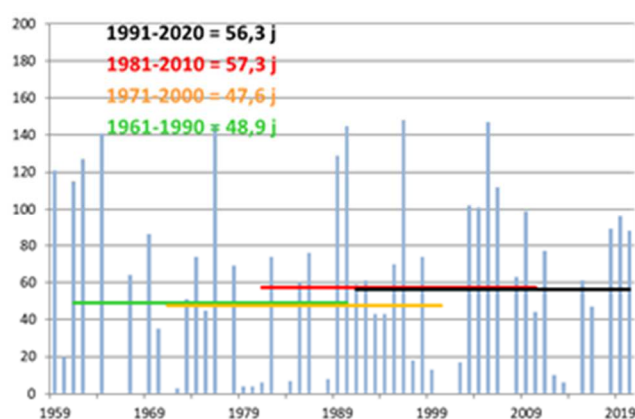
Indre (36)



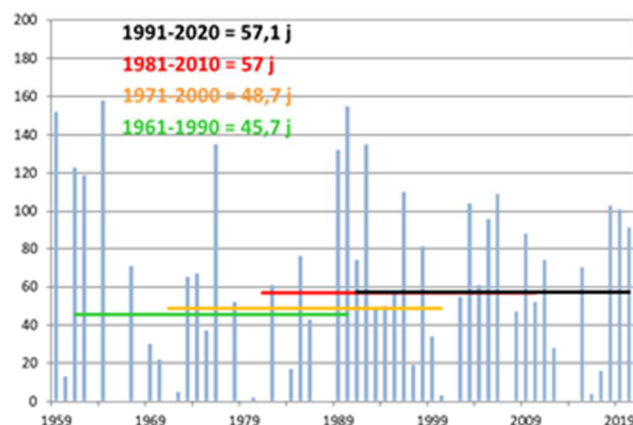
Indre-et-Loire (37)



Loir-et-Cher (41)



Loiret (45)





B10-Nombre de jours de sécheresse

Dép.	Zone d'études	1ères années disponibles	Nb d'années analysées	évolution nb de jours /10 ans	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Cher	1959	62	2,4	0,4	non significative	0,011
28	Eure-et-Loir	1959	62	1,9	0,6	non significative	0,0051
36	Indre	1959	62	4,0	0,2	non significative	0,026
37	Indre-et-Loire	1959	62	3,3	0,3	non significative	0,016
41	Loir-et-Cher	1959	62	0,8	0,8	non significative	0,001
45	Loiret	1959	62	0,8	0,8	non significative	0,0008
CVL	Centre Val-de-Loire	1959	62	2,4	0,5	non significative	0,009

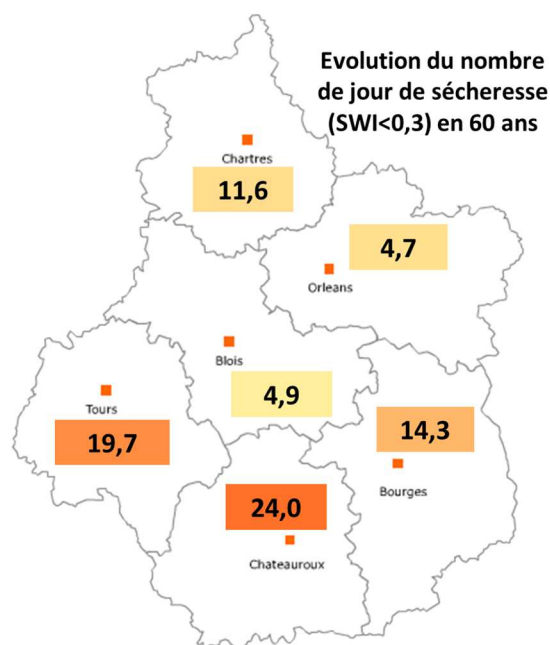
L'évolution du nombre de jours de sécheresse des sols depuis 65 ans ne montre aucune tendance significative :

- +2,4 jours par décennie dans le Cher
- +1,9 jours par décennie dans l'Eure-et-Loir
- +4 jours par décennie dans l'Indre
- +3,3 jours par décennie dans l'Indre-et-Loire
- +0,8 jour par décennie dans le Loir-et-Cher
- +0,8 jour par décennie dans le Loiret

Même si aucune tendance n'est significative, il semble que le nombre de jours de sécheresse des sols augmente plus rapidement dans le sud de la région que dans le nord de la région.

L'évolution du nombre de jour de sécheresse des sols de la région Centre Val-de-Loire n'est également pas significative avec une augmentation de +2,4 jours par décennie.

Ces évolutions non significatives se retrouvent dans la moyenne des régions voisines, notamment la Sarthe, avec **+ 3,8 j par décennie en Sarthe (NS)** de 1980 à 2015 (Colombie et al, 2017).





B10-Nombre de jours de sécheresse



Indicateurs 2 : Nombre de jours de sécheresse des sols par saison

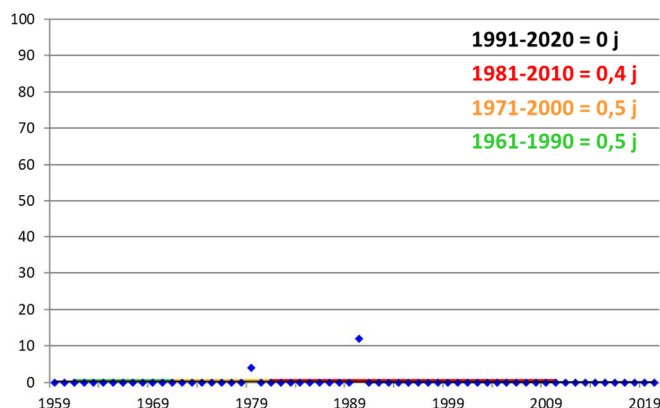
Séries de 1959 à 2023 sur 6 départements :

- 18 : Cher
- 28 : Eure-et-Loir
- 36 : Indre
- 37 : Indre-et-Loire
- 41 : Loir-et-Cher
- 45 : Loiret

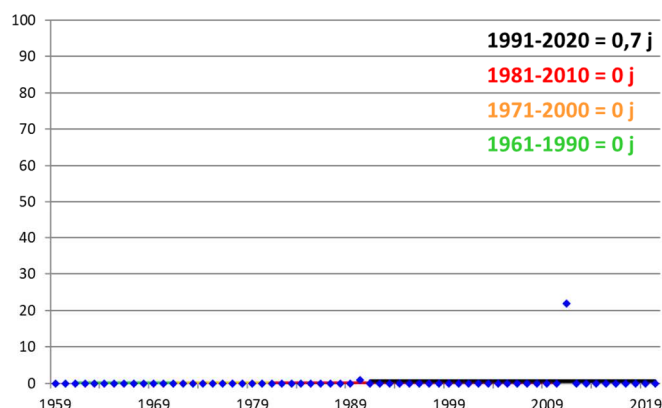


Évolution observée à Châteauroux Déols (36)

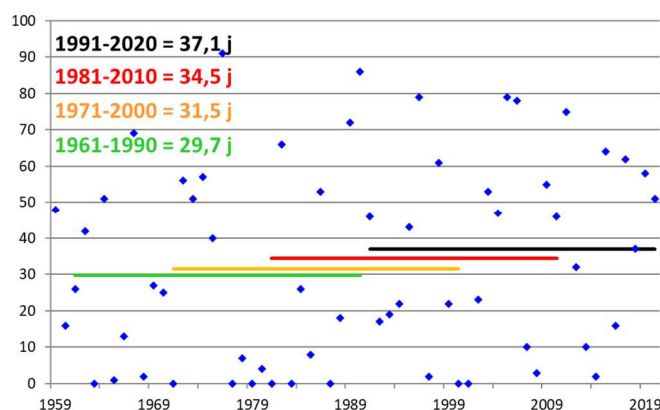
Hiver dans l'Indre (36)



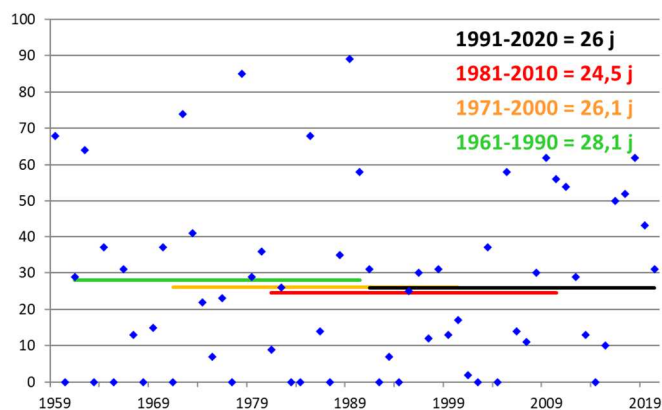
Printemps dans l'Indre (36)



Été dans l'Indre (36)



Automne dans l'Indre (36)



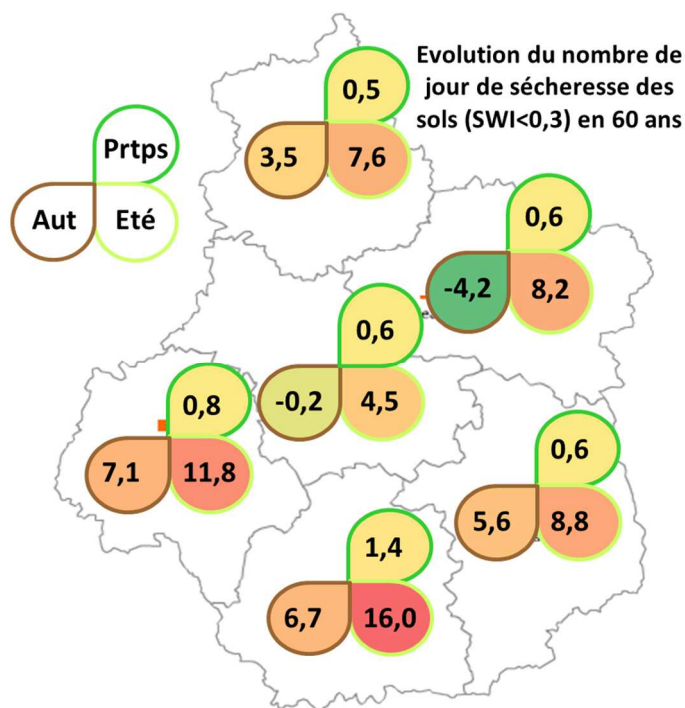
B10-Nombre de jours de sécheresse

	Cher (18)	Eure-et-Loir (28)	Indre (36)	Indre-et-Loire (37)	Loir-et-Cher (41)	Loiret (45)
Printemps	0,10 (NS)	0,09 (NS)	0,24 (NS)	0,13 (NS)	0,10 (NS)	0,11 (NS)
Été	1,46 (NS)	1,27 (NS)	2,67 (NS)	1,97 (NS)	0,75 (NS)	1,37 (NS)
Automne	0,93 (NS)	0,58 (NS)	1,12 (NS)	1,18 (NS)	-0,03 (NS)	-0,70 (NS)

Evolution saisonnière du nombre de jour de sécheresse des sols (SWI<0,3) par décennie

Concernant le nombre de jours de sécheresse des sols, aucune tendance saisonnière n'est significative.

Cependant, même s'il n'y a pas de significativité, la saison estivale semble évoluer, beaucoup plus rapidement (+2 jours de sécheresse tous les 10 ans) que les autres saisons (+0,3 jour de sécheresse tous les 10 ans au printemps et à l'automne). Logiquement, la tendance (non significative) du contenu en eau des sols plus marquée au sud de la région se retrouve dans cet indicateur.



Analyse

L'analyse du nombre de jour où l'indice SWI (Soil Wetness Index) est inférieur à 0,3 permet de mesurer le nombre de jour où la réserve utile est inférieure à 30 % correspondant à un stress hydrique des plantes. Ainsi, cela permet de caractériser le nombre de jour où les sols sont en état de sécheresse.

L'analyse de cet indicateur sur les 6 départements montre qu'aucun département ne voit évoluer significativement son nombre de jours en sécheresse que ce soit au niveau annuel ou saisonnier.

On note la forte variabilité interannuelle de cet indicateur. Par exemple, dans l'Eure-et-Loir, les années 1977 à 1985 n'ont connu aucun jour de sécheresse. A contrario, dans l'Indre-et-Loire, l'année 2005 a connu 184 jours de sécheresse (soit 1 jour sur 2) réparti équitablement entre l'été et l'automne.



B10-Nombre de jours de sécheresse

Au niveau saisonnier, l'hiver et le printemps ne connaissent pas de sécheresse des sols sauf cas exceptionnel car les réserves utiles des sols sont remplies à + de 30% jusqu'au mois de mai. Ce sont donc l'été et le printemps qui concentrent la totalité des sécheresses des sols. Même si l'évolution du nombre de jour de sécheresses estivales n'est pas significative, elle semble augmenter 3 fois plus vite que l'automne.

Au niveau des projections climatiques au cours du XXI^{ème} siècle, le projet ClimSec a mis en évidence une augmentation continue des sécheresses du sol en moyenne annuelle sur le territoire métropolitain. A la fin du XXI^{ème} siècle, les projections réalisées (à partir des trois scénarios) s'accordent globalement sur un niveau moyen annuel d'humidité des sols correspondant au niveau extrêmement sec de la période de référence 1961-1990 (Soubeyroux, 2012).



A retenir

Depuis 1959, l'évolution du nombre de jour de sécheresse, annuel et saisonnier, n'a pas évolué significativement dans les 6 départements de la région Centre-Val-de-Loire.

L'évolution de ce paramètre est toutefois à surveiller en période estivale.



Pour aller plus loin

Les tendances saisonnières peuvent masquer les tendances mensuelles. Il serait intéressant de refaire cette analyse sur chaque mois pour mettre en évidence d'éventuelles évolutions plus localisées dans le temps afin d'identifier les périodes les plus sensibles pour les plantes.



Pour en savoir plus

DRIAS, Définition des indicateurs de sécheresse, <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/183>

Soubeyroux J.-M., N. Kitova, M. Blanchard, J.-P. Vidal, E. Martin et P. Dandin, 2012 : Sécheresse des sols en France et changement climatique. *La Météorologie*, 78, p. 21-30.

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 2021. Données manquantes : années 1942, 1947, 1949.

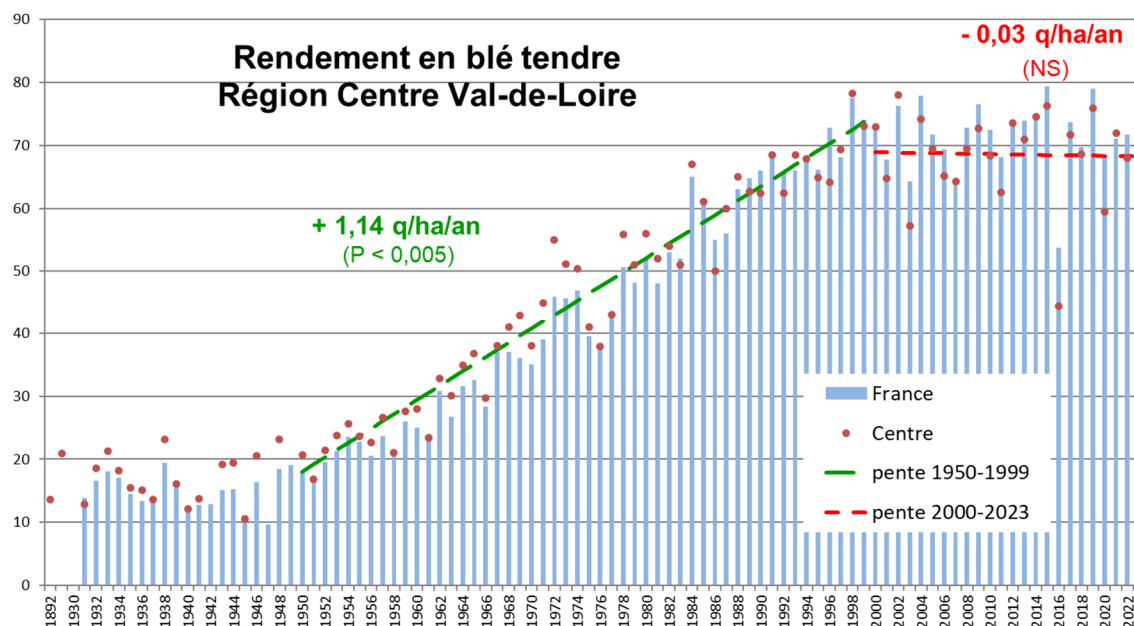
Calcul de l'indicateur 1

- Evolution des rendements en France (diagramme en bâtons bleu clair)
- Evolution des rendements en région Centre Val-de-Loire (nuage de points rouges)
- 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 – 2021 (tiret court rouge)

Évolution observée

q = quintal = 100 kg

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 1989-2021)





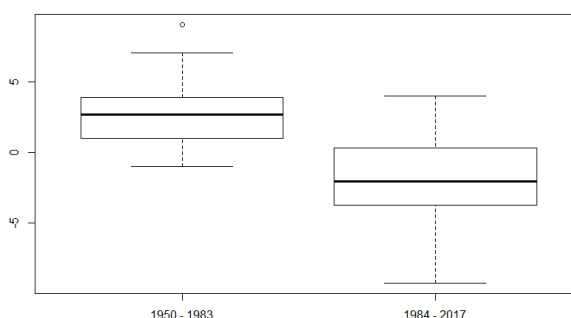
C1 – Rendement en blé tendre



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 – 2023 est en augmentation très significative (+ 0,75 q/ha/an) mais on observe une rupture de pente vers les années 2000 avec :
 - **+ 1,14 q/ha/an entre 1950 et 1999** ($P = 2.10^{-29}$)
 - **- 0,03 q/ha/an entre 2000 et 2023** (NS)
- Idem pour la tendance au niveau national :
 - **+ 1,22 q/ha/an entre 1950 et 1999** ($P = 9.10^{-37}$)
 - **+ 0,03 q/ha/an entre 2000 et 2021** (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 que le rendement moyen 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 2021. Données manquantes : années 1942, 1947, 1949.



Calcul de l'indicateur 2

- Evolution des rendements départementaux (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire du département sur la période 1950 – 1999 (tiret large vert)
- Tendence linéaire du département sur la période 2000 – 2023 (tiret court rouge)
- Rendement maximum (point violet)

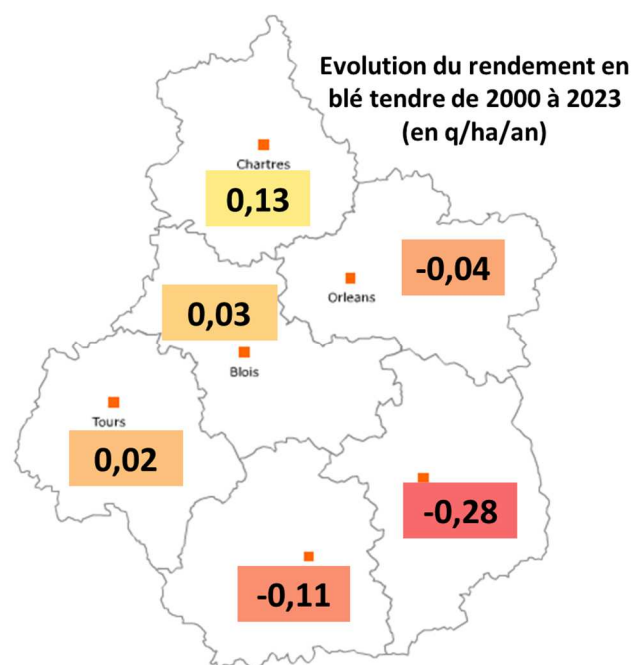


Évolution observée

q = quintal = 100 kg

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.

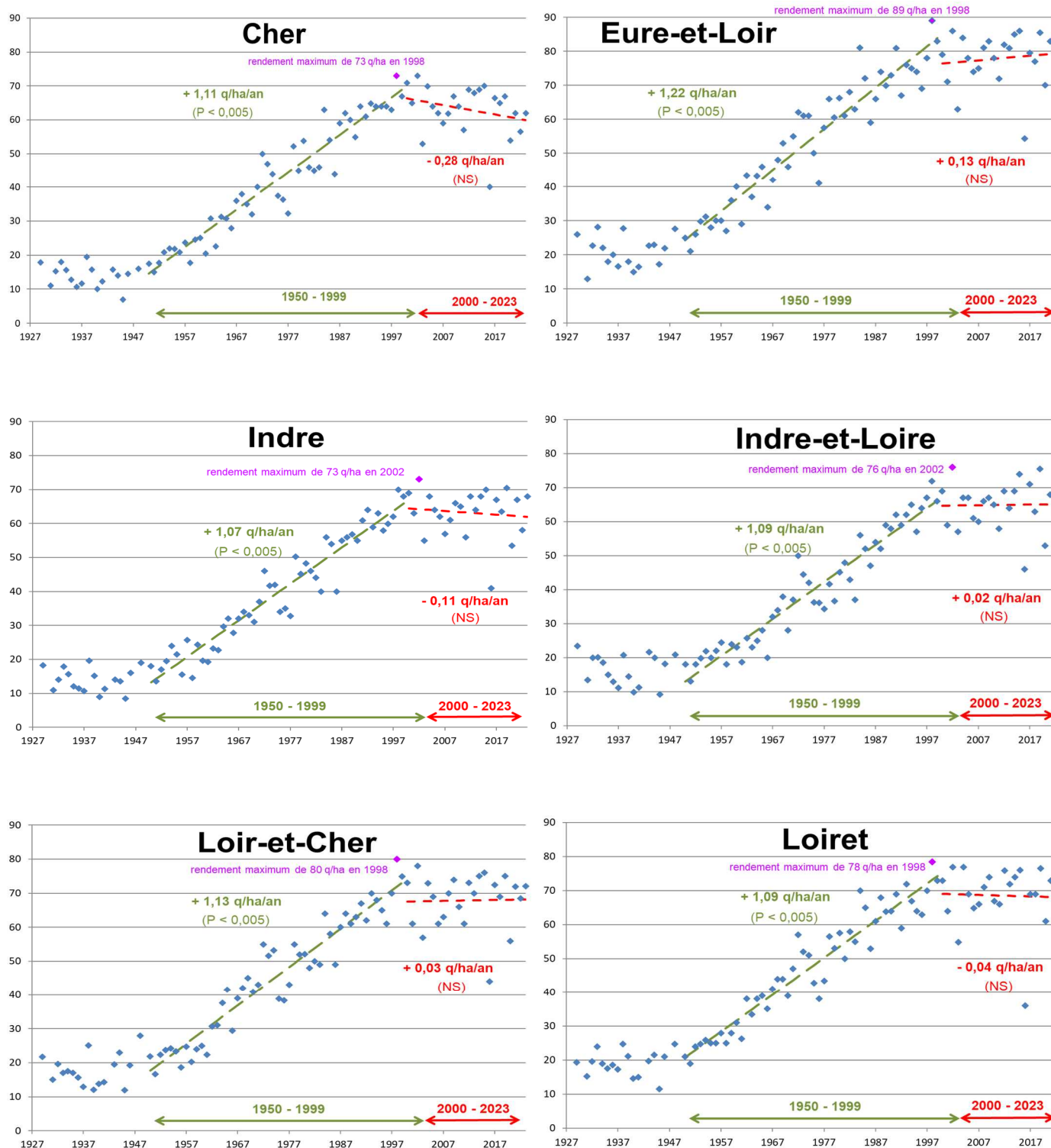


		1950 - 2023		1950 - 1999		2000 - 2023	
N° dép.	Dép.	Nb d'années analysées	évolution (en q/ha/an)	Nb d'années analysées	évolution (en q/ha/an)	Nb d'années analysées	évolution (en q/ha/an)
18	Cher	74	0,7 (P=5E-24)	50	1,1 (P=7E-28)	24	-0,28 NS
28	Eure-et-Loir		0,8 (P=7E-26)		1,2 (P=1E-25)		0,13 NS
36	Indre		0,7 (P=7E-28)		1,1 (P=3E-28)		-0,11 NS
37	Indre-et-Loire		0,8 (P=6E-30)		1,1 (P=1E-27)		0,02 NS
41	Loir-et-Cher		0,7 (P=2E-25)		1,1 (P=4E-27)		0,03 NS
45	Loiret		0,7 (P=1E-23)		1,1 (P=1E-27)		-0,04 NS
Centre Val-de-Loire			0,8 (P=1E-26)		1,1 (P=2E-29)		-0,03 NS
France			0,9 (P=1E-33)		1,2 (P=1E-36)		0,03 NS



C1 – Rendement en blé tendre

Evolution du 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 67 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 & Levraut., 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 & Levraut, 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 (+ 5,4 jours par décennie depuis 1959) et d'une augmentation des jours échaudants printaniers (+ 1,7 jours par décennie depuis 1959) (voir « Nombre de jours estivaux » et « Nombre de jours échaudants au printemps »). L'augmentation de l'ETP printanière (+9 mm par décennie) et estivale (+14 mm par décennie), l'augmentation du déficit hydrique estival (-11,7 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 »).

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



C1 – Rendement en blé tendre

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 (phase de remplissage du grain).



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>



C2 – Rendement en maïs grain

🔑 Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF

🕒 Indicateur 1

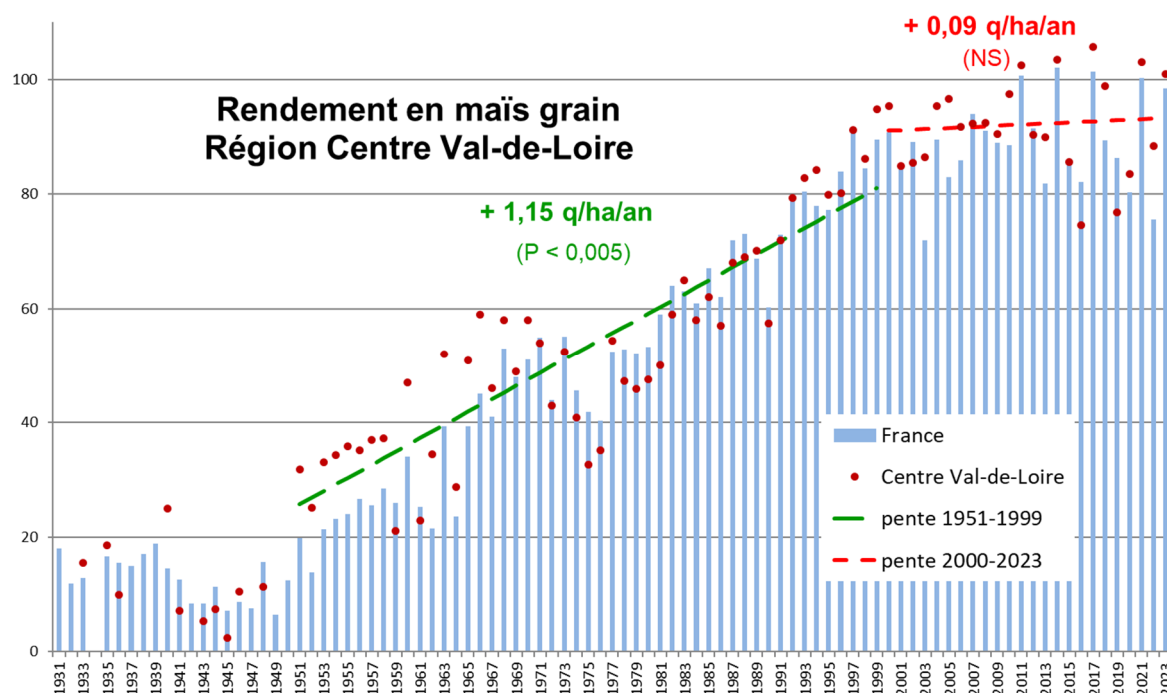
Evolution des rendements régionaux en maïs grain de 1931 à 2023. Nombreuses données manquantes avant 1951.

🧮 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 1951 – 1999 (tiret large vert)
- Tendence linéaire en région Centre Val-de-Loire sur la période 2000-2023 (tiret large rouge)

📈 Évolution observée

q = quintal = 100 kg





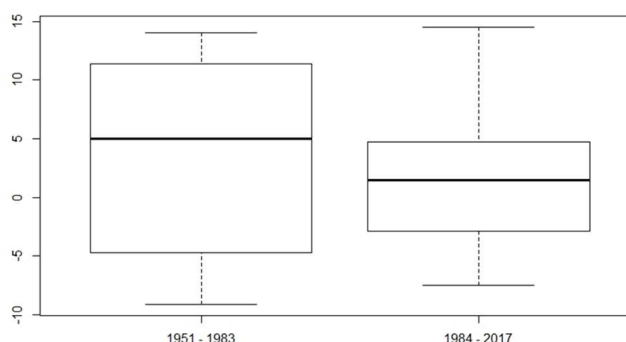
C2 – Rendement en maïs grain



Analyse

- L'évolution des rendements en maïs grain observé en région Centre Val-de-Loire depuis 1951 montre que la tendance linéaire observée sur l'ensemble de la période 1950 – 2023 est en augmentation de **+ 1,05 quintal par hectare et par an** de façon très significative ($P < 0,05$). Idem pour la tendance au niveau national avec + 1,12 quintal par hectare et par an.
- Cependant, même si la tendance n'est pas significative, on observe un ralentissement de cette augmentation avec + 0,09 quintal par hectare et par an de 2000 à 2023 en région.
- De 1951 à 2023, le rendement moyen français (61,3 q/ha) est sensiblement inférieur au rendement de la région Centre Val-de-Loire (63,8 q/ha). Il semble que ces 2 rendements aient évolué depuis 1951, on note :
 - **+ 3,48 q** de 1950 à 1983 entre le rendement moyen régional (43,1 q/ha) et français (39,6 q/ha)
 - **+ 1,6 q** de 1984 à 2017 entre le rendement moyen régional (83,9 q/ha) et français (82,3 q/ha).

Cette évolution reste à confirmer car elle n'est pas significative actuellement selon le test de Student ($P = 0,24$).



Différence de rendement du maïs grain entre la moyenne nationale et régionale au cours de la seconde moitié du XXème siècle (source : RStudio, test Student, $P = 0,24$)



C2 – Rendement en maïs grain



Indicateur 2

Evolution des rendements départementaux en maïs grain de 1951 à 2023.

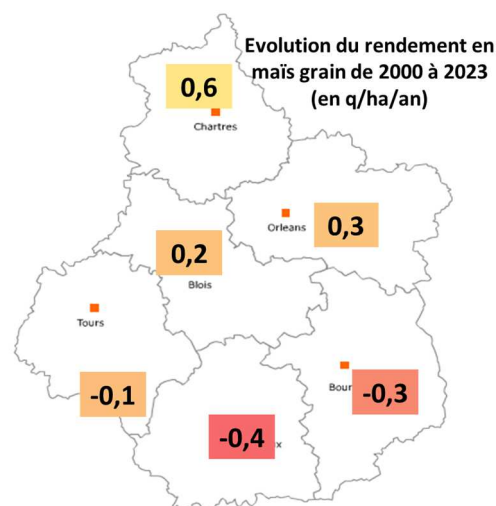


Calcul de l'indicateur 2

- Evolution des rendements départementaux (nuage de points bleus)
- Tendence linéaire en département sur la période 1951 – 1999 (tiret vert)
- Tendence linéaire en département sur la période 2000 – 2023 (tiret rouge)
- Rendement maximum (point violet)
- Pourcentage de surface irriguée du maïs grain par département (courbe violette) depuis 2000 et moyenne 2000-2023 (chiffre encadré en violet)



Évolution observée



		1951 - 2023		1951 - 1999		2000 - 2023	
N° dép.	Dép.	Nb d'années analysées	évolution (en q/ha/an)	Nb d'années analysées	évolution (en q/ha/an)	Nb d'années analysées	évolution (en q/ha/an)
18	Cher	73	1,1 (P=1E-26)	49	1,3 (P=2E-17)	24	-0,34 NS
28	Eure-et-Loir		1,2 (P=3E-33)		1,4 (P=2E-17)		0,59 (P=4E-3)
36	Indre		0,9 (P=1E-20)		1,1 (P=6E-12)		-0,45 NS
37	Indre-et-Loire		0,8 (P=9E-21)		0,8 (P=2E-10)		-0,13 NS
41	Loir-et-Cher		1,1 (P=3E-29)		1,2 (P=1E-14)		0,23 NS
45	Loiret		1,2 (P=8E-33)		1,2 (P=1E-16)		0,32 NS
Centre Val-de-Loire			1,1 (P=3E-30)		1,2 (P=2E-16)		0,09 NS
France			1,1 (P=7E-36)		1,4 (P=6E-29)		0,18 NS

Evolution du rendement en maïs grain (en q/ha/an) à différents pas de temps (1951-2023 ; 1951-1999 ; 2000-2023)

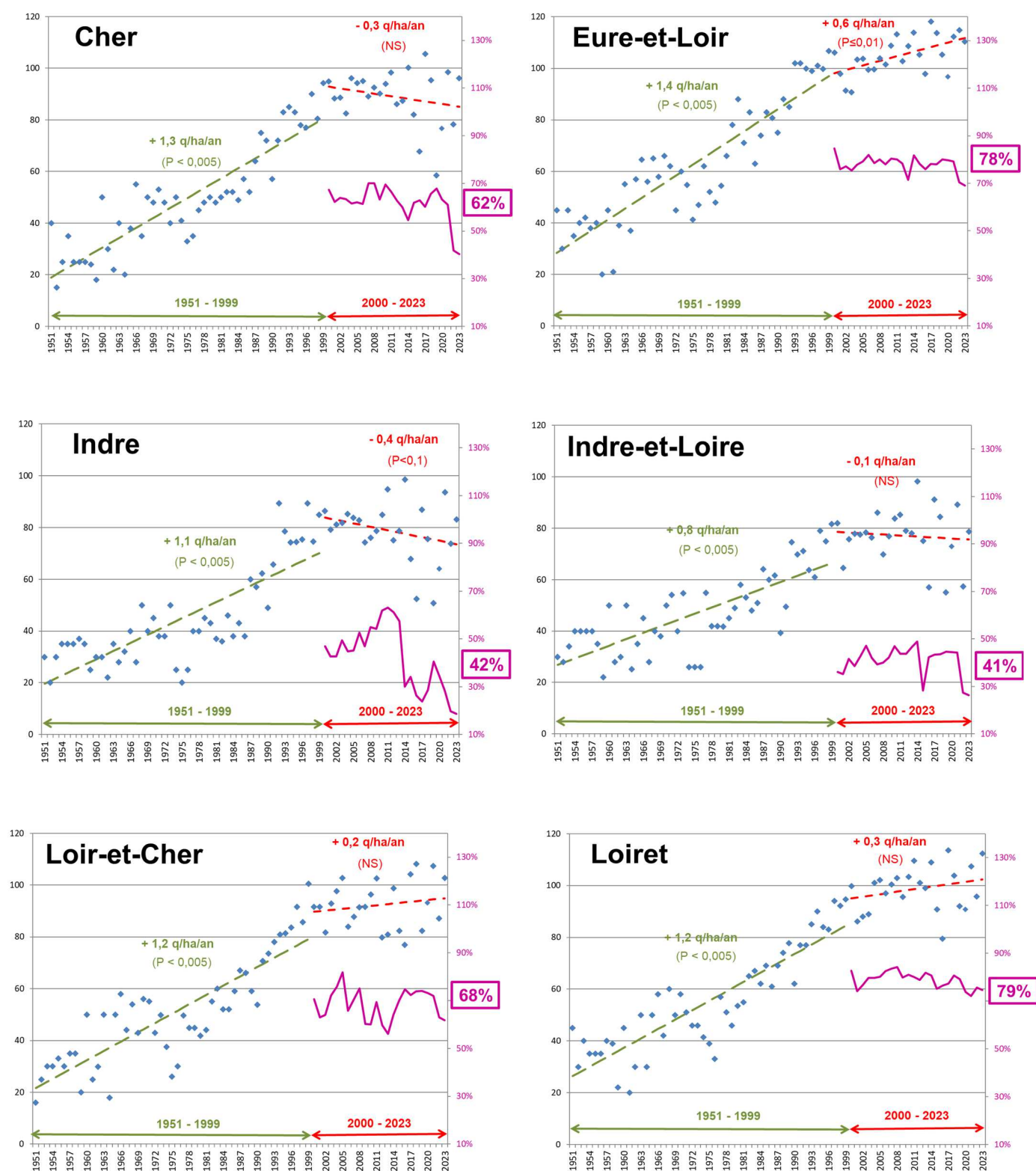
3 IMPACTS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

C2 – Rendement en maïs grain

Evolution du rendement et surfaces irriguées en maïs grain





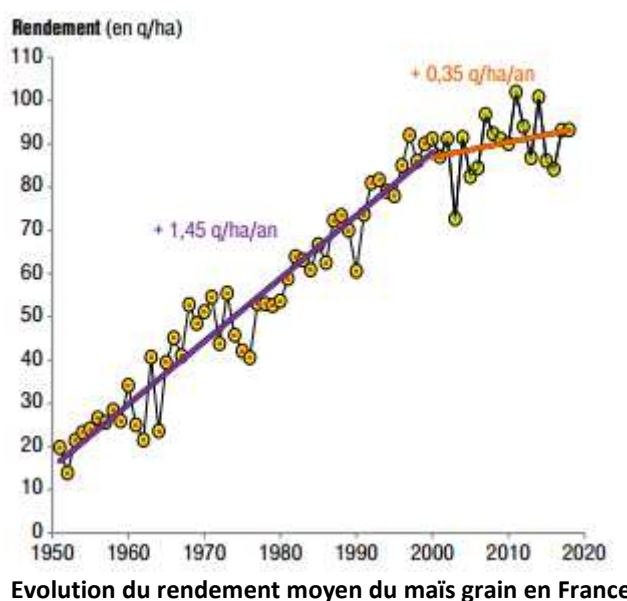
C2 – Rendement en maïs grain

Analyse

Les rendements records en maïs grain ont eu lieu en 2017 (départements 18, 28 et 45), en 2014 (départements 36 et 37) et en 2018 pour le 41. Tous les départements observent une forte augmentation de rendement du maïs grain d'une moyenne de 1,2 quintal par hectare et par an depuis 1951 jusqu'à la fin des années 1990 avec un écart important entre l'Indre-et-Loire (+ 0,8 q/ha/an) et l'Eure-et-Loir (+ 1,4 q/ha/an).

Depuis le début des années 2000, le rendement moyen continue à augmenter mais avec un ralentissement de sa progression pour le département de l'Eure-et-Loir (+0,6 q/ha/an). Concernant les autres départements, les tendances ne sont pas significatives mais on constate, une augmentation de rendement très faible de l'ordre de 0,2 q/ha/an pour les départements de Loir-et-Cher et du Loiret voire une légère diminution dans les départements d'Indre-et-Loire (-0,1 q/ha/an), du Cher (-0,3 q/ha/an) et de l'Indre (-0,4 q/ha/an).

Ces résultats sont semblables au reste de la France où le gain de rendement du maïs grain est de 1,43 q/ha/an de 1951 jusqu'à 1999 et de 0,35 q/ha/an à partir du début des années 2000.



Source : Arvalis, 2019

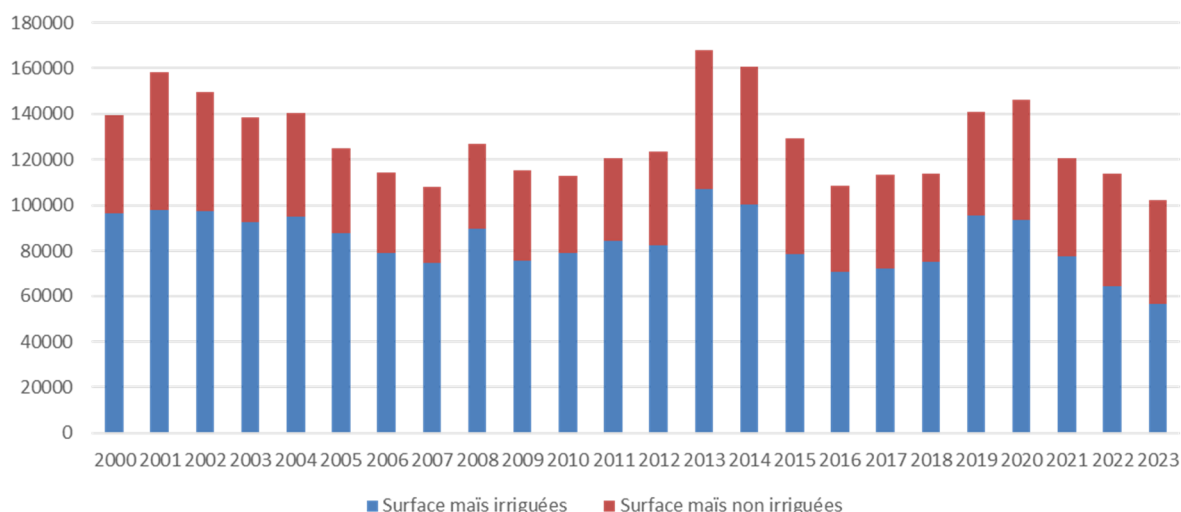
Cette augmentation se retrouve dans les pays du Nord de l'Europe. Alors que dans les pays du Sud et de l'Est de l'Europe, comme l'Italie ou la Hongrie, le rendement du maïs stagne (Ray et al., 2012).

Le progrès génétique constant, élevé et transféré rapidement (marché dynamique des obtenteurs) a largement contribué à cette augmentation de rendement. L'estimation de l'apport du progrès génétique entre 1986 et 2017 au niveau national est en moyenne de l'ordre de 1,2 q/ha/an. (Lorgeou et al, 2019)

Les surfaces de maïs grain irriguées sont en moyenne de 84000 hectares depuis 2000 en Région Centre Val-de-Loire (données DRAAF), avec une proportion de l'ordre de 2/3 par rapport à la surface de maïs totale. Ces surfaces irriguées (et irrigables) qui varient sensiblement d'une année sur l'autre ont participé au maintien de la progression des rendements et à sa régularité (diminution du risque de stress hydrique).



C2 – Rendement en maïs grain



Evolution des surfaces de maïs en Région Centre Val-de-Loire (irriguées et non irriguées)

A l'inverse, le réchauffement de la température a aussi provoqué un déplacement géographique vers le nord d'espèces de ravageurs (ex : sésamie) et l'accélération de leurs cycles de reproduction (ex : pyrale) qui perturbent les cultures (Lorgeou et al., 2009).

Le rendement du maïs est fortement influencé par la disponibilité de l'eau, de la moitié du stade montaison jusqu'au stade grains pâteux. La période la plus sensible au déficit hydrique s'étend du début juillet à fin août pour un semis mi-avril. Un stress thermique trop important provoque des défauts de fécondation et des avortements des grains, ainsi que des baisses de croissances des grains (Arvalis, 2016).

Or, bien que les précipitations estivales ne présentent pas d'évolutions significatives en 58 ans, les ETP ont augmenté du fait des augmentations des températures. Le déficit hydrique climatique estival a fortement augmenté de l'ordre de -40 mm en 58 ans, avec toutefois des grandes différences entre le Nord et le Sud de la Loire (voir fiche « Cumul du déficit hydrique climatique »). Il est fort probable qu'à l'avenir la contrainte en eau risque d'être plus forte dans ces périodes estivales, engendrant des restrictions de l'utilisation de l'eau plus ou moins importantes suivant l'état des réserves hivernales. Les déficits et les restrictions en eau pourront provoquer des pertes significatives du rendement (Lorgeou et al., 2009). Cette diminution de surfaces irriguées de maïs a déjà été observée à l'échelle nationale lors du dernier recensement agricole (Lerbourg, 2012).

Sur la période 1959 – 2023, la disponibilité thermique a augmenté dans la région Centre Val-de-Loire (voir fiche « culture intermédiaire »), ce qui a raccourci la durée du cycle de la culture. Ce phénomène s'illustre par une précocité du stade de floraison en France d'une moyenne de 5 jours par décennie, du stade de maturité du grain d'une moyenne de 10 jours par décennie entre 1981 et 2006 (Souverain, 2009) et des dates de récolte de l'ordre d'une semaine par décennie entre 1969 et 2003, (Lorgeou et al., 2009).

La durée du cycle étant un facteur de moins en moins limitant, des variétés plus tardives sont utilisées pour valoriser au mieux cette augmentation de somme de température (Brisson & Levrault, 2010).



C2 – Rendement en maïs grain



A retenir

- On observe en région Centre Val-de-Loire une augmentation des rendements de maïs grain de **+ 1,05 quintal par hectare et par an** sur la période 1951-2023. Cependant, il semblerait que cette évolution ralentisse avec un gain de seulement **+ 0,09 quintal par hectare et par an** de 2000 à 2023.
- En région Centre Val-de-Loire, 2/3 du maïs est irrigué (moyenne décennale). Ainsi, si l'augmentation des températures et du déficit hydrique estival entraîne des restrictions d'usage de l'eau à des périodes clés du cycle du maïs, cela entraînera indubitablement des pertes de rendement plus marquées à l'avenir.

Des voies complémentaires d'adaptation sont envisageables :

- l'amélioration de l'efficience de l'irrigation (sonde tensiométrique) et économie d'eau (matériel d'irrigation) ;
- l'esquive de ces stress, par des dates de semis avancées et des choix de variétés plus précoces ;
- le recours à des variétés plus tolérantes aux stress hydriques.



Pour en savoir plus

ARVALIS. ; 2016. Stress hydrique. Les fiches accidents Maïs. [en ligne] Disponible sur : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=3&type_acc=5&id_acc=155. Consulté le 23/01/2019

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

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

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

LORGEOU J. ; AUDIGEOS D. ; MARTIN B., 2019. Progrès génétique de 1986 à 2017 : LES APPORTS du renouvellement des variétés.

LORGEOU J., PIRAUX F., RUGET F., LACROIX B., SOUVERAIN F., CHARCOSSET A., BOUTHIER A.,

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

SOUVERAIN, Franck, 2009. Impact du changement climatique sur maïs grain et maïs fourrage. Questions posées et pistes d'adaptation. 63p.



C3 – Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin

Nature et source des données

Données fournies par la SICAVAC (18), la Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire (37) et la Chambre d'Agriculture de Loir-et-Cher (41).

Indicateur 1

Evolution des dates de débourrement, floraison et maturité de la vigne :

- Sancerre (18) : de 1965 à 2021
- Coteaux du Cher (41) : de 1980 à 2021
- Saint-Nicolas-de-Bourgueil et Vouvray (37) : débourrement et floraison de 2002 à 2021 – récolte de 1980 à 2021

Calcul de l'indicateur 1

- Evolution des dates de débourrement de la vigne (losanges bleus)
- Evolution des dates de floraison de la vigne (carrés rouge)
- Evolution des dates de maturité (triangle vert)
- Courbe de tendance (trait plein noir)

Évolution observée

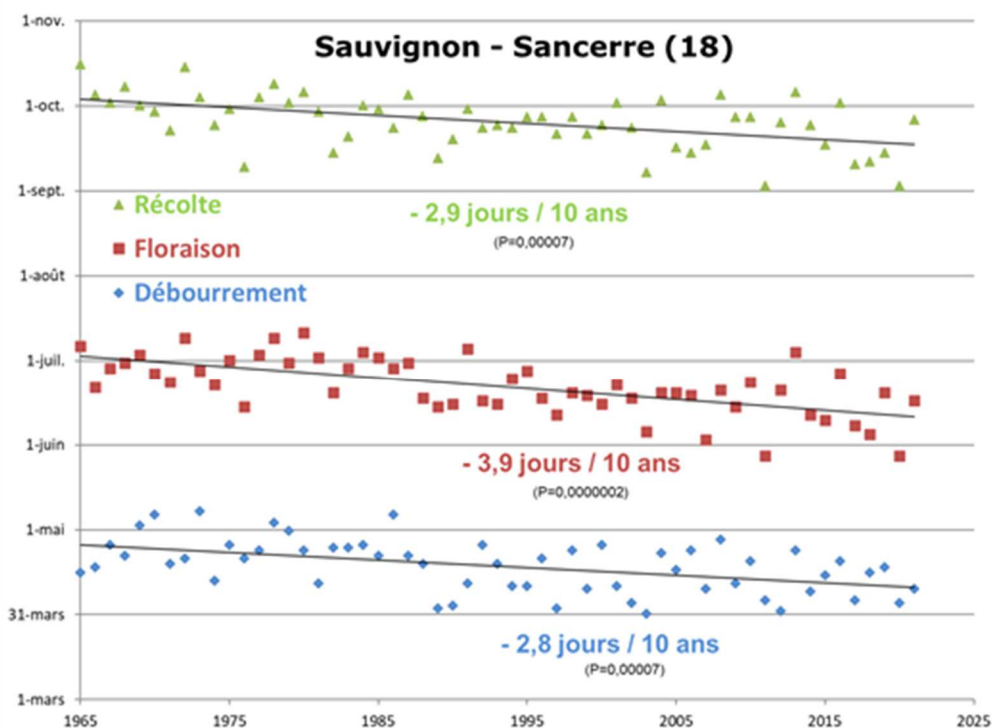
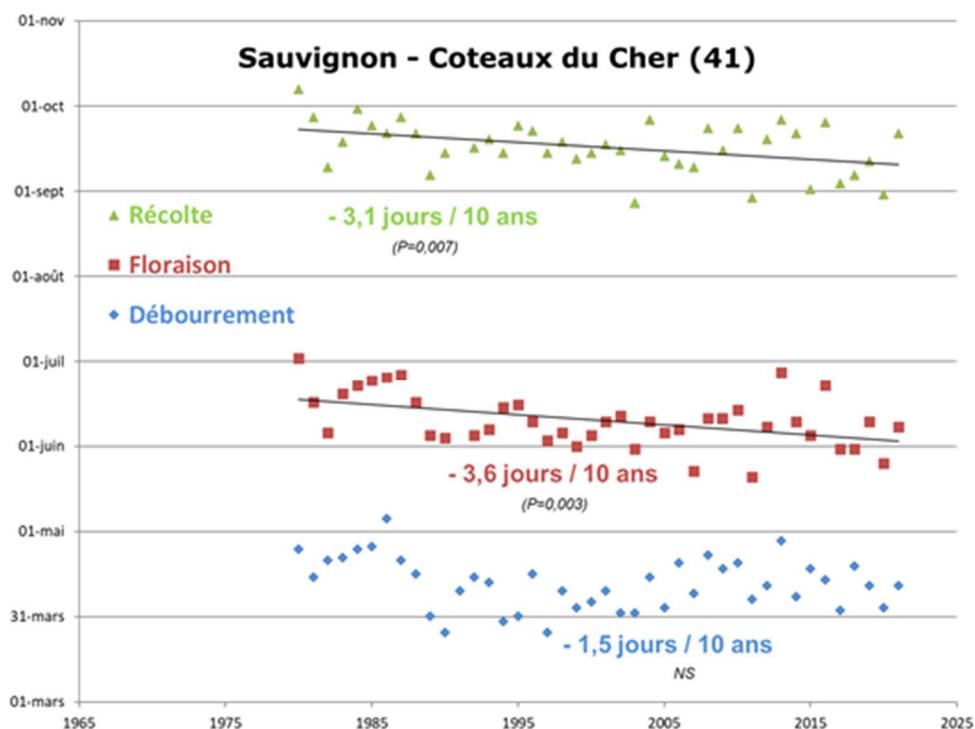
Le débourrement correspond à la date à laquelle 50 % des bourgeons sont au stade C, pointe verte visible, défini par Baggiolini en 1952.

La floraison est définie ici par la date à laquelle 50 % des fleurs sont ouvertes.

La date de maturité correspond à une concentration de 200 g/l de sucre dans le raisin.

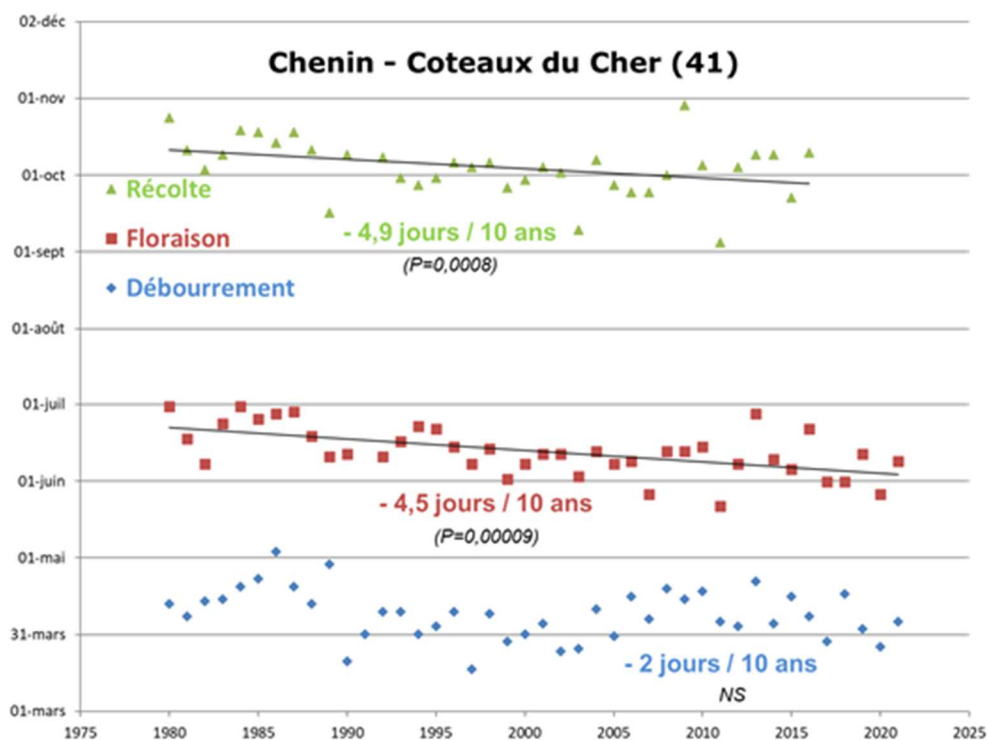


C3 – Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin





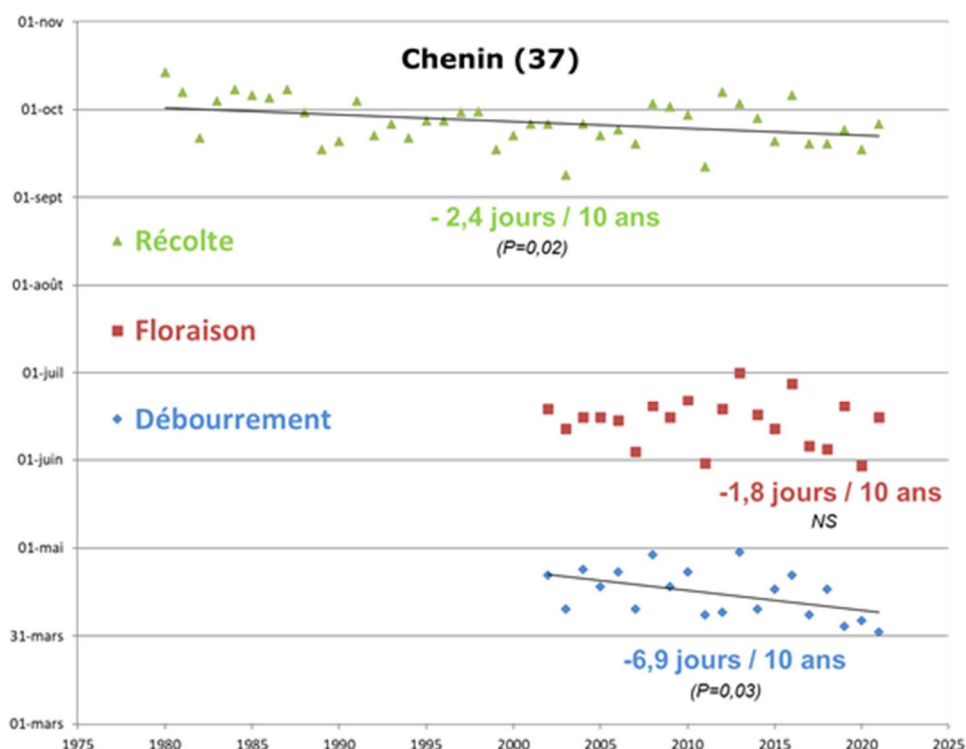
C3 – Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin



3 IMPACTS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



C3 – Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin



Département	Coteaux du Cher (41)						Sancerre (18)		St-Nicolas-de-Bourgueil (37)	Vouvray (37)
Cépage	Sauvignon	Chardonnay	Chenin	Gamay	Cabernet	Cot	Sauvignon	Pinot	Cabernet	Chenin
Période étudiée	1980 - 2021 (42 ans)						1965 - 2021 (57 ans)		Débourrement et floraison : 2002 - 2021 (20 ans) Récolte : 1980 - 2021 (42 ans)	
Débourrement	-1,5 NS	-0,9 NS	-2,0 NS	-1,0 NS	-2,6 (P=0,02)	-1,0 NS	-2,8 (P=0,0001)	-3,4 (P=0,00002)	-5,6 NS	-6,9 (P=0,03)
Floraison	-3,6 (P=0,003)	-4,1 (P=0,0007)	-4,5 (P=0,00009)	-3,7 (P=0,002)	-4,9 (P=0,00002)	-3,6 (P=0,002)	-3,9 (P=0,0000002)	-3,9 (P=0,0000001)	-2,5 NS	-1,8 NS
Récolte	-3,1 (P=0,007)	-4,2 (P=0,0005)	-4,9 (P=0,0008)	-2,1 NS	-3,8 (P=0,003)	-2,0 NS	-2,9 (P=0,00007)	-3,3 (P=0,00002)	-2,4 (P=0,02)	-4,9 (P=0,00003)

Evolution des dates physiologiques de la vigne (en nombre de jour par décennie)

- Les stades débourrement et floraison de l'Indre-et-Loire n'ont pas été prises en compte dans l'analyse car les données manquent de recul (20 ans seulement).
- L'évolution de la date du début débourrement en Loir-et-Cher n'est pas significative alors qu'elle est en baisse de 3,1 jours par décennie dans le Sancerrois.
- L'évolution de la date de floraison est en baisse significative sur tous les vignobles étudiés, avec en moyenne une avancée de 4 jours par décennie.



L'évolution de la date de la maturité est en baisse significative sur la majorité des vignobles, avec en moyenne une avancée de 3,7 jours par décennie.

L'avancée du stade du débourrement, de la floraison et de la maturité observée, est expliquée par l'augmentation des températures due au changement climatique, puisque la phénologie de la vigne est liée aux températures cumulées (Brisson & al., 2010). Ceci est cohérent avec l'augmentation de l'indice de Winkler étudié (Voir fiche B4 « indice Winkler »). La durée du cycle de la vigne dépend du cumul des températures supérieures à 10°C pendant la phase de végétation.

Plusieurs études ont mis en évidence l'avancée des stades phénologiques de la culture de la vigne en lien avec l'augmentation des températures. A titre d'exemple, les dates des principaux stades de développement de la vigne en Alsace n'ont pas évolué de manière significative jusqu'au début des années 80. Depuis cette période, les dates de débourrement et de floraison, pour le Riesling, ont avancé d'environ 15 jours, celle de véraison d'environ 23 jours (MTES, 2017).

L'avancée des stades phénologiques a de nombreuses répercussions :

- l'avancée de la date du débourrement augmenterait le risque du gel à ce stade critique.
- la maturation des raisins se manifestant plus tôt, à des températures plus élevées, cela impacte la composition des raisins et du vin produit. Une augmentation de la teneur en sucre et une diminution de l'acidité ont été observées au cours de ces dernières années. (Leeuwen & al, 2016)

Les leviers d'adaptation peuvent être répartis en deux grandes classes : celles qui s'appuient sur la modification des génotypes et celles qui se basent sur le changement des techniques culturales

C3 – Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin

(Leeuwen et al, 2016). L'introduction des nouveaux cépages et/ou porte-greffe à maturation très tardives, ou capables de produire des vins de haute qualité à des températures élevées pourrait être un levier d'adaptation de la viticulture face au changement climatique (Duchêne et al, 2010).

Plusieurs techniques viticoles ont été proposées pour faire face à la précocité des stades phénologiques de la vigne notamment le recours à une taille tardive qui pourrait retarder la phase de débourrement (Leeuwen et al, 2016), mais également le rognage, l'effeuillage, le travail du sol...



A retenir

En région Centre Val de Loire, on observe une précocité des stades phénologiques de la vigne, avec une avancée moyenne de 3 jours par décennie pour le débourrement, 4 jours pour la floraison et de 3,7 jours pour la date de la maturité.

Ce phénomène est expliqué par le changement climatique, car la phénologie de la vigne est influencée par les températures cumulées (somme de températures moyennes supérieures à 10 °C).

Le recours à de nouveaux cépages améliorés génétiquement et à des pratiques culturales pourraient être des leviers d'adaptation de la vigne face au changement climatique.



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.

- DUCHENE E., & Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for sustainable development*, 25(1), 93-99.

- DUCHENE E., Huard, F., Dumas, V., Schneider, C., & Merdinoglu, D. (2010). The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate research*, 41(3), 193-204.

- Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), (2017). <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-agriculture-et-foret#e1>

- VAN LEEUWEN C., & Darriet P. (2016). Le changement climatique en viticulture: les leviers d'adaptation au vignoble. In *Acte de colloque. Les 3èmes Assises des vins du Sud-Ouest. Maîtriser le profil des vins dans un contexte de changement climatique*. 2016; 3. Assises des Vins du Sud-ouest, Toulouse, FRA, 2016-01-14-2016-01-14, 15-18.



C4 – Teneur en sucre et en acidité totale des raisins

Nature et source des données

Données fournies par la SICAVAC (18), le laboratoire de Touraine (37) et la Chambre d'Agriculture de Loir-et-Cher (41).

Indicateur 1

Evolution de la teneur en sucre et en acidité totale (le 10 septembre de chaque année) :

- Cher (18): de 1965 à 2018
- Indre-et-Loire (37) : de 1959 à 2018
- Loir-et-Cher (41) : de 1973 à 2018

Calcul de l'indicateur 1

- Evolution de la teneur en sucre (nuage bleu) ;
- Evolution de la teneur en acidité totale (nuage rouge) ;
- Courbe de tendance de la teneur en sucre (trait bleu) ;
- Courbe de tendance de la teneur en acidité totale (trait rouge).

Évolution observée

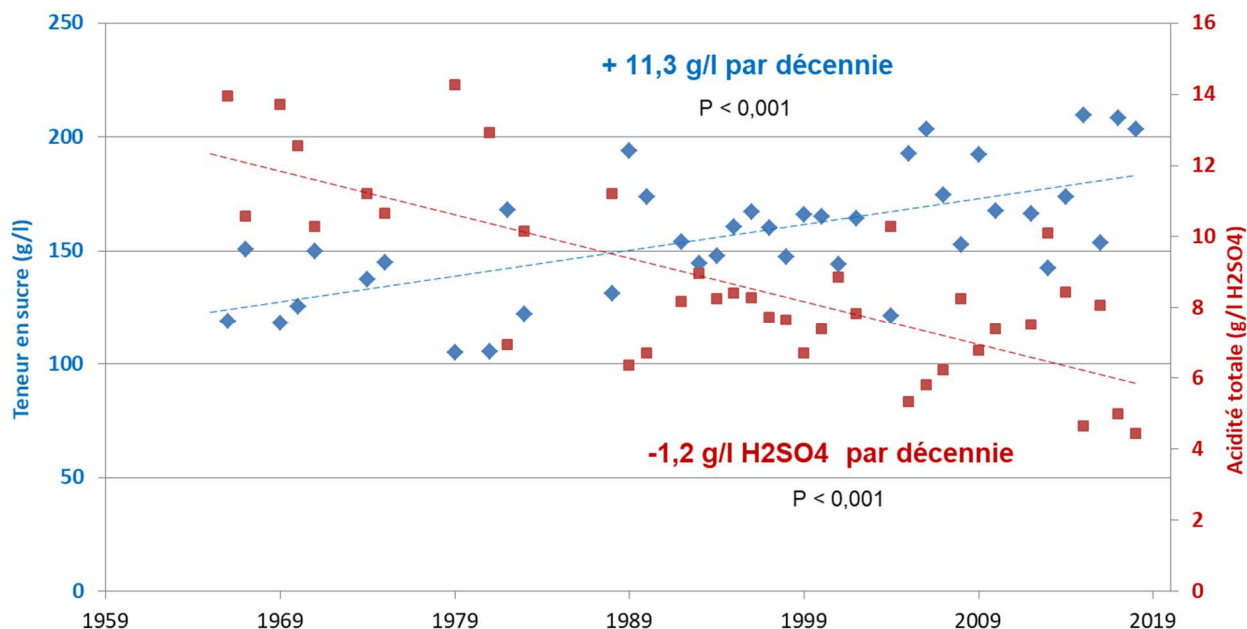
- **en abscisse** : Année
- **en ordonnée** :
 - Bleu : Teneur en sucre en g/l
 - Rouge : Acidité totale en g/l H₂SO₄

Le sucre est à l'origine des degrés d'alcool dans le vin, par sa transformation en éthanol pendant la vinification.

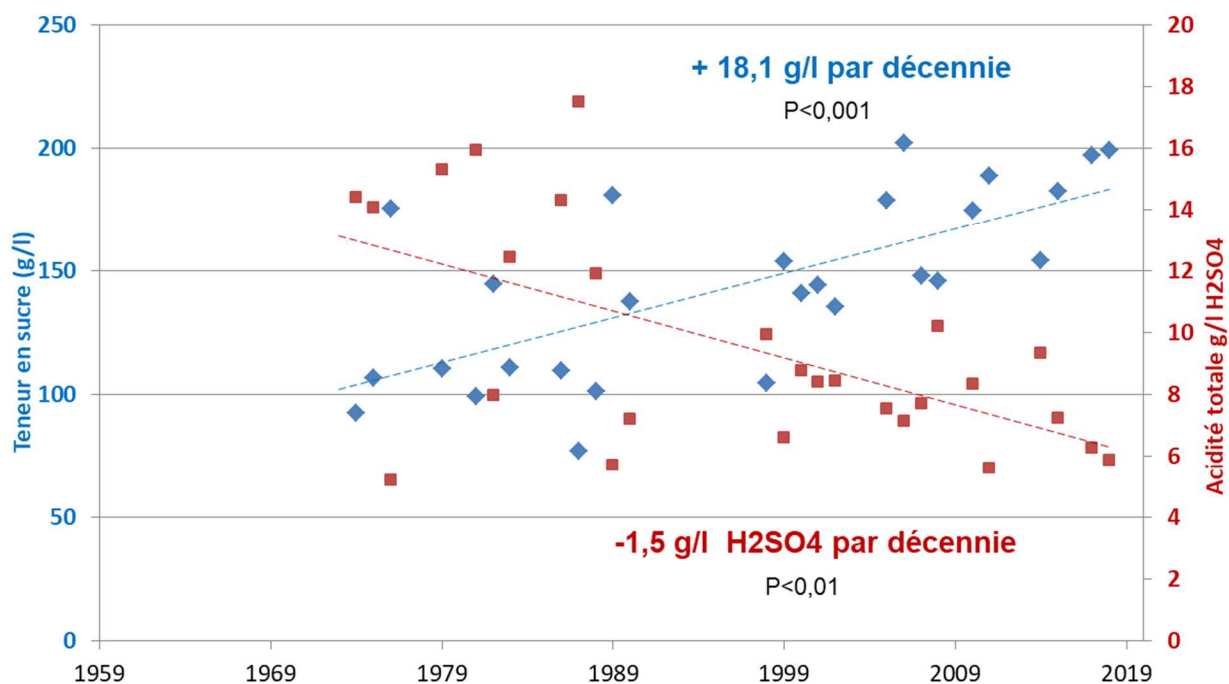
Les acides régulent le pH lors de la vinification et jouent un rôle dans les caractéristiques organoleptiques du vin. La teneur en sucre des raisins est corrélée négativement avec leur acidité totale.



C4 – Teneur en sucre et en acidité totale des raisins



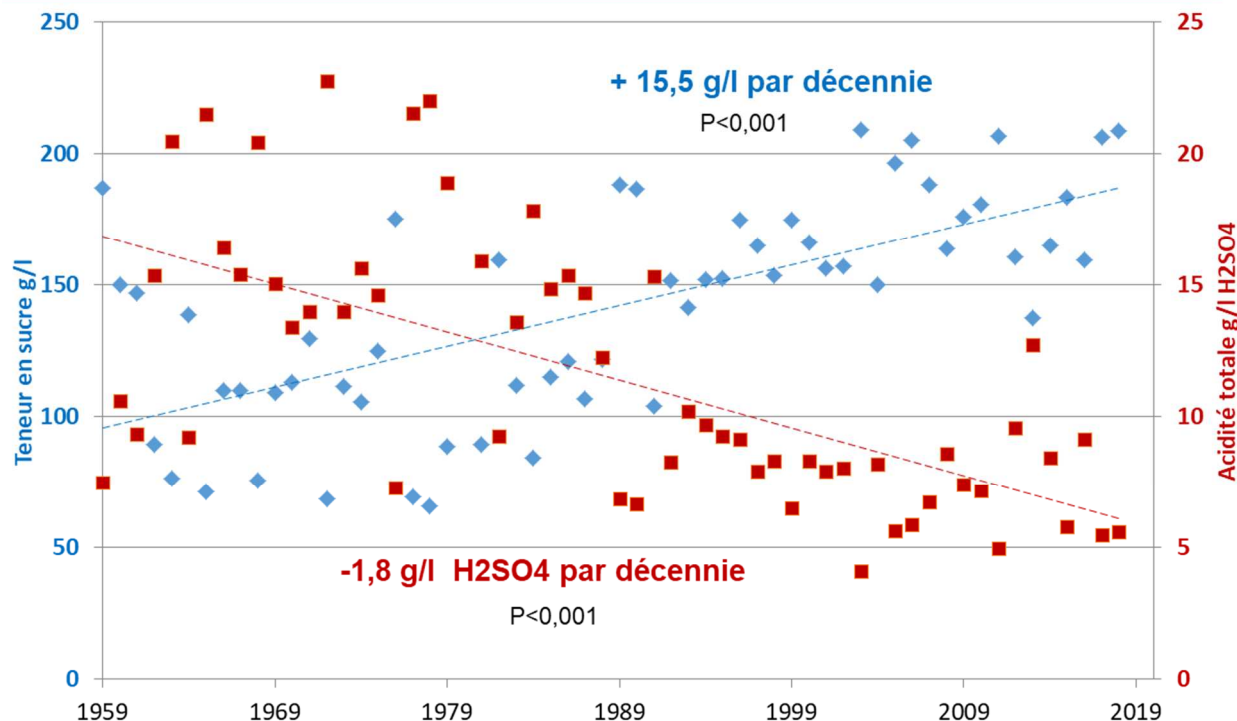
Evolution de la teneur en sucre et en acidité totale dans le Cher - Cépage Sauvignon



Evolution de la teneur en sucre et en acidité totale en Loir-et-Cher - Cépage Sauvignon



C4 – Teneur en sucre et en acidité totale des raisins



Evolution de la teneur en sucre et en acidité totale en Indre-et-Loire - Cépage Chenin

Evolution de la teneur en sucres						
Dép.	Cépage	1ère année disponible	évolution (en g/l/10 ans)	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Sauvignon	1966	+ 11,29	1,2E-05	très hautement significative	0,41
	Sauvignon	1974	+ 17,24	1,4E-05		0,48
41	Cabernet	1974	+ 18,08	6,6E-05		0,48
	Gamay	1974	+ 16,2	6,3E-07		0,58
37	Chenin	1959	+ 15,49	1,2E-08		0,44
	Cabernet	1959	+ 13,54	1,5E-07		0,38

Evolution de la teneur en acidité totale						
Dép.	Cépage	1ère année disponible	évolution (en g/l H2SO4/10 ans)	Test	"Force" de la tendance	R ²
18	Sauvignon	1966	-1,22	5,7E-08	très hautement significative	0,55
	Sauvignon	1974	-0,85	0,004		0,25
41	Cabernet	1974	-1,52	0,001		0,35
	Gamay	1974	-0,69	0,006		0,23
37	Chenin	1959	-1,82	4,5E-08		0,41
	Cabernet	1959	-1,48	2,8E-05		0,27

Rq : les graphiques non diffusés dans ce document sont disponibles sur demande



C4 – Teneur en sucre et en acidité totale des raisins

Analyse

L'augmentation de la température moyenne et l'indice de fraîcheur des nuits (voir fiche « B5 ») pendant la phase de la maturation a un effet sur la composition des raisins et du vin produit. Une augmentation de la teneur en sucre et une diminution de l'acidité a été prouvée au cours de ces dernières années. En effet la teneur en sucre est corrélée négativement avec l'acidité totale des raisins (Duchêne et al, 2005).

Dans la région Centre Val-de-Loire, pour le cépage « **Sauvignon** », une augmentation de la teneur en sucre de :

- **11,3 g/l par décennie** est observée dans le Cher (18) entre la période 1965-2018 ;
- **17,2 g/l par décennie** dans le Loir-et-Cher (41) entre la période 1973-2018.

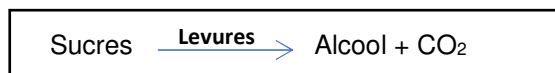
Par ailleurs, l'acidité totale a baissé de :

- **1,2 g/l H₂SO₄ par décennie** dans le Cher (18) entre la période 1965 et 2018
- **0,8 g/l H₂SO₄ par décennie** dans le Loir-et-Cher (41) entre la période 1973 et 2018.

Concernant le 41, d'autres cépages ont connu la même tendance d'évolution, notamment pour le **Cabernet** et le **Gamay**, qui ont enregistré une augmentation de la teneur en sucre respectivement de **18,08 g/l par décennie** et de **16,2 g/l par décennie**, et une diminution de l'acidité totale respectivement de **1,52 g/l H₂SO₄ par décennie** et **0,69 g/l H₂SO₄** entre 1973 et 2018.

De même, pour le cépage **Chenin** et **Cabernet** dans le département d'Indre-et-Loire (37), la teneur en sucre a augmenté respectivement de **15,49 g/l par décennie** et de **13,54 g/l par décennie** et l'acidité totale a diminué respectivement de **1,82 g/l H₂SO₄ par décennie** et **1,48 g/l H₂SO₄ par décennie** pour la période 1959-2018, soit 60 ans.

Une augmentation de la teneur en sucre des raisins induit une augmentation du taux d'alcool. En effet, les sucres se transforment en alcool via le processus de fermentation alcoolique, 16,83 g/l du sucre produisent 1% d'alcool en volume :



L'augmentation de la teneur en sucre des raisins est expliquée, d'une part, par le réchauffement climatique que la région a connu ces dernières années (le taux de sucres dépendant fortement de l'ensoleillement), et d'autre part, par le changement des techniques viticoles et œnologiques qui peuvent avoir également une influence (Neethling et al, 2011), à savoir :

- ✓ L'effeuillage et l'éclaircissage de la vigne pratiqués ces dernières années par les vignerons, permettraient une optimisation de l'ensoleillement des baies et une diminution de l'évapotranspiration, et par conséquent, un raisin plus sucré et moins acide ;



C4 – Teneur en sucre et en acidité totale des raisins

- ✓ La pratique de l'enherbement inter-rang à la place du désherbage chimique, engendre plus de concurrence à la vigne et induit une diminution de sa vigueur. Par conséquent, cela pourrait favoriser une augmentation de la teneur en sucre et une diminution de l'acidité totale des raisins ;
- ✓ L'utilisation des levures exogènes pour favoriser la fermentation alcoolique.

Concernant l'évolution de l'acidité totale, cet indicateur demanderait à être approfondi au niveau biochimique car elle est composée de nombreux acides (malique, tartrique...) qui vont réagir différemment par rapport à la température.



A retenir :

Une augmentation de la teneur en sucre et une diminution de l'acidité des raisins ont été observées dans tous les départements viticoles de la région (Cher, Loir-et-Cher et Indre-et-Loire) au cours de ces dernières années.

Ceci est expliqué en parti par le réchauffement climatique, notamment l'évolution de la fraîcheur des nuits, et également par le changement des pratiques viticoles et œnologiques.



Pour aller plus loin

- DUCHENE E., & Schneider C. 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for sustainable development*, 25(1), 93-99;
- NEETHLING E., BARBEAU G., QUENOL H., BONNEFOY C.; 2011. Evolution du climat et de la composition des raisins des principaux cépages cultivés dans le Val de Loire, *Climatologie*(8), 79-92 ;
- <https://www.le-vin-pas-a-pas.com>, consulté le 15 juillet 2018



C5 – Date de floraison du Douglas

🔑 Nature et source des données

Données fournies par INRAE Centre Val de Loire (Parc d'Ardon)

🕒 Indicateur

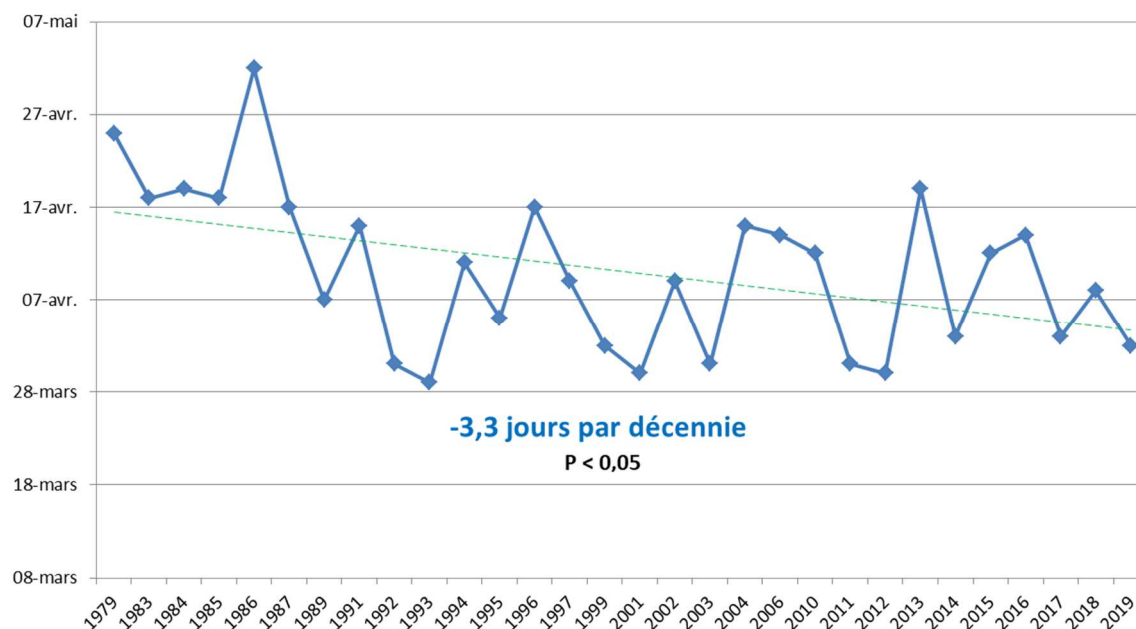
Evolution de la date du début de floraison du Douglas de 1979 à 2019

📊 Calcul de l'indicateur

- Evolution de la date du début de floraison (graphique en courbe)
- Courbe de tendance (tiret vert)

📈 Évolution observée

- **en abscisse** : année
- **en ordonnée** : date de début de floraison



Date de floraison du pin Douglas (INRAE Orléans)



C5 – Date de floraison du Douglas

Analyse

Dans la région Centre Val-de-Loire, la forêt et le bois représentent une superficie de 1 030 700 hectares, soit 26% de la superficie totale régionale, et près de 180 millions de m³ sur pied (INSEE et Agreste, 2017). Cette forêt est très majoritairement constituée d'essences feuillues, les conifères ne représentant que 15 % de la surface forestière.

L'augmentation de la température et la hausse du déficit hydrique durant la période de végétation, observée depuis plusieurs décennies, ont plusieurs effets sur les essences forestières.

L'un des effets constatés du changement climatique est la modification des cycles de végétation, caractérisée par un avancement des stades phénologiques (débourrement, floraison et maturation des fruits) (ONF, 2018).

Une avancée de la date moyenne du début de floraison de l'ordre de 3,3 jours par décennie (voir graphique ci-dessus), a été observée à proximité d'Orléans pour le Douglas (conifère très utilisé en reboisement en France). L'amplitude maximale observée sur la période 1979-2019 entre la date la plus précoce (29 mars) et la date la plus tardive (02 mai) s'élève à 34 jours.

Il semblerait toutefois que la date de floraison du Douglas ait atteint un palier depuis les années 2000 et aurait même tendance à retarder. Ceci peut être expliqué par le fait que les températures hivernales sont devenues insuffisantes pour permettre aux arbres de vernaliser correctement, ce qui entraîne physiologiquement un besoin accru en degrés jours pour débourrer au printemps (INRAE Centre Val-de-Loire).

En effet, la phénologie des plantes dépend de plusieurs facteurs biologiques, géographiques, édaphiques (liés au sol) et atmosphériques (température, ETP...) (Lebourgeois F et al, 2008)

Plusieurs études ont montré l'effet des aléas climatiques sur la modification des stades phénologiques. À titre d'exemple, en Allemagne, pour les essences *Prunus avium* et *Malus domestica* une augmentation de la température moyenne de 1°C entre février et avril a induit une précocité de la floraison de l'ordre de 5 jours (Chmielewski. F.M et al, 2004).

L'avancée des stades phénologiques pourrait augmenter le risque des dégâts de gelées, ce qui aurait un impact sur la croissance des essences (Breda et al, 2000).

D'autres effets du changement climatique (la sécheresse édaphique et atmosphérique essentiellement), auraient un impact sur les ressources forestières. Le rendement des pins baisserait au niveau national en moyenne de 4,6% dans un futur proche et de 11% dans un futur lointain. Par ailleurs, la répartition géographique des essences serait modifiée (Brisson N. et Levraut F., 2010).



C5 – Date de floraison du Douglas



A retenir :

La date de floraison de l'essence douglas a connu une avancée moyenne de l'ordre de 3,3 jours par décennie dans les collections d'INRAE (parc d'Ardon) dû au réchauffement climatique.

Il est encore trop tôt pour savoir si ce phénomène va se poursuivre et entraîner des risques de dégât de gelées au débourrement ou s'il va s'inverser à cause du manque de vernalisation (besoin en froid en hiver).



Pour en savoir plus :

- Breda, N., Granier, A., & Aussenac, G. (2000). Evolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Revue forestière française*.
- Brisson N, Levraut 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.
- Chmielewski, F. M., Müller, A., & Bruns, E. (2004). Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(1-2), 69-78.
- Lebourgeois, F., Pierrat, J. C., Perez, V., Piedallu, C., Cecchini, S., & Ulrich, E. (2008). Déterminisme de la phénologie des forêts tempérées françaises. *Revue Forestière Française*, 60, 3.
- Office Nationale des Forêts (ONF), (2018). « Quels seront les impacts du changement climatique sur les chênaies ligériennes ? »
- INRAE Centre Val-de-Loire, UMR BioForA (INRA-ONF), à Orléans, contact : <https://www6.val-de-loire.inrae.fr/biofora/Contact>



C6 – Date de pleine floraison du pommier : Variété Golden

Nature et source des données

Données fournies par la Chambre d'Agriculture du Loiret et le Centre Orléanais de Vulgarisation et d'Etudes des Techniques Arboricoles (C.O.V.E.T.A.).

Indicateur

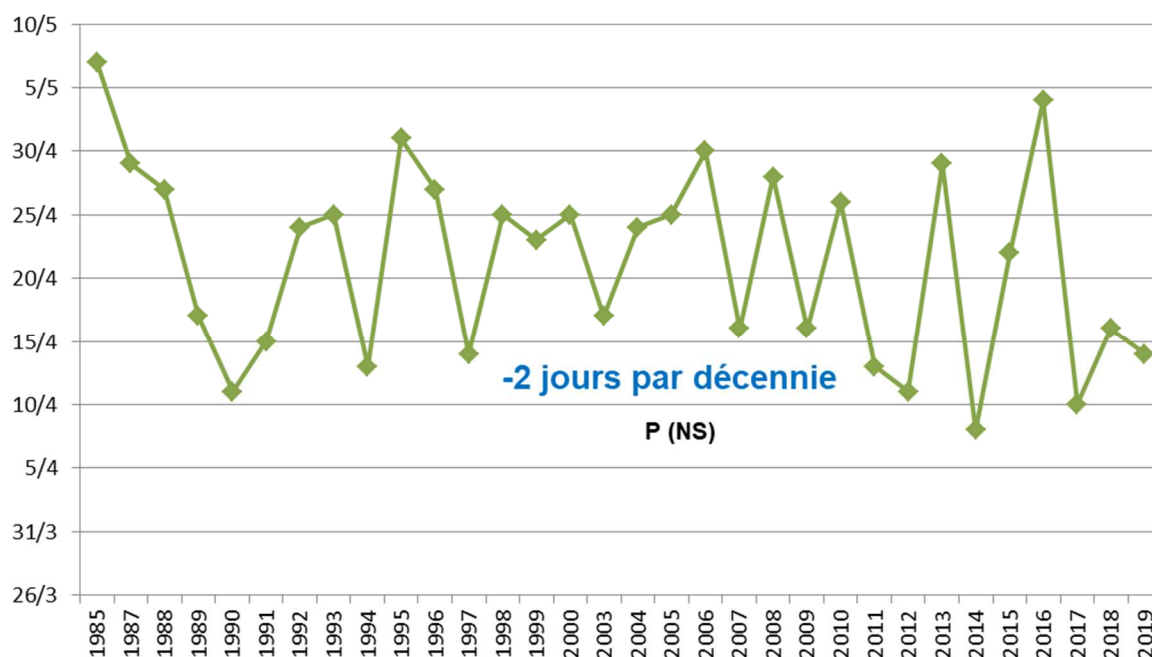
Evolution de la date de pleine floraison (stade F2) du pommier (variété Golden) de 1985 à 2019 dans le département du Loiret (Données manquantes : 1986 ; 2001 ; 2002)

Calcul de l'indicateur

- Evolution de la date de pleine floraison (stade F2) (graphique en courbe)

Évolution observée

- **En abscisse** : année
- **En ordonnée** : date de pleine floraison (stade F2)



Evolution de la date de floraison (F2) du pommier Golden



C6 – Date de pleine floraison du pommier : Variété Golden



La date de floraison des arbres fruitiers est l'un des indicateurs qui illustrent l'impact du changement climatique, puisque ce stade phénologique est fortement lié aux températures : les températures basses permettraient la levée de la dormance des bourgeons alors que les températures élevées permettraient la croissance de la fleur (MTES).

La date moyenne de pleine floraison (stade F2) du pommier « Golden » dans le département du Loiret est le 21 avril sur la période d'observation 1985-2019 avec de fortes fluctuations annuelles. La date la plus précoce est enregistrée le 08 avril (observée en 2014) et la date la plus tardive a été le 07 mai (observée en 1985). Sur cette période d'étude, une avancée de 2 jours par décennie de la date de pleine floraison est observée pour le « Golden », mais cette tendance n'est pas statistiquement significative.

Par contre, la précocité de la date de floraison des arbres fruitiers est un phénomène observé à l'échelle nationale et même européen depuis la fin des années 80 (Legave, 2009). A titre d'exemple, la date du début de floraison du pommier « Golden Delicious » a été avancée de :

- 2,3 jours par décennie à Angers ($P < 0,01$) depuis 1963 (Colombie, 2018)
- 1,6 jours par décennie à Bergerac depuis 1967 (Fedou, 2019).

Ceci pourrait être expliqué par des phénomènes antagonistes plus ou moins présents : l'allongement moyen de la durée de la dormance (manque de jour froid en hiver retarderait le début du cycle), et le raccourcissement de la durée de la croissance florale (hausse des sommes de température avance le stade levée de dormance à floraison).

Ainsi, à Angers, le réchauffement climatique est responsable de cette avancée, car la moindre rapidité à satisfaire les besoins en froid (vernalisation) et compensé, de façon plus importante, par la satisfaction des besoins en chaleur au stade floraison (Gleizer et al., 2007).

Ces deux phénomènes se compenseraient plus ou moins dans le Loiret. A savoir que, le manque de satisfaction des besoins en froid amène à des floraisons échelonnées. Une baisse de rendement est alors ressentie avec pour cause une réduction du nombre de fleurs ou une mauvaise nouaison en raison des pollinisations décalées (Mathieu, 2011).

Certaines séries, dans d'autres régions, avec plus d'historique permettent d'identifier distinctement cette avancée de stade de floraison avant 1989. Il semblerait que l'année 1989 corresponde à une rupture climatique probable (Legave, 2009). Ici, les années d'études commençant en 1985, cette rupture n'est donc pas visible.

A l'avenir, si l'avancée du stade floraison venait à se confirmer, cela s'accompagnerait par des risques accrus de gel printanier, ce qui engendrerait une irrégularité de la production (Legave, 2009).

Plusieurs voies d'adaptation ont été proposées, à savoir (Legave, 2009) :

- La taille tardive pour échapper à ces risques de gel (difficile à appliquer sur le terrain);
- La maîtrise de la pollinisation afin d'optimiser le potentiel floral ;
- La voie génétique pour avoir des variétés plus résistantes aux stress climatiques.



C6 – Date de pleine floraison du pommier : Variété Golden



A retenir :

Une avancée de la date de pleine floraison de la variété « Golden » est observée dans le département du Loiret avec une tendance de 2 jours par décennie sur la période d'observation 1985-2019 mais non significative. Cette tendance a besoin d'être confirmée à l'avenir.

Il semblerait que la vernalisation (besoin de jours froid en hiver) qui n'est plus satisfaite avec le réchauffement climatique hivernale retarde le début du cycle végétatif du pommier.



Pour en savoir plus :

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

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

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

-Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) -<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr>, consulté le 16 Avril, 2019

-FEDOU.N, 2019. ORACLE Nouvelle Aquitaine, <https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr>, consulté le 13 Mai, 2019

-COLOMBIE, 2018. ORACLE Pays de la Loire, <https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr>, consulté le 26 février 2020



C7 – Hydraulique : débits des cours d'eau

Nature et source des données

Données et analyses fournies par la DREAL, Service Eau et Biodiversité

Indicateur 1

Évolution de l'hydraulique (débit moyen des cours d'eau) des mois de septembre, entre 1997 et 2018.

Calcul de l'indicateur 1

- Évolution de l'hydraulique (débit moyen des cours d'eau) des mois de septembre, rapporté à la moyenne interannuelle des débits. Lissage en moyenne triennale glissante.
- Classification des classes d'hydraulique = $QMM/1000/QMIA$
où QMM : "débit mensuel mesuré", il s'agit de la moyenne des débits journaliers obtenus par une mesure des hauteurs (ici débits journalier des mois de septembre)
et QMIA : débit moyen interannuel du mois considéré sur une période donnée

1,00	Exceptionnellement sèche
2,00	Très sèche
3,00	sèche
4,00	Autour de la moyenne
5,00	humide
6,00	Très humide
7,00	Exceptionnellement humide

Classification des classes d'hydraulique

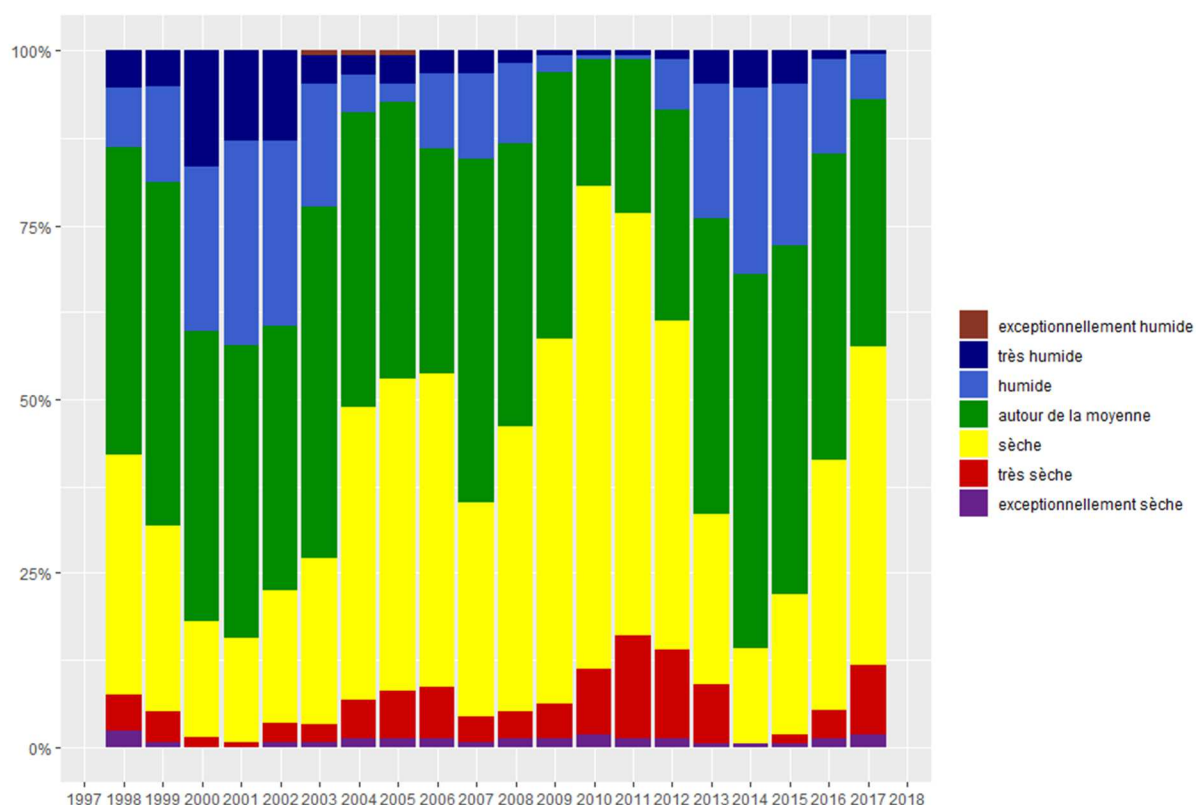
Évolution observée

- En abscisse : années
- En ordonnée : part des cours d'eau de la région Centre-Val de Loire dans chaque classe d'hydraulique

L'observation des débits moyens de septembre des rivières en région Centre-Val de Loire sur 20 ans ne permet pas d'observer une tendance significative malgré l'application d'une moyenne triennale glissante pour atténuer les variabilités sur les années exceptionnellement humides.



C7 – Hydraulique : débits des cours d'eau



Evolution de l'hydraulique des mois de septembre en moyenne glissante centrée sur 3 ans

Source : DREAL Centre Val-de-Loire - SEB



Analyse

Les débits moyens des cours d'eau en région Centre-Val de Loire pour les mois de septembre ont été classifiés sur 20 années par rapport à leurs débits de référence. La tendance qui regroupe les catégories d'hydraulique d'"exceptionnellement sèche" à "sèche" (hydraulique de 0 à 0,75 soit des débits déficitaires de plus de 25 % en comparaison de la moyenne interannuelle) est assez erratique sur l'ensemble de la période (1998 à 2017).

Des années exceptionnellement humides telles que 2013 et 2014, malgré l'application d'un lissage des variabilités hydrologiques par une moyenne glissante ne permettent pas de conclure à une évolution à la baisse des débits moyens de septembre des rivières en région.

L'analyse des indices hydrologiques réalisée par l'Onema¹ permet d'observer des tendances notamment dans le sud de la France sur la sévérité, la précocité des étiages ou encore l'évolution des débits des cours d'eau ; en revanche pour la région Centre-Val de Loire les résultats ne sont pas significatifs sur ces indicateurs.

L'étude Explore 2070, ainsi qu'un projet portant sur le bassin de la Loire, le projet ICC-HydroQual², ont étudié les conséquences des modifications climatiques sur le comportement et la qualité physico-chimique des cours d'eau et des nappes.



C7 – Hydraulique : débits des cours d'eau

En premier lieu l'augmentation de la température moyenne de l'air va entraîner une hausse de l'évapotranspiration et donc une baisse des débits annuels des cours d'eau, encore accentuée en période d'étiage ³ si les précipitations sont réduites en période estivale. Selon Explore 2070, au sein du bassin Loire-Bretagne le débit moyen annuel des cours d'eau devrait baisser de 10 à 40 % et la recharge des nappes souterraines serait également affectée avec une baisse comprise entre 25 et 30 % à l'horizon 2070.

D'après l'étude ICC-HydroQual, le débit d'étiage de la Loire et de ses principaux affluents baisserait fortement, de l'ordre de 25 à 50 % en milieu du siècle, et entre 30 et 60 % en fin du siècle. On observerait de plus un allongement des périodes d'étiages.

¹ Publication de l'ONEMA (Comprendre pour Agir décembre 2012) « Évolutions observées dans le débit des rivières en France » – sélection d'un réseau de référence et analyse de l'évolution temporelle des régimes des 40 dernières années.

² Le projet ICC-HydroQual (Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux, APR FEDER/EPL, (2009-2010) a réuni l'Université François Rabelais de Tours, l'UMR Sisyphe, le BRGM et le Cemagref.

³ Etiage : période de plus basses eaux des cours d'eau et des nappes souterraines, où l'écoulement ou le niveau d'eau est le plus faible de l'année.

⁴ Débit d'étiage mensuel quinquennal (QMNA5) = débit d'étiage de référence pour l'application de la police de l'eau : il s'agit de la valeur mensuelle statistique du plus petit écoulement d'un cours d'eau sur une période de 5 ans.



A Retenir

Si l'observation des débits moyens de septembre des rivières en région Centre-Val de Loire sur 20 ans ne permet pas d'observer une tendance significative, toutes les modélisations permettant des projections à des horizons 2070 ou 2100 pour le bassin Loire-Bretagne s'accordent sur un phénomène de baisse des débits moyens des cours d'eau de 10 à 40 % et un allongement des périodes d'étiage.



Pour en savoir plus

- Évolutions observées dans le débit des rivières en France - ONEMA (Comprendre pour Agir décembre 2012) – sélection d'un réseau de référence et analyse de l'évolution temporelle des régimes des 40 dernières années : https://reseau-eau.educagri.fr/files/fichierRessource1_debits-des-rivieres.pdf
- Projet Explore 2070 – MTES / DEB / DGEC / DGPR / CGDD, Onema, CETMEF, Agences de l'eau, DREAL de bassin : <https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/44>
- Projet ICC-HydroQual (Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux, APR FEDER/EPL, (2009-2010) - Université François Rabelais de Tours, UMR Sisyphe, BRGM et Cemagref : https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/METIS_UMR7619/insu-00549254



C8 – Niveau des nappes d'eau souterraine

Nature et source des données

Données et analyses fournies par la DREAL, Service Eau et Biodiversité

Indicateur 1

Niveau des nappes d'eau souterraines en région Centre-Val de Loire (niveau piézométrique) relevés des mois de septembre depuis 1994.

Calcul de l'indicateur 1

Niveau piézométrique des principaux aquifères de la région Centre-Val de Loire exprimé à partir d'indicateurs : moyenne des niveaux piézométriques mesurés au droit d'un ensemble de stations représentatives d'un aquifère et d'un secteur géographique donné.



Localisation des indicateurs de situation des ressources en eau des nappes en région

Source : DREAL Centre Val-de-Loire - SEB



C8 – Niveau des nappes d'eau souterraine

Nom de l'Indicateur	Listes des piézomètres composant les indicateurs
Beauce centrale	Fains-la-Folie, Saint-Léger-des-Aubées, Ouzouer-le-Marché, Epieds-en-Beauce, Batilly-en-Gâtinais
Beauce Montargois	Villemoutiers, Nogent-sur-Vernisson
Beauce Fusain	Batilly en Gâtinais, Corbeilles, Préfontaines
Beauce Blésoise	Séris, Villeromain, Oucques, Champigny-en-Beauce
Calcaires du Berry	Saint-Cyr-en-Val, Crouy-sur-Cosson, Millancay
Calcaires sous Sologne	Saint-Cyr-en-Val, Crouy-sur-Cosson, Millancay
Craie Est Loing	Chevannes, Chuelles
Craie Nord	Langey, Magny, Maintenon, Chateaufort-en-Thymerais, Bû
Craie Loir-et-Cher/Indre-et-Loire	Fortan, Santenay, Ambloy, Channay-sur-Lathan
Craie Sud Indre-et-Loire	Ballan-Miré, Villeloin-Coulange, La Celle-Guenand
Cénomaniens Nord	Arrou, Charbonnières, Moulhard, Montigny-le-Chartif, Saint-Agil
Cénomaniens Nord Loire	Monnaie, Trôo, Morée, Orchaise
Cénomaniens Touraine	Tours, Monnaie, Montbazou
Cénomaniens Sud Indre-et-Loire	Civray-sur-Esves, Le Grand-Pressigny, Bourgueil
Cénomaniens Indre	Baudres, Pellevoisin, Murs
Cénomaniens Cher	Nancay, La Chapelle d'Angillon
Malm Eure-et-Loir	Fretigny, Trizay-Coutretot
Malm Cher	Osmeray, Villequiers, Plaimpied-Givaudins, Veaugues, Rians, Vornay
Malm Indre	Villedieu-sur-Indre, Paudy, Fontgombault, St Martin de Lamps, la Chapelle-Orthemale, Issoudun, Déols
Dogger libre	Nérondes, Blet, Ambrault
Dogger captif	Saint-Baudel, Chezal-Benoît, Arthon, Ruffec-le-Château, Luant, Ardentes
Trias	Maillet, Montgivray, Le Menoux



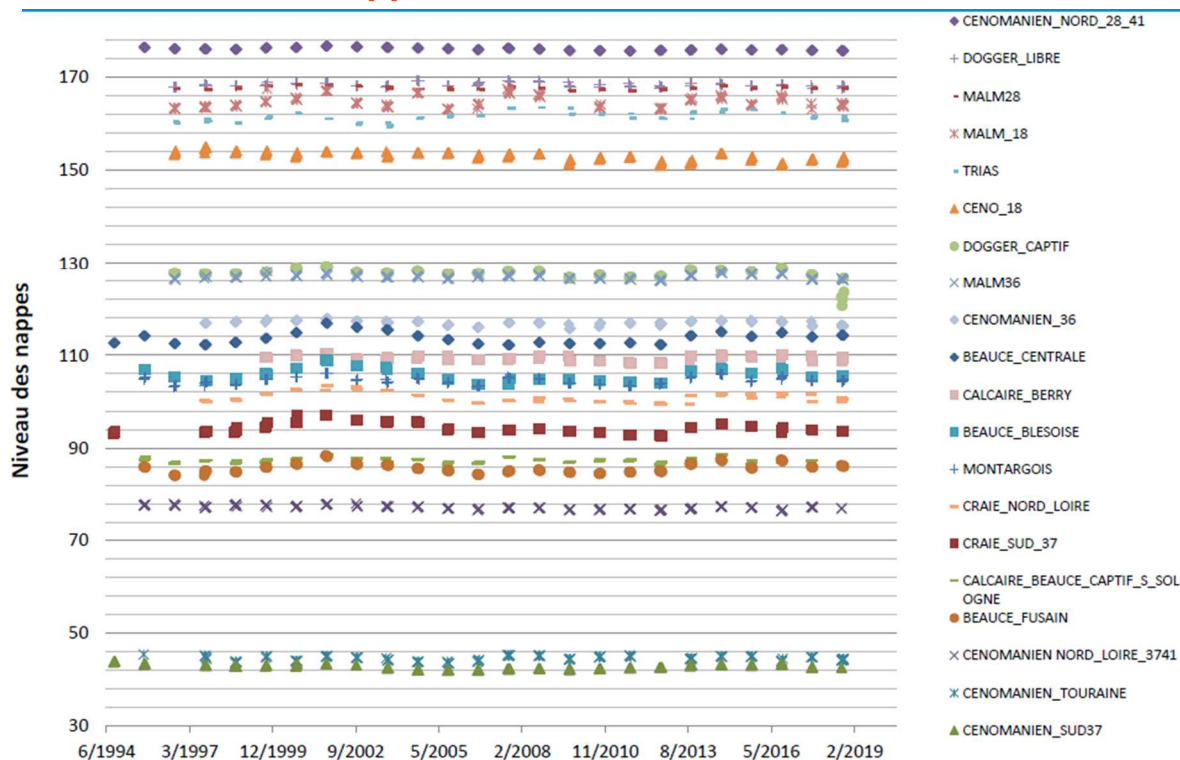
Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : altitude NGF (nivellement général de la France) du niveau des nappes exprimé en mètres

L'observation des indicateurs des niveaux des nappes ne permet pas de dégager une tendance rétrospective significative.



C8 – Niveau des nappes d'eau souterraine



Niveau des nappes de la région Centre Val-de-Loire, relevés des mois de septembre depuis 1994

Analyse

Le réseau piézométrique régional constitue un outil indispensable à la connaissance et au suivi des ressources en eau souterraine. Il se compose de près de 200 stations automatiques et télé-transmises (les piézomètres) qui suivent en continu les fluctuations du niveau des principales nappes d'eau souterraine. Le graphique ci-contre présente les 22 indicateurs des niveaux des nappes de la région aux mois de septembre ; Il s'agit de moyennes de relevés de plusieurs piézomètres pour chaque semaine. Ils donnent une vision synthétique du niveau et de l'évolution de la nappe et sont représentatifs d'une partie homogène de l'aquifère concerné sur une zone donnée.

Le comportement de nappes et leur recharge diffèrent sensiblement en fonction de leurs caractéristiques hydrogéologiques et de leurs potentialités aquifères. Les nappes montrent généralement des cycles annuels de vidange ; celles qui présentent une inertie faible peuvent se recharger et se décharger rapidement. A contrario, certaines nappes telle la nappe de Beauce ont une inertie forte, ce qui les rend moins sensibles aux variations saisonnières. Lorsque le niveau est en baisse, il faut deux à trois années de pluies excédentaires pour inverser la tendance et voir celui-ci remonter ensuite même si entre temps les pluies sont devenues déficitaires.

L'observation des indicateurs des niveaux des nappes ne permet pas de dégager une tendance rétrospective significative.

Cependant, les impacts du changement climatique sur les eaux de surface impliqueront des répercussions sur les ressources en eau souterraines. Selon l'étude Explore 2070, la recharge des nappes souterraines serait affectée avec une baisse, sur la moitié de la superficie de son bassin versant, comprise entre 25 et 30 % à l'horizon 2070, ce qui ferait du bassin de la Loire une des deux zones les plus sévèrement touchées au niveau national. La baisse serait plus



C8 – Niveau des nappes d'eau souterraine

limitée pour les nappes de plaines alluviales dont le niveau est très lié au niveau de la rivière et à la cote topographique tandis qu'elle pourrait atteindre 10 m sur les plateaux ou contreforts des bassins sédimentaires.



A Retenir

Si l'observation des indicateurs des niveaux des nappes ne permet pas de dégager une tendance rétrospective significative sur 25 ans, selon l'étude Explore 2070 le bassin de la Loire sera sévèrement touché sur la moitié de la superficie de son bassin versant par une baisse comprise entre 25 et 30 % à l'horizon 2070.



Pour en savoir plus

- Site de la DREAL Centre / niveau de nappes :
http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/Sta_Piezo/cadre_cartReg.htm
<http://drealcentre.aquasys.fr/drealcentre/accueil;jsessionid=1B3AFF6485DC450FD01FDBF0AD3DE62E?0>
- Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Centre-Val de Loire du BRGM : <http://sigescen.brgm.fr/-Hydrogeologie-.html>
- Explore 2070 , Etude et simulation des impacts du changement du climat
: <https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44>



DX (prochainement)



Nature et source des données

Rappel



Indicateur 1



Calcul de l'indicateur 1



Évolution observée



Analyse

E1-Occupation du sol et matière organique des sols



Nature et source des données

DRAAF- Enquête de TERUTI 1992-2003, TERUTI LUCAS 2006-2015 et enquête TERUTI 2022



Indicateur

Evolution de l'occupation du sol dans la région Centre Val de Loire : sols artificialisés, agricoles, naturels et boisés



Calcul de l'indicateur

- Evolution des territoires agricoles (courbe marron) ;
- Evolution des territoires naturels et boisés (courbe verte) ;
- Evolution des territoires artificialisés (courbe grise).



Évolution observée et analyse

Le sol est une ressource limitée et non renouvelable, il remplit plusieurs fonctions vitales (source principale de production alimentaire, stockage d'éléments chimiques...). L'étude de son occupation est essentielle pour l'observation de l'environnement.

La région Centre Val-de-Loire occupe 3,95 millions d'hectares. En 2020, la région est composée (Source DRAAF Centre – Val de Loire) à :

- 61% par des sols agricoles (terres cultivées, prairies, vignes, vergers...)
- 31 % par des zones naturels et boisées
- 8 % par des sols artificialisés

A l'échelle régionale, l'agriculture perd en moyenne plus de 5 500 ha/an de surface agricole utile depuis 1982. Cette évolution semble diminuer puisque le rythme était de - 6500 ha/an entre 1991 et 2000, et de - 2400 ha/an entre 2011 et 2020.

A l'inverse, la surface des sols artificialisés augmente en moyenne de 3 200 ha/an depuis 1982. Cette artificialisation diminue sensiblement, et est passée de + 4700 ha artificialisés par an entre 1991 et 2000 à + 2000 ha/an entre 2011 et 2020.

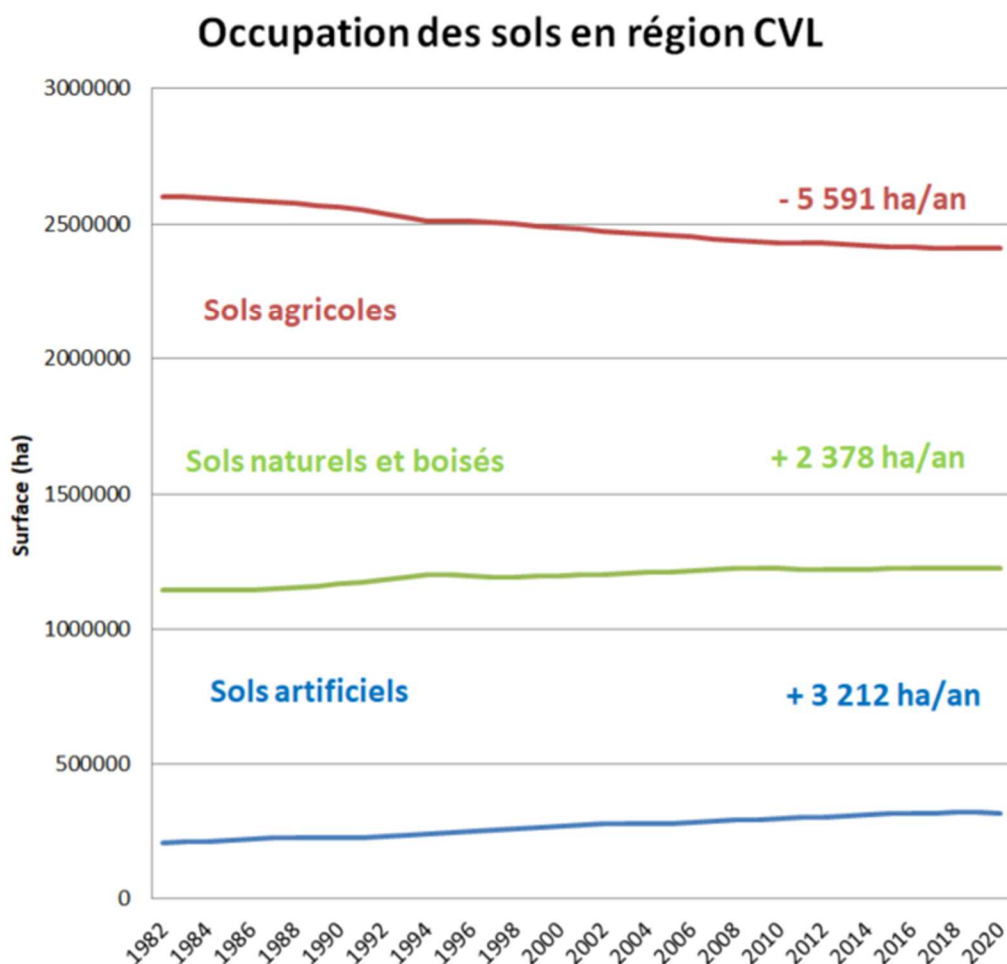
Quant à la surface des espaces naturels et boisés, elle est en progression de plus de 2 300 ha/an depuis 1982 (augmentation de la surface des friches et de la forêt). Le rythme de d'expansion de ces espaces naturels et boisés a chuté, passant de + 1800 ha/an entre 1991 et 2000 à seulement +

5 en ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

350 ha/an entre 2011 et 2020.



Evolution des sols agricoles, naturels et boisés, artificialisés en région Centre Val-de-Loire depuis 1982 Source : SSP - Agreste - Enquêtes Teruti *

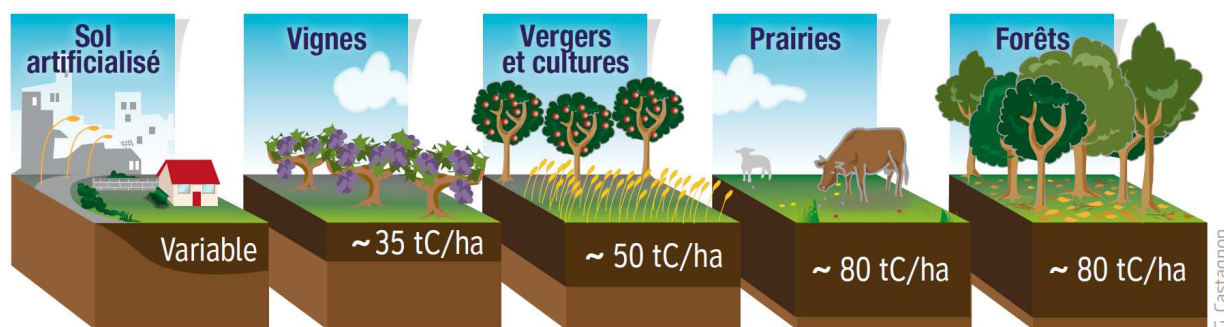
* A noter que la surface correspond à la moyenne triennale de 3 enquêtes TERUTI successives. L'année de référence est l'année médiane des 3 années successives.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

En France métropolitaine, les stocks de carbone organique dans la couche superficielle des sols (0-30 cm) sont évalués à environ 3,2 milliards de tonnes (source Gis Sol). Ce carbone organique provient de la décomposition des végétaux ou d'effluents d'élevage. Cette décomposition (qui émet du CO₂) va dépendre des conditions du milieu (aération, humidité, localisation de la matière organique dans le sol, température...), des pratiques agricoles (labour, gestion des couverts et des résidus de récolte...), et de l'occupation du sol. Ainsi, le stock de matière organique (ADEME, 2014) est en moyenne élevé dans les forêts et les prairies (environ 80 tC/ha), moyen dans les vergers et cultures (50 tC/ha) et faible en viticulture (35 tC/ha). Les stocks sont difficilement quantifiables en zone urbaine, mais dans le cas où ils sont imperméabilisés, ils ne pourront plus avoir d'action stockante.



Estimation du stock de carbone* dans les 30 premiers centimètres du sol – Source GIS sol

**Equivalence : 1 kg de C ⇔ 0,58 kg de matière organique ⇔ 3,6 kg CO₂*

Ces variations de stocks de carbone des sols peuvent donc constituer un puits ou une émission de CO₂ sous l'effet de changements d'occupation des sols. Par exemple, un retournement de prairies pour faire des cultures va émettre du CO₂ alors que la mise en place d'une haie dans une parcelle agricole va stocker du carbone dans les sols.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



A retenir

Depuis 2010, les terres agricoles de la région Centre Val-de-Loire ont été grignotées (-4600 ha/an) principalement par les sols artificialisés (+3400 ha/an) et dans une moindre mesure par les sols naturels et boisés (+800 ha/an), ce qui impacte la variation de stocks de carbone dans les sols.

Les sols agricoles ont une capacité à stocker du carbone (en augmentant le taux de matière organique), alors que les sols artificialisés perdent cette capacité (sans parler d'autres bienfaits : biodiversité, infiltration de l'eau...).

La priorité est de contenir cette artificialisation sachant que la stratégie nationale bas carbone (SNBC) vise une « zéro artificialisation nette » en 2050.



Pour en savoir plus

- ADEME, 2014- Carbone organique des sols : L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat ;
- DRAAF, 2017- L'essentiel sur l'occupation et l'utilisation des terres en région Centre-Val de Loire
- Gis Sol - <https://www.gissol.fr/thematiques/matieres-organiques-des-sols-42>, consulté le 22/02/2020



E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



Indicateur 1

Evolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) et du stockage carbone en région Centre Val-de-Loire par grands secteurs depuis 2008



Nature et source des données

Données fournies par l'OREGES (Observatoire Régional de l'Energie et des Gaz à Effet de Serre en région Centre-Val de Loire)



Calcul de l'indicateur

Les émissions de gaz à effet de serre sont exprimées en CO₂e (équivalent CO₂), et vont agréger tous les types de GES (CO₂, CH₄, N₂O...) émis par l'homme, en prenant en compte leur pouvoir de réchauffement global (PRG CO₂=1, PRG CH₄=28, PRG N₂O=265 ; ce qui signifie que sur un horizon de 100 ans, le CH₄ aura un impact vingt-huit fois plus important sur le réchauffement climatique que du CO₂ (et 265 fois pour le N₂O). Ces valeurs sont issues du 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC (2013).

A l'inverse, la biomasse et la matière organique des sols peuvent stocker durablement le carbone. Ce stockage carbone est exprimé en CO₂e, dans la même unité que les émissions de GES. Par la suite, cette séquestration carbone, représentée par le secteur UTCATF, sera représentée comme des émissions de GES négatives.

Les 7 grands secteurs traités sont les suivants :

- **UTCATF** : Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Foresterie. Ce secteur comptabilise les variations de flux de carbone (biomasse et matière organique des sols) au cours d'une année. Les flux principaux sont dus aux changements d'affectation des terres (ex : terres agricoles converties en terres urbanisées ou en forêt), à des changements de pratiques (ex : cultures intermédiaires) ou à des dynamiques de long terme (ex : croissance forestière). Dans le cas où ces flux de carbone sont positifs sur un territoire, cela contribue à la séquestration (ou au stockage) du carbone. A l'inverse des pratiques agricoles « déstockantes » ou des incendies de forêt peuvent déstocker du carbone d'un territoire.
- **agriculture** : principalement les émissions associées à l'élevage (fermentation entérique des ruminants, fermentation des déjections animales...), aux cultures (fertilisation azotée des cultures, travail du sol...) et aux machines agricoles et sylvicoles.
- **transport** : regroupe le transport routier (voitures, poids lourds, bus et deux roues) et non routiers (aérien, fluvial, maritime et ferroviaire)
- **industrie** : tous les domaines sont concernés : chimie, construction, agro-alimentaire, métallurgie, fabrication du papier...
- **résidentiel et tertiaire** : Les émissions proviennent principalement des appareils de chauffage et de climatisation pour les activités domestiques (résidentiel) et pour les bâtiments des commerces, institutions et services publics (tertiaire)
- **autres** : principalement le secteur des déchets (qui émettent des GES selon leur filière d'élimination : installation de stockage de déchets (ISD), par incinération, par recyclage organique ou par recyclage matière) et le secteur de l'énergie mais uniquement l'extraction et la distribution de l'énergie (par exemple, le stockage de combustibles gazeux...). A noter que les émissions de GES liées à l'utilisation d'électricité et de chaleur sont comptabilisées au niveau des secteurs utilisateurs (résidentiel et tertiaire, industrie...).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



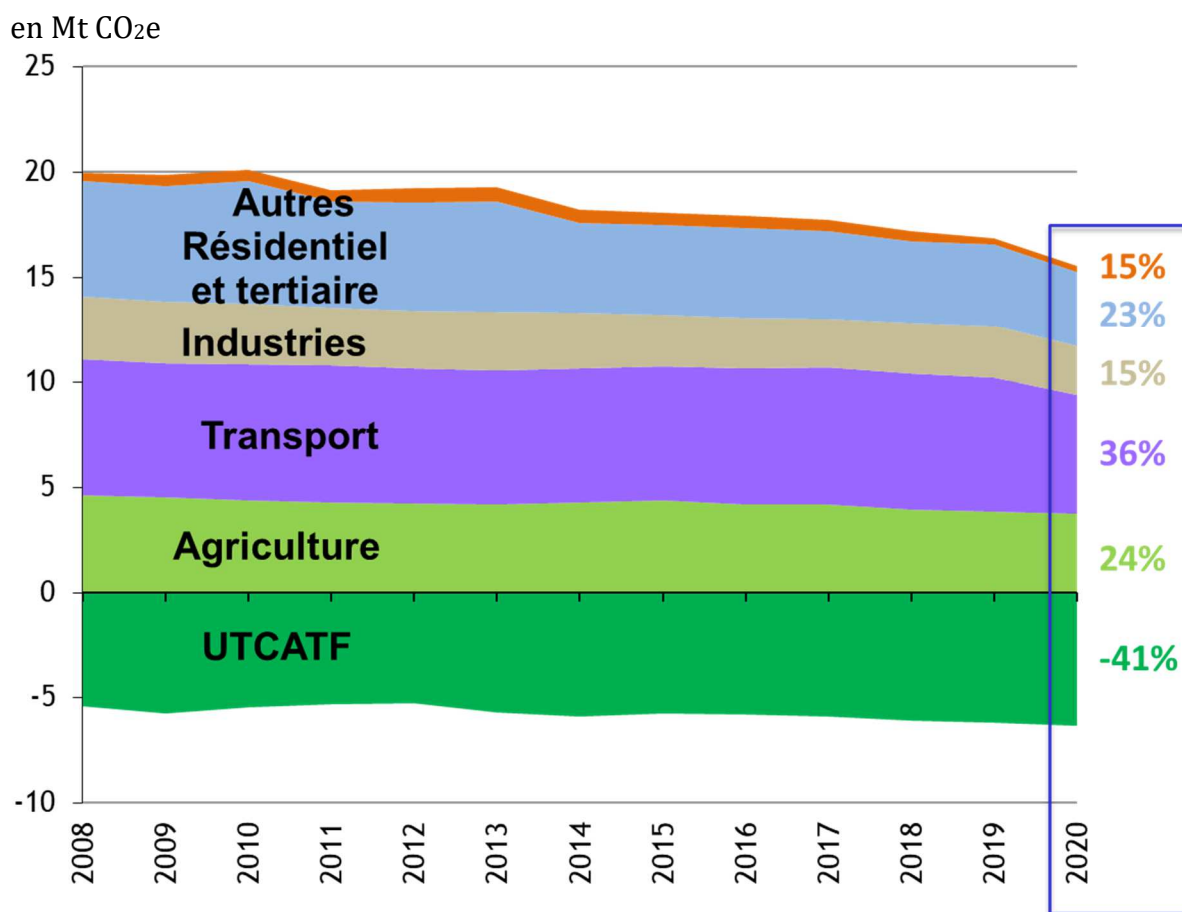
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



Évolution observée

- **en abscisse** : années
- **en ordonnée** : émissions en millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂e)



Evolution des émissions de gaz à effet de serre et de stockage carbone en millions de tonne équivalent CO₂ en région Centre Val-de-Loire depuis 2008 - source OREGES



Analyse

Les émissions 2020 de gaz à effet de serre (hors secteur UTCATF) sont :

- de **15,6 Mt CO₂e en 2020** en région Centre Val-de-Loire et ont baissé de 22% de 2008 à 2020
- de 404 Mt CO₂e en 2022 en France métropolitaine et ont baissé de 21% de 2008 à 2022 (CITEPA)



E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone

Le secteur le plus émetteur est celui du transport (36%), suivi de l'agriculture (24 %), du résidentiel et tertiaire (23%), et de l'industrie (15%). A noter que le secteur UTCATF concerne indirectement le secteur agricole puisqu'il regroupe les flux de carbone induits par les activités humaines, relatifs au couvert végétal (prairies, haies, forêt...) et à la matière organique du sol.

De 2008 à 2020, les secteurs qui ont connu les plus fortes baisses sont le secteur résidentiel-tertiaire (- 35%), le secteur industriel (-23 %) et dans une moindre mesure, le secteur agricole (-19 %). Le secteur des transports a faiblement évolué depuis 2008 (-12 %). A noter que les variations interannuelles s'expliquent principalement par la douceur (ou la rigueur) des hivers jouant sur les émissions de CO₂ dans les secteurs ayant besoin de chaleur (résidentiel-tertiaire et industrie).

La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) définit une trajectoire de réduction des émissions de GES compatible avec l'Accord de Paris. Cet accord ambitionne de limiter la hausse des températures moyennes mondiales à +2°C à la fin du XXI^{ème} siècle. Pour atteindre cet objectif, la France doit atteindre la neutralité carbone au cours de la 2^{ème} moitié du 21^{ème} siècle. C'est-à-dire parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques de GES et les absorptions par les puits de carbone dès 2050. Actuellement, le stockage carbone compense 41% des émissions régionales (5% au niveau national !). A terme, l'objectif est d'amener cette compensation à 100 % en 2050. Etant donné le potentiel limité des puits de carbone dans le sol et dans la biomasse forestière, cet objectif implique nécessairement une réduction massive des émissions dans tous les secteurs.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



Indicateur 2

Emissions de gaz à effet de serre et stockage carbone par secteur et par département



Nature et source des données

Données fournies par l'OREGES (Observatoire Régional de l'Énergie et des Gaz à Effet de Serre) Centre-Val de Loire pour l'année de référence 2020.



Calcul de l'indicateur

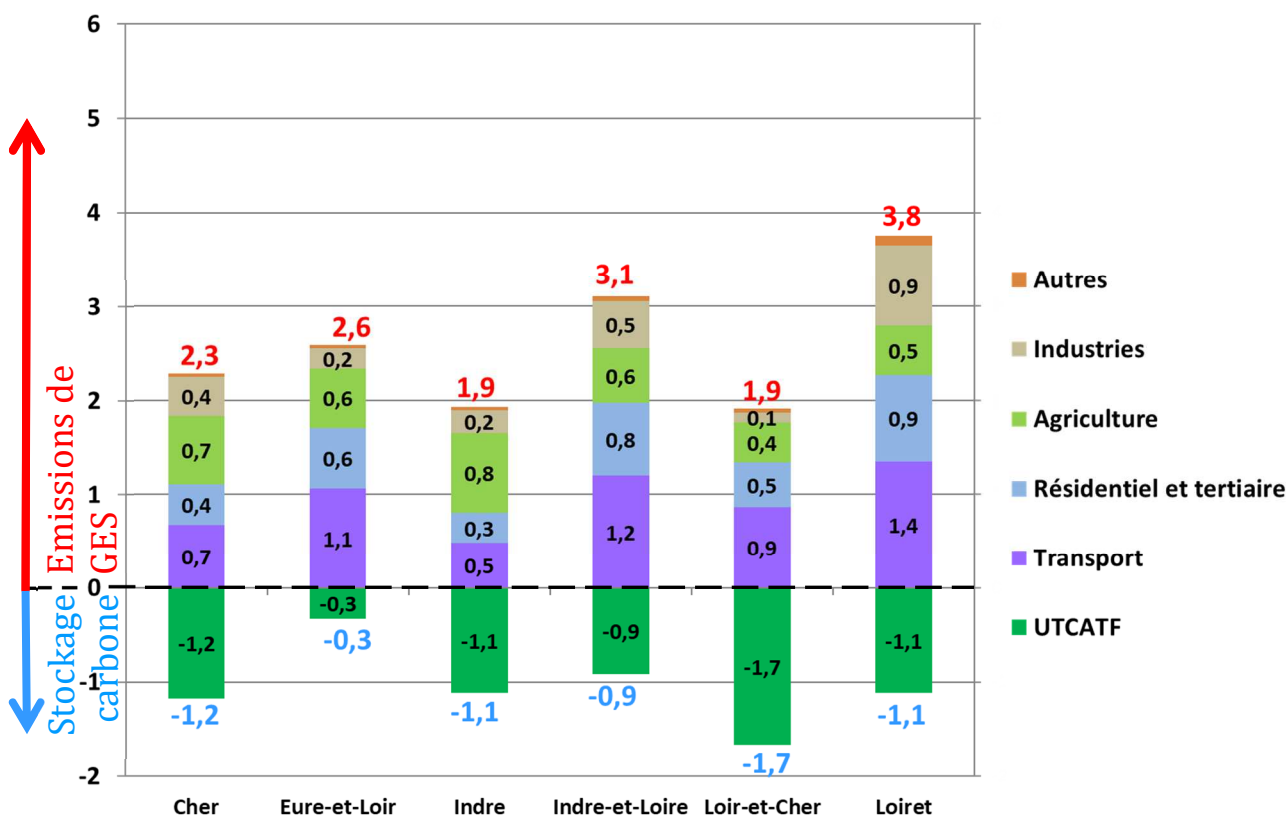
Emission de GES par secteur en millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂e) par département



Résultat observée

- **en abscisse** : département
- **en ordonnée** : émissions en millions de tonnes équivalent CO₂

en Mt CO₂e



Emissions de gaz à effet de serre et stockage carbone en millions de tonne équivalent CO₂ par département en 2020 - source OREGES

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

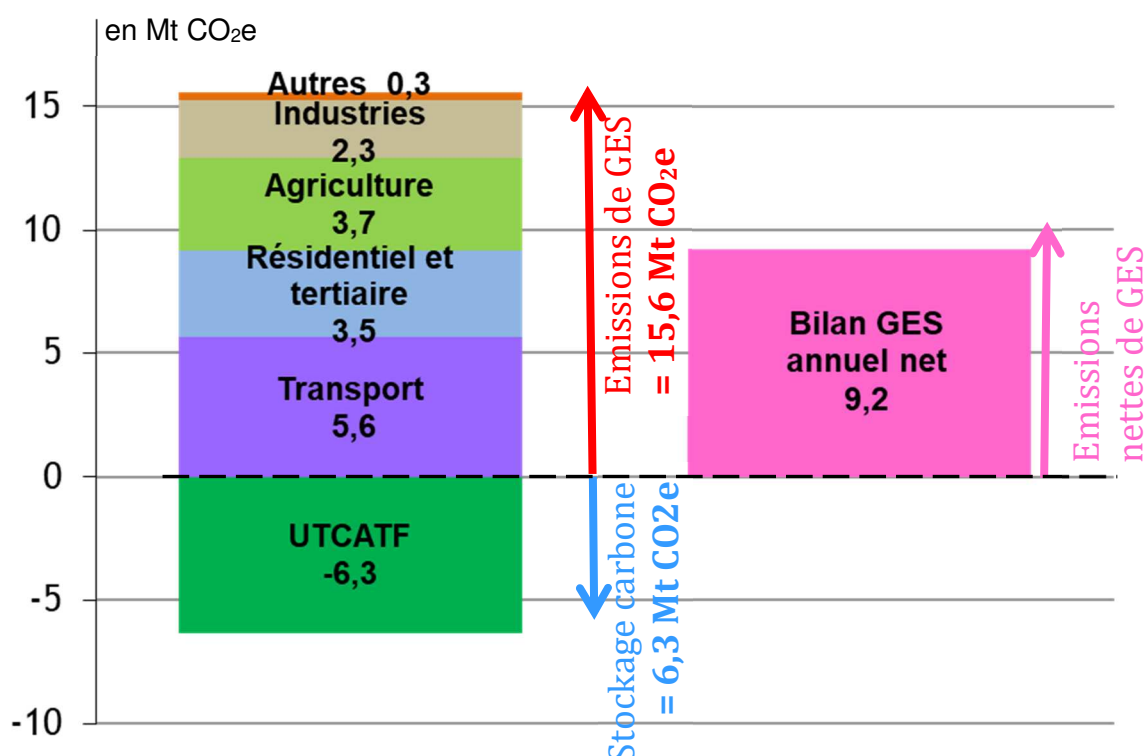
E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



En **région Centre Val-de-Loire**, l'agriculture représente **24 %** des émissions de gaz à effet de serre en 2020, avec **3,7 Mt CO₂e** (source OREGES). Ce taux de 24 % est une moyenne puisqu'il varie fortement au niveau départemental ; en effet, la proportion des émissions agricoles varie de 14% (avec 0,5 Mt CO₂e dans le Loiret) à 44% (avec 0,85 Mt CO₂e dans l'Indre). Ce dernier pourcentage s'explique par le fait que l'Indre possède la SAU la plus importante de la région (20 %) mais surtout qu'il possède 37% du cheptel bovin régional.

Du côté du stockage carbone, on obtient **6,3 Mt CO₂e au niveau régional**. Ce taux varie de 13% (avec -0,3 Mt CO₂e de stockage annuel dans l'Eure-et-Loir) à 87% (avec 1,7 Mt CO₂e de stockage annuel dans le Loir-et-Cher). Ce dernier pourcentage s'explique par le fait que le Loir-et-Cher possède 24% de la surface forestière régionale.

En ajoutant le secteur UTCATF qui estime « la séquestration annuelle de carbone » (= émissions négatives) aux émissions de GES annuelles de tous les secteurs d'un territoire, on obtient un bilan annuel net de GES de **9,2 Mt CO₂e**. Le bilan GES annuel net régional annuel est fortement positif ce qui signifie que le territoire émet beaucoup plus de gaz à effet de serre qu'il n'en séquestre (voir graphique ci-dessous).



Bilan GES net (émissions – stockage) en millions de tonne équivalent CO₂ en région Centre Val-de-Loire en 2016 - source OREGES

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



Indicateur 3

Evolution des différents types de gaz à effet de serre émis par secteur agricole



Nature et source des données

Données fournies par l'OREGES (Observatoire Régional de l'Énergie et des Gaz à Effet de Serre) pour l'année de référence 2020, en région Centre-Val de Loire



Calcul de l'indicateur

Emission de GES agricoles par type de GES et par secteurs en millions de tonnes équivalent CO₂. Cette section ne concerne pas le secteur UTCATF.

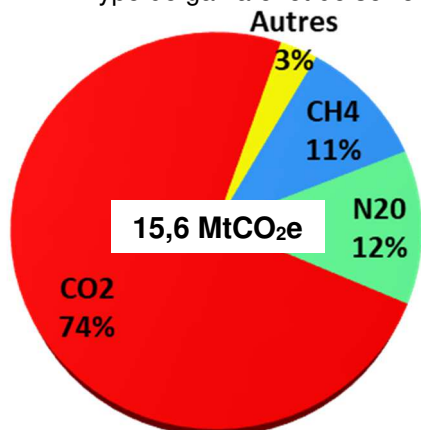


Résultat observée

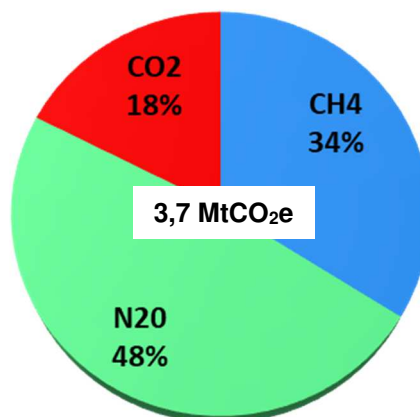
En région Centre, tous secteurs confondus, les émissions de GES (voir ci-dessous, à gauche) sont de 15,6 Mt CO₂e et sont émis sous différentes forme :

- à 74 % de CO₂ (dioxyde de carbone),
- à 12 % de N₂O (protoxyde d'azote),
- à 11 % de CH₄ (méthane)
- et à 3 % sous d'autres formes (fluorés...).

Type de gaz à effet de serre émis en région Centre Val-de-Loire en 2020 émis par :



tous les secteurs



le secteur agricole

Mais si on s'intéresse uniquement au secteur agricole en région Centre Val-de-Loire, soit 3,7 Mt CO₂e, ces répartitions sont complètement différentes (voir ci-dessus, à droite) :

- **18 % de CO₂** (dioxyde de carbone),
- **48 % de N₂O** (protoxyde d'azote),
- **34 % de CH₄** (méthane)

Par rapport à la totalité des émissions de GES de la région Centre Val-de-Loire, les émissions agricoles représentent (voir graphique ci-dessous) :

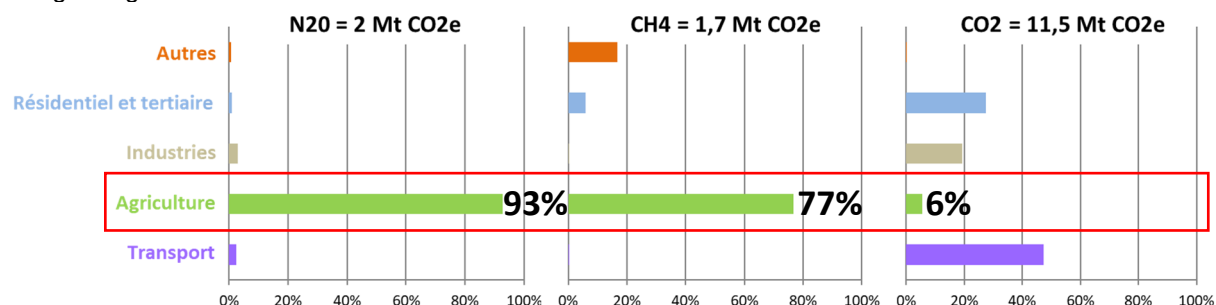
- 93 % du N₂O
- 77 % du CH₄
- 6 % du CO₂

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone

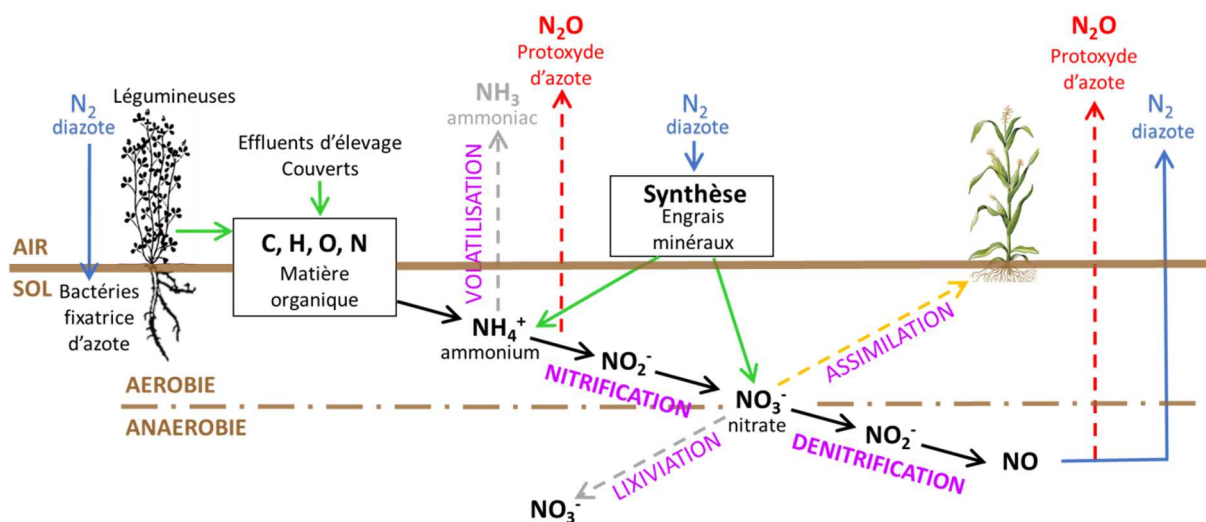
Autrement dit, le méthane et le protoxyde d'azote sont des gaz à effet de serre principalement d'origine agricole.



Contribution des secteurs aux émissions de CO₂, N₂O, CH₄ – source OREGES

En région Centre Val-de-Loire, les émissions agricoles sont donc principalement impactées par :

- Le **protoxyde d'azote** (à 48 %) : ces émissions sont principalement liées aux **cultures**, en particulier du fait de l'épandage de fertilisants azotés minéraux et organiques. Les émissions de N₂O sont produites principalement lors des réactions de **nitrification-dénitrification** (réaction faisant parti du cycle de l'azote), par les micro-organismes présents dans le sol. Les émissions de protoxyde d'azote vont évoluer en fonction des conditions pédoclimatiques (sol hydromorphe/sol bien drainé) et des pratiques culturales (non labour/labour), notamment à cause de la disponibilité en oxygène dans le sol. D'autres émissions, dites « indirectes », ont également lieu, soit après **lixiviation** du NO₃ dans le sol puis dénitrification ; soit après **volatilisation** de NH₃, redéposition puis nitrification/dénitrification.



Source de production du protoxyde d'azote (N₂O) dans le sol

- Le **méthane** (à 34 %) : Les émissions de CH₄ sont principalement liées à l'**élevage** car ces émissions ont lieu en milieu anaérobie (c'est-à-dire en l'absence d'oxygène), lors de la dégradation des matières organiques par les microorganismes. Chez les ruminants (bovins, caprins, ovins...), la dégradation des glucides par les microorganismes du rumen produit du CH₄, évacué principalement par éructation. Lors du stockage des effluents en conditions anaérobies (fosse à lisier ou tas de fumier), la matière organique contenue dans les déjections des animaux donne aussi lieu à des émissions de CH₄.

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone

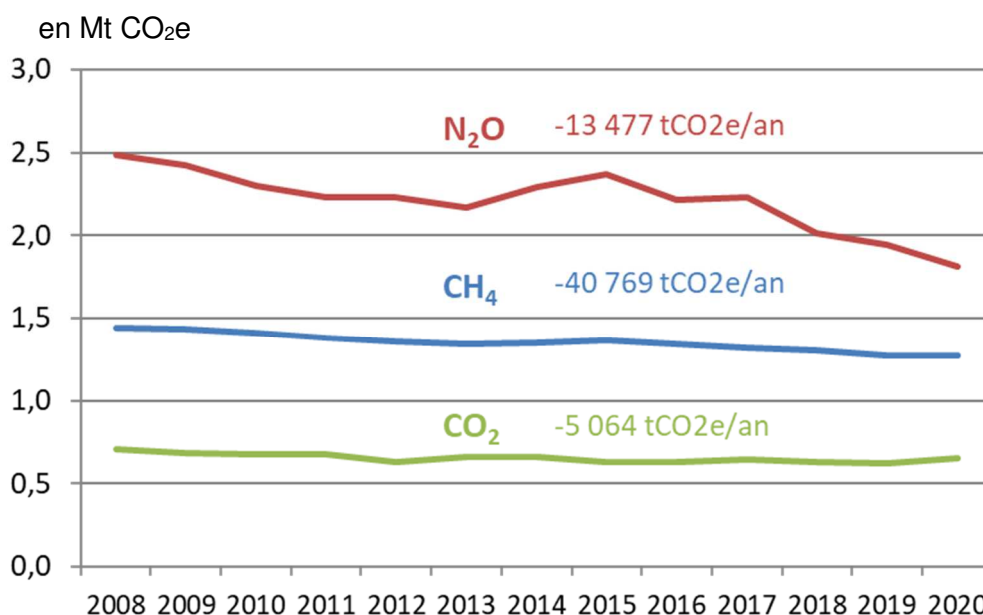
5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

- Le **dioxyde de carbone** (à 18 %) : Les émissions de CO₂ sont émises principalement par les **engins agricoles**, par des chaudières (ex : serres chauffées), ou par des climatiseurs (ex : dans les chais viticoles), etc... L'émission de CO₂ est principalement émise par la combustion de carburant, mais n'est pas une source importante comparée aux autres secteurs. En effet, l'agriculture régionale ne consomme que 4,7 % de l'énergie finale par rapport à la totalité des secteurs (source Lig'Air).

On constate que les émissions agricoles, par rapport aux autres secteurs, sont majoritairement d'origine non énergétique et contrôlées plutôt par des processus biologiques : méthane (CH₄) des ruminants et protoxyde d'azote (N₂O) des micro-organismes des sols ce qui les rend plus complexes à maîtriser.



Evolution des différents types de gaz à effet de serre émis par secteur agricole depuis 2008 en Région Centre Val-de-Loire - source OREGES

Tous secteurs confondus, les émissions de gaz à effet de serre ont baissé de 22% de 2008 à 2020. Concernant l'agriculture, ils ont baissé de 19 % entre 2008 et 2020 (de 4,6 à 3,7 Mt CO₂e). C'est le protoxyde d'azote qui a le plus baissé (avec -40 000 tonnes de CO₂e/an depuis 2008) lié notamment à la baisse d'utilisation des engrais. Le méthane a baissé (avec -13 000 tonnes de CO₂e/an depuis 2008) expliqué en partie par la diminution du cheptel bovin entre 2008 et 2020. Les émissions de CO₂ restent plus ou moins stables (avec -5 000 tonnes de CO₂e/an depuis 2008).



E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



Indicateur 4

Evolution du stockage carbone (secteur UTCATF) en région Centre Val-de-Loire depuis 2008



Nature et source des données

Données fournies par l'OREGES (Observatoire Régional de l'Energie et des Gaz à Effet de Serre en région Centre-Val de Loire)



Calcul de l'indicateur

Le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Foresterie) consiste à comptabiliser les variations de flux de carbone (biomasse et matière organique des sols) au cours d'une année. On retrouve du carbone organique dans 2 compartiments distincts :

- **la biomasse aérienne à cycle long** (croissance des arbres, bois mort et litière)
- **la biomasse organique des sols** (racines, matière organique...).

Concernant **la biomasse aérienne à cycle long**, on notera qu'il n'est pas pris en compte la biomasse à cycle court ; c'est à dire, toutes les productions agricoles annuelles (grains, fourrages...) pourtant issus de la photosynthèse car elles font parties d'un cycle court du carbone (réémission du carbone dans l'atmosphère à très court terme). En effet, lorsqu'un blé croît, il capte du carbone atmosphérique pour constituer sa propre biomasse. Mais, le carbone sera libéré rapidement par consommation du grain par les animaux ou les hommes et décomposition de la paille dans les sols. Par contre, des pratiques agricoles « stockantes » (ex : développement des intercultures) ou « déstockante » (ex : exportation des pailles systématique sans restitution) qui feront évoluer le taux de matière organique des sols à long terme pourront être pris en compte dans ce secteur.

Pour la biomasse de cycle long, comme le bois, la situation est différente car il peut y avoir un écart important entre les quantités de carbone capté par des surfaces boisées (accroissement forestier) et les quantités de carbone émises (mortalité des arbres, incendies, tempêtes...).

On considère ici la récolte du bois comme une émission de CO₂ vers l'atmosphère. Cette émission peut être instantanée dans le cas du bois énergie ou retardée (mais non annulée) dans le cas du bois d'œuvre. Par simplicité, ces émissions n'ont pas été affectées à chaque consommateur ou secteur. Par exemple, lorsque du bois est brûlé pour un usage énergétique dans une industrie, l'émission de CO₂ associée n'est pas comptabilisée pour éviter un double comptage. Par contre, si cette industrie a baissé sa consommation d'énergie fossile grâce au bois énergie, alors ces économies de GES seront prises en compte au niveau de cette industrie. Idem pour le bois matériau (ex : bois construction) en remplacement de matériaux déstockant fortement du carbone (ex : ciment).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

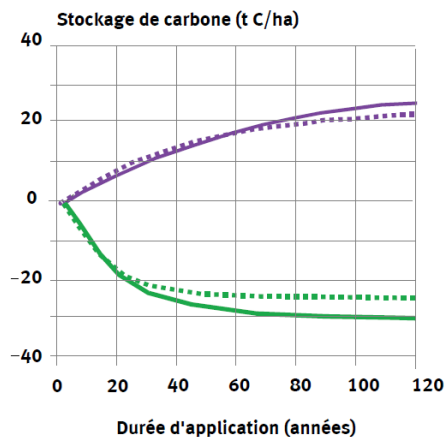
E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone

Concernant la **biomasse organique des sols**, en fonction des caractéristiques initiales du sol (teneur en matière organique, en argile, en calcaire, etc...), de son activité biologique et des pratiques culturales (fertilisation, labour, etc...), le carbone peut s'accumuler (= augmentation du taux de matière organique) ou être déstocké sous forme de CO₂. Le sol est donc à la fois un « puits » ou une « source » de carbone.

Par exemple, la conversion d'une prairie en culture, du simple fait du travail du sol va accroître la minéralisation par aération du sol et engendrer un déstockage de carbone deux fois plus rapide et deux fois plus important durant les 20 premières années que le stockage induit par la conversion inverse (voir schéma ci-contre).

Pour faciliter les comparaisons par rapport aux émissions de GES, le stockage carbone est traduit en CO₂équivalent, selon l'équivalence :

$$1 \text{ kg de C} \Leftrightarrow 0,58 \text{ kg de matière organique} \Leftrightarrow 3,6 \text{ kg CO}_2\text{e}$$



— Culture → forêt — Forêt → culture
 Culture → prairie Prairie → culture

Evolutions du stock de carbone dans le sol en fonction des usages – incertitudes +/- 40 %
 (source : Arrouays et al. 2002)

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



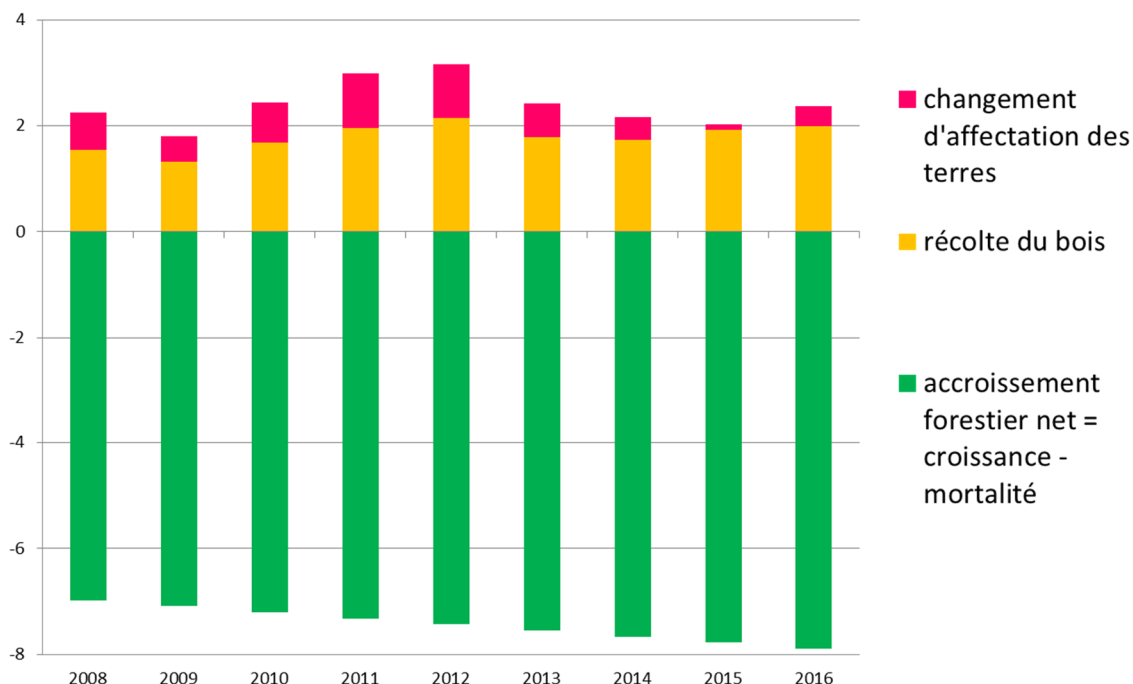
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



Évolution observée

- **en abscisse** : années
- **en ordonnée** : stockage ou émissions en millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂e)



Evolution du secteur UTCATF en millions de tonne équivalent CO₂ en région Centre Val-de-Loire depuis 2008 - source OREGES

La récolte de bois augmente de 0,6 Mt CO₂e par décennie (NS ; p=0,06), compté ici comme une émission alors que l'accroissement forestier net augmente de 1,1 Mt CO₂e par décennie (p<0,05), compté comme un stockage carbone.



Analyse

Avant toute chose, le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêt) présente de fortes incertitudes et l'interprétation de son évolution interannuelle doit se faire avec prudence.

- Concernant l'Utilisation des Terres, il concerne notamment l'évolution du taux de matière organique des sols (voir indicateur « occupation des sols »). Ces mécanismes étant très lent et encore mal connues, leur évolution est jugée négligeable à l'échelle d'un flux annuel sur un territoire.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone

- Concernant le Changement d'Affectation des Terres. Il s'agit du bilan des flux entre les différentes occupations du sol : notamment forêt – pâture – culture (voir indicateur « occupation des sols ») auquel on applique les coefficients ci-dessous.

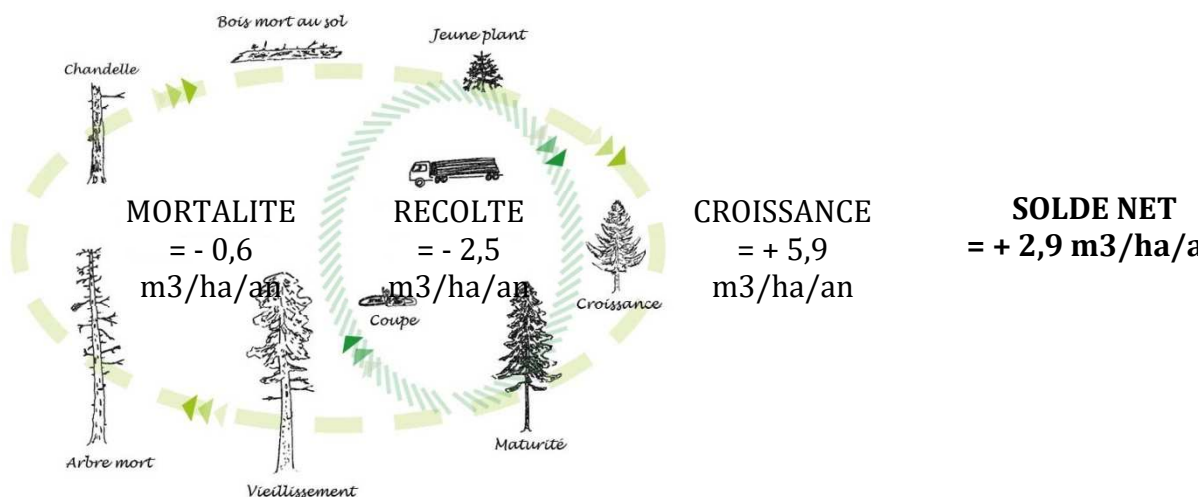
Conversion de terres	Flux additionnel annuel moyen en t C/ha/an (scénario à 20 ans)	Équivalences en CO ₂ émis ou capté (t eq. CO ₂ /ha/an) ¹⁰
	Stockage de carbone	Captage de CO ₂
Culture -> Prairie Permanente	0,49 ± 0,26	0,84 à 2,75
Culture -> Boisement	0,44 ± 0,24	0,73 à 2,49
Prairie permanente -> Boisement	inférieur à + 0,1 ± 0,2	- 0,1 à 0,3
	Déstockage de carbone	Émissions de CO ₂
Prairie permanente -> Culture	-0,95 ± 0,3	2,4 à 4,6
Bois -> Culture	-0,75	2,75
Bois -> Prairie permanente	-0,1 ± 0,1	0 à 0,7

Estimation des impacts de changement d'affectation des terres sur le stockage de carbone dans les sols (source Arrouays et al., 2002)

En Région Centre Val-de-Loire, ce serait le défrichement (perte de forêt pour une autre utilisation) qui serait le facteur d'émission principale, mais ces chiffres demandent à être consolidés.

- Concernant la Foresterie, les données régionales disponibles permettent de distinguer :
 - L'accroissement net de la forêt, c'est-à-dire la croissance des arbres (5,9 m³/ha/an), ôté de la mortalité (0,6 m³/ha/an).
 - La récolte de bois (2,5 m³/ha/an), est comptée ici comme une émission de carbone (approche production) mais aurait pu être attribuée à chaque secteur consommateur (approche consommation) (voir explication ci-dessus).

Pour information, la récolte de bois régionale était de 2 millions de m³ en 2016. D'après ces équivalences approximatives (1 m³ de bois = 0,5 t de bois sec = 0,25 tonne de carbone), on trouve 2 millions de tonnes équivalent CO₂ (du graphique ci-dessus).



Bilan des flux forestiers annuels en Région Centre Val-de-Loire sur la période 2006-2014 (source chiffres : inventaire forestier de l'IGN ; source schéma : <http://foretspreservees.com>)

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

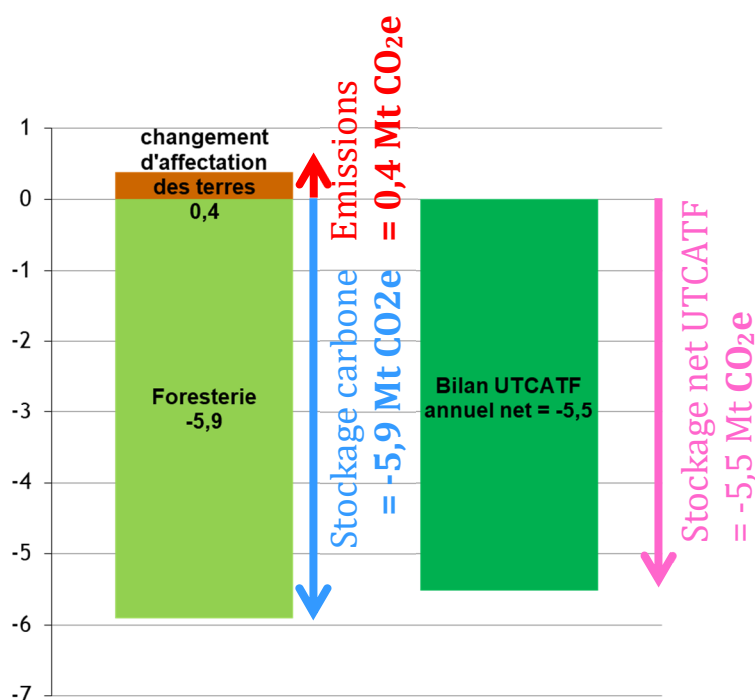


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone

En Région Centre Val-de-Loire, le solde de flux de la biomasse forestière aérienne est de 2,9 m³/ha/an (1,9 m³/ha/an au niveau national), soit un taux de prélèvement de 46 % (54 % au niveau national). Autrement dit, aujourd'hui, on récolte annuellement, la moitié de l'accroissement annuel de la forêt régionale.

La façon de comptabiliser la récolte de bois (en émission de carbone) pourrait laisser penser que l'objectif est de diminuer ce poste pour augmenter le stockage carbone net. Ce n'est pas du tout le message qui doit s'en dégager puisque ce bois servira à éviter des gaz à effet de serre dans les autres secteurs consommateurs (bois énergie en remplacement d'énergie fossile, bois construction en remplacement du ciment, etc...). Cette stratégie de substitution (déstocker du carbone pour remplacer des énergies fossiles ou matériaux à fort contenu en carbone) n'est donc pas du tout à opposer (au contraire) à la stratégie de séquestration (accroissement forestier). En région, la forêt continue à séquestrer du carbone car la forêt régionale est jeune mais ne pas oublier qu'une forêt à l'équilibre ne stocke plus de carbone additionnel (dans une centaine d'années). De plus, le réchauffement climatique pourra augmenter les risques de déstockage carbone de la forêt en augmentant la mortalité, les incendies et les tempêtes. Ces deux stratégies forestières sont donc bien complémentaires (IFN).



Bilan net régional du secteur UTCATF en 2016 en millions de tonne équivalent CO₂
en région Centre Val-de-Loire en 2016 - source OREGES

En 2016, au niveau régional, le solde net est négatif, de l'ordre de – 5,5 millions de tonnes équivalent CO₂, le secteur UTCATF constitue donc un puits de carbone, mais loin de compenser les émissions de GES annuels de tous les autres secteurs (+19,5 MT CO₂e).



E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone



A retenir

- En région Centre Val-de-Loire, le secteur agricole représente 24 % des émissions de gaz à effet de serre derrière le transport routier (36%).
- En région Centre Val-de-Loire, les émissions agricoles de GES sont de 3,7 millions de tonnes d'équivalent CO₂ émis annuellement (référence 2020) sous la forme de protoxyde d'azote (48%), de méthane (34%) et de dioxyde de carbone (18%).
- De 2008 à 2020, le secteur agricole a réduit ses émissions de GES de 19 %.
- En 2020, le secteur UTCATF, qui traduit l'évolution du stockage carbone en région constitue un « puits » de carbone de l'ordre de 6,3 Mt CO₂e principalement dû à l'accroissement de la forêt.
- En prenant en compte la séquestration du carbone, le bilan régional net de GES est de 9,2 Mt CO₂e en 2020. Pour répondre à l'objectif de neutralité carbone en 2050, il faudra nécessairement une réduction massive des émissions dans tous les secteurs y compris l'agriculture.



Pour en savoir plus

ADEME - <http://www.bilans-ges.ademe.fr>

Arrouays, D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana et P. Stengel (eds) (2002). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective. Rapport. INRA. 332 pp.

CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), 2017-
www.citepa.org

IF n°7 – La forêt française : un puits de carbone ? www.ifn.fr

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

Lig'Air (Association de surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire)
<https://www.ligair.fr/les-moyens-d-evaluation/inventaire-des-emissions-1/atlas-air-climat-energie-interactif>

OREGES (Observatoire Régional de l'Énergie et des Gaz à Effet de Serre) - <http://oreges-ligair.opendata.arcgis.com>

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E3-Production d'énergies renouvelables d'origine agricole et forestière



Indicateur 1

Evolution de la production des énergies renouvelables en région Centre Val-de-Loire



Nature et source des données

Données fournies par Odace

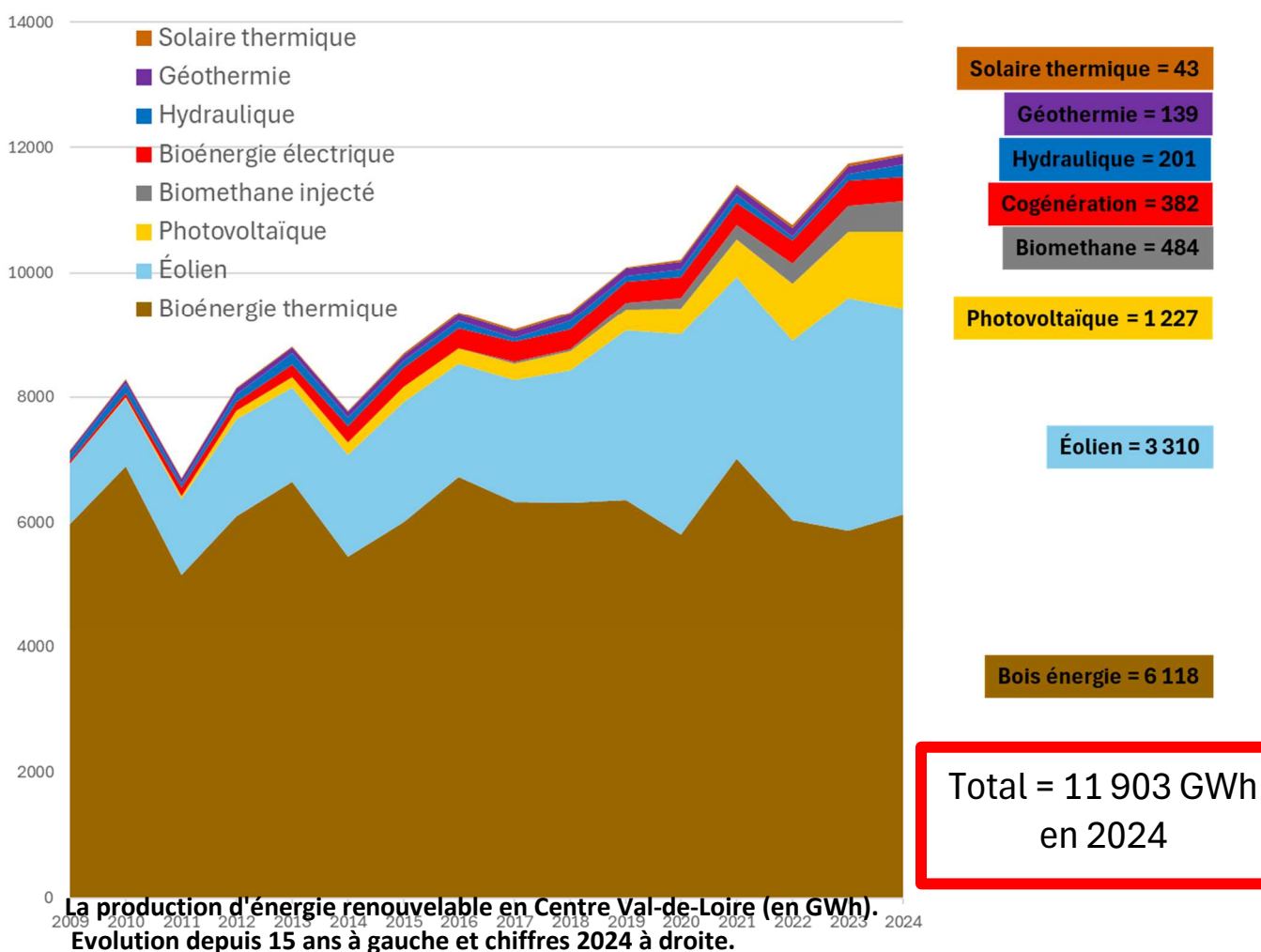


Calcul de l'indicateur

Evolution de la production des énergies renouvelables en région Centre Val-de-Loire



Évolution observée



Source : ODACE

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Production d'énergies renouvelables d'origine agricole et forestière



Analyse

Ces chiffres reflètent la production d'énergies renouvelables de tous les secteurs. L'objectif de ce chapitre est d'évaluer l'effort des agriculteurs et des forestiers dans la production d'énergies renouvelables.

L'indicateur n°1 ne fait pas apparaître les agrocarburants qui ne sont pas du tout négligeable au niveau régional ; ils seront intégrés dans ce chapitre.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Bois énergie



Indicateur 2

Récolte de bois énergie en milliers m³ en région Centre-Val de Loire, hors bois bûches.



Nature et source des données

Données fournies par DRAAF, Fibois.

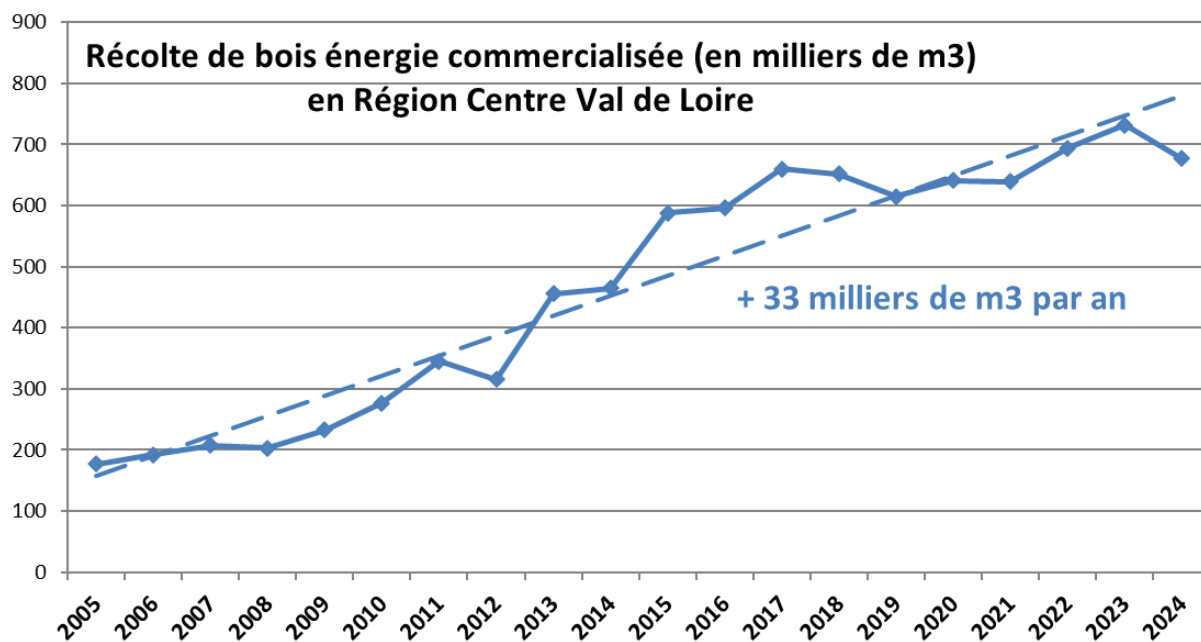


Calcul de l'indicateur

- Evolution de la récolte du bois énergie en Centre Val de Loire (graphique en courbe)
- Tendence linéaire (tiret bleu)



Évolution observée



Les chiffres ci-dessus proviennent de la DRAAF mais ne comptabilisent que le bois énergie passé par un circuit de commercialisation officielle. Selon l'IGN, on peut doubler ce chiffre correspondant à l'autoconsommation du bois de chauffage (= bois bûche) ; il s'agit bien évidemment d'une estimation.

Soit un total de **1,4 millions de m³ de bois énergie en Centre-Val-de-Loire pour 2024.**

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Bois énergie



Analyse

Chaque année, 2,8 millions de m³ de bois sont récoltés en forêt. Leur usage est réparti comme suit (Fibois) :

- 710 000 m³ de bois d'œuvre
- 675 000 m³ de bois d'industrie
- 1 400 000 m³ de bois d'énergie

La récolte du bois énergie commercialisée (= granulés et bois déchiquetés) dans la région Centre Val de Loire est en augmentation ces dernières années. Depuis 2005, l'augmentation annuelle moyenne de la récolte du bois énergie est de + 33 000 de m³, pour atteindre une valeur plateau autour de 700 000 m³ depuis 2022.

Cette augmentation observée pourrait être expliquée par les politiques publiques de la promotion des énergies renouvelables notamment à travers la création du Fond Chaleur Biomasse en 2009, géré par l'ADEME, qui vise non seulement à la promotion de l'énergie solaire et la géothermie mais aussi à l'augmentation de la contribution du bois dans la part des énergies renouvelables. Le fond attribue des aides à l'investissement pour les installations de chaleur renouvelable.

Le bois est une source d'énergie renouvelable qui remplace les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon). Selon l'OREGES, en 2024, le bois énergie représenterait 6 000 GWh au global à l'échelle régionale. Le CO₂ résultant de la combustion du bois est considéré comme un carbone non fossile, qui n'a pas d'impact sur le réchauffement climatique (à condition que la récolte ne dépasse pas l'accroissement annuel). Or actuellement, les 2,8 millions de m³ exploités annuellement représentent 50% de l'accroissement net annuel (production – mortalité). Autrement dit, l'exploitation forestière actuelle ne mobilise pas la totalité de la production annuelle (inventaire forestier). Sous réserve d'une production nette annuelle stable, 2 millions de m³ pourrait être exploités additionnellement.

La substitution des énergies fossiles par le bois énergie pourrait être un levier d'atténuation au changement climatique, à condition que les forêts soient gérées d'une façon durable. En effet, les chaudières à bois (granulés), sont le système de chauffage le moins émissif : 30 gCO₂/kWh, contre 49 g pour une pompe à chaleur, 147 g pour un radiateur électrique ou 324 g pour un chauffage au fioul (Source : Carbone 4).

Le bois n'est pas considéré seulement comme une énergie renouvelable respectueuse à l'environnement mais aussi une alternative économiquement compétitive et pourrait faire face à la volatilité des prix des énergies fossiles.

En agriculture, pour les filières sous serres, une étude réalisée par le Ctifl (Centre technique au service de la filière fruits et légumes) a montré que la substitution de l'énergie fossile par le bois pour chauffer les serres est une solution économiquement viable (sous certaines conditions : maintenance, coût de transport, qualité du bois...) et permettrait la réduction de gaz à effet de serre au niveau des exploitations agricoles (Grisey et al, 2011).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



A retenir

La récolte du bois énergie dans la région Centre Val de Loire a atteint un volume de plus de 1,4 million de m³ en 2023. Ce chiffre représente pour moitié le bois « commercialisé » (granulé, bois déchiqueté...), l'autre moitié correspond à l'autoconsommation du bois buche en chauffage individuel.

Concernant uniquement le bois « commercialisé », la collecte régionale représente que 5% du volume national mais augmente d'environ 33 000 m³/an depuis 2005.

La substitution d'énergie fossile par du bois énergie permet d'économiser des GES, sous condition d'une exploitation durable de la ressource forestière.



Pour en savoir plus

GRISEY, A., BRAJEUL, E., DELPORTE, M., MOREL, C. M., MENEGOUZ, A. K., LE MENN, A. S., & GUILLOCHAIN, S. (2011). UTILISATION DU BOIS ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE DES SERRES.

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

FIBOIS Centre Val-de-Loire, Interprofession de la filière forêt-bois, <https://www.fibois-cvl.fr>

CARBONE 4, 2019. Les chaudières à gaz sont-elles compatibles avec la lutte contre le réchauffement climatique ?

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Photovoltaïque



Indicateur 2

Production photovoltaïque d'origine agricole.



Nature et source des données

Données fournies par Odré



Calcul de l'indicateur

- Evolution de la production photovoltaïque d'origine agricole



Évolution observée

Tous secteurs confondus, la région Centre Val-de-Loire (CVL) a produit 1227 GWh via le photovoltaïque en 2024 selon OREGES et 1700 GWh en 2025 selon la base Odré. Le SRADDET CVL envisage une production totale de 5 745 GWh en 2050 en CVL. La filière est donc en avance sur ses objectifs.

Par contre, aucune donnée n'existe sur l'origine du secteur qui produit du photovoltaïque en France. Il s'agit donc ici d'une estimation.

Grâce à la base Odré, on peut reconstituer les classes de puissance des centrales photovoltaïques utilisés en région.

Sachant que les particuliers utilisent majoritairement des centrales <36kW, ils représentent 1% de l'énergie injectée. Les agriculteurs utilisent principalement des unités entre 36 et 250 kW (correspondant aux toitures des hangars utilisés en agriculture), cela représente un potentiel maximal de 35% mais d'autres secteurs (industrie, tertiaire) peuvent produire dans ce créneau-là.

Surface de toiture correspondante (en m ²)	Borne de Puissance (en kW)	Energie injectée en 2025 (en GWh)	%
0-180	0-36	21	1%
180-500	36-100	160	9%
500-1300	100-250	444	26%
>1300	>250	1 108	64%
		1 733	

Selon ENEDIS (à dire d'experts), le secteur agricole représente 5 % de la puissance photovoltaïque totale du Loir-et-Cher. Le secteur agricole compte très majoritairement des projets de puissance inférieure à 500 kVa, qui représentent donc plus probablement des panneaux solaires sur bâtiment. L'engouement pour l'agrivoltaïsme (panneaux au-dessus de prairie, de serres, d'arbres fruitiers voire de cultures), pourrait tirer ce chiffre à la hausse dans les prochaines années.

A titre de comparaison, dans certaines régions comme la Bourgogne, le secteur agricole représente 15 % de la production de PV (agreste, 2011).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE



A retenir

D'après la base ODACE, il existe 30 600 installations photovoltaïques qui ont injectée 1 227 GWh d'énergie photovoltaïque en 2024 tous secteurs confondus.

Apparemment, les projets industriels (>250 kW) représentent plus de la moitié de l'énergie injectée mais il est difficile de mesurer la part produite par le secteur agricole. Les projets agrivoltaïques (photovoltaïque sur parcelles agricoles) ont un potentiel de développement en région au vu des nombreux projets actuellement.



Pour en savoir plus

ODACE, <https://odace.ligair.fr/entree-territoriale/production-denergie-renouvelable>

ODRE, <https://odre.opendatasoft.com/explore/dataset/registre-national-installation-production-stockage-electricite-agrege>

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Méthanisation



Indicateur

Nombre de méthaniseurs installés et énergie produite



Nature et source des données

Base de données Open Data Réseau Energie (ODRé)



Calcul de l'indicateur

Le nombre de sites de production de biogaz ainsi que leur date d'installation et leur production annuelle sont disponibles sur la base de données ODRé. Le nombre d'installations en cogénération et leur production électrique annuelle sont accessibles sur la même base de données à partir des registres nationaux de production et de stockage d'électricité. Cependant il n'est pas possible d'avoir de données sur la chaleur produite en cogénération potentiellement valorisée.

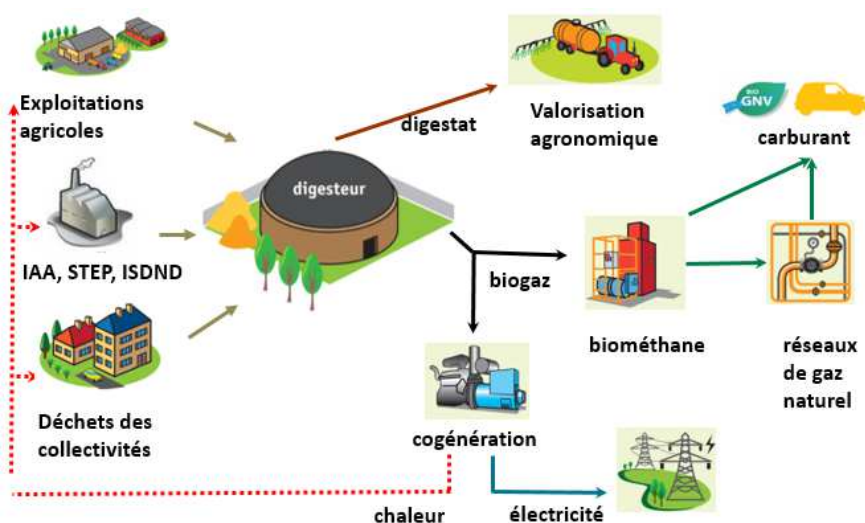
Les données concernent uniquement le secteur agricole pour l'injection de biogaz. Pour la cogénération, il n'a pas été possible de différencier les méthaniseurs agricoles des autres dans la base de données ODRé, cependant selon les données de la Chambre d'agriculture, il semblerait que tous les méthaniseurs en cogénération soient agricoles.



Analyse

La méthanisation est un processus par lequel la matière organique est digérée par des microorganismes. Cette digestion produit d'une part du biogaz, c'est-à-dire un mélange de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4), et d'autre part du digestat, c'est-à-dire la matière organique qui n'a pas été digérée et en partie minéralisée. Le digestat peut ainsi être utilisé comme fertilisant et amendement.

Schéma de fonctionnement d'une unité de méthanisation (source : ATEE)



La méthanisation peut être un bon moyen de valoriser des déchets agricoles : issues de silos, résidus de culture, effluents d'élevage. Les CIVEs (Cultures Intermédiaires à Valorisation Energétique, par exemple le maïs, le seigle) peuvent aussi être des intrants pour le méthaniseur. Ce sont des cultures dédiées à la production énergétique et que l'on fait pousser avant une culture principale. Elles peuvent compléter les intrants apportés au méthaniseur voire représenter la seule source d'intrant dans certains cas. Ainsi la

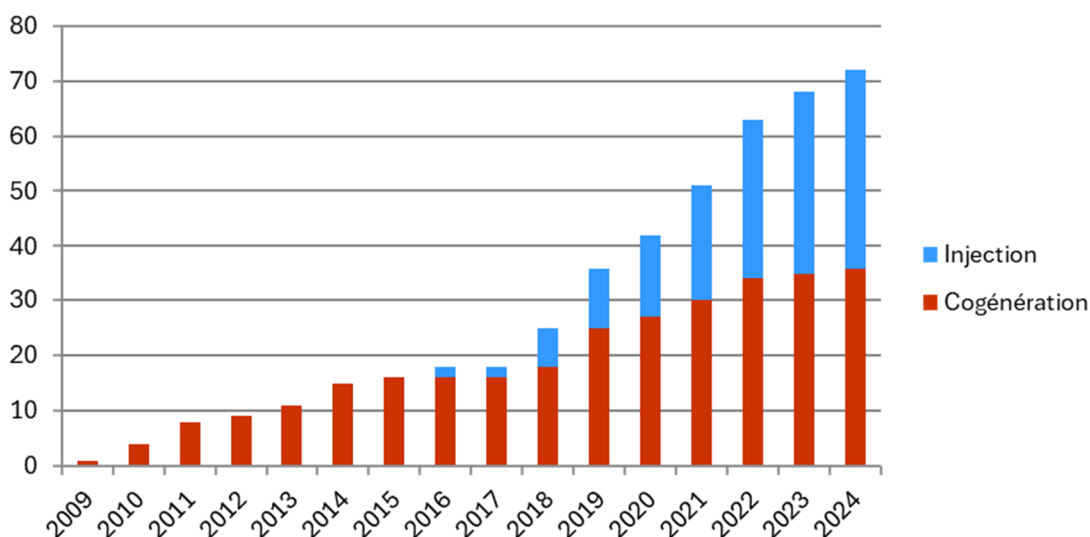
5 ATTENUATIONS AGRICOLES



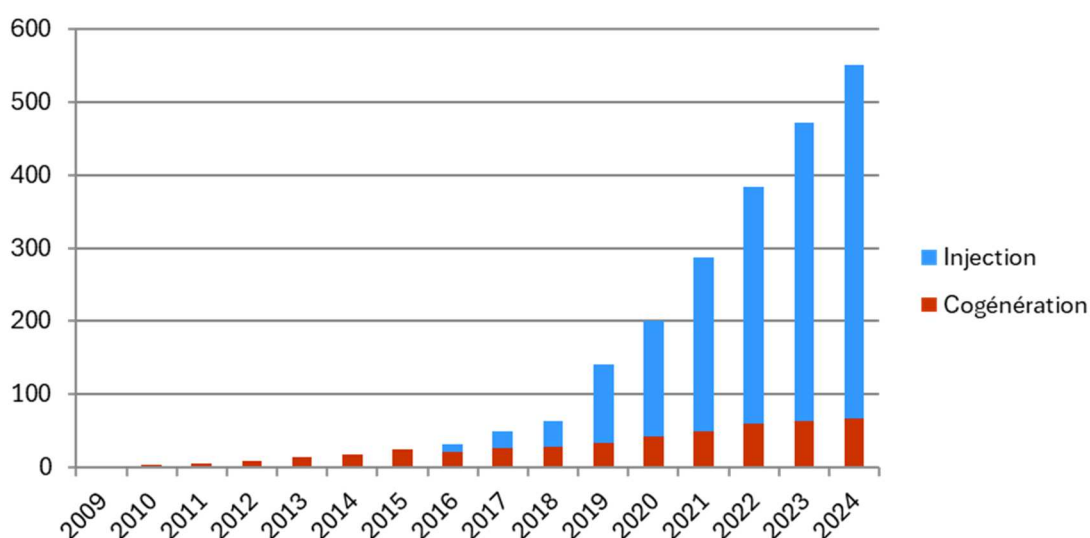
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

méthanisation peut être un moyen d'implanter et de valoriser les couverts en interculture, dont on connaît les bienfaits : meilleure vie du sol, diminution du risque de lixiviation des nitrates, stockage de carbone organique dans les sols, apport de biodiversité...

La méthanisation est un bon moyen de faciliter la gestion des effluents d'élevage. Ceux-ci doivent en effet pouvoir être stockés sur une certaine durée qui dépend de la nature de l'effluent, du règlement départemental sanitaire, de la réglementation ICPE et de la réglementation directive nitrates. Cette durée doit permettre un stockage sur la période automne-hiver, afin d'éviter des épandages sur sol nu ou plantules qui entraîneraient une forte lixiviation et ne seraient pas valorisés agronomiquement. Or, le stockage d'effluent pendant la période hivernale émet une quantité de méthane non négligeable. Dans le cas de la méthanisation, ce méthane, qui possède un pouvoir de réchauffement global 30 fois supérieur à celui du CO₂ sur une période de 100 ans, sera capté puis valorisé. En cogénération, le biogaz (CO₂ + CH₄) sera brûlé pour produire de l'électricité et de la chaleur ; en injection, le biogaz sera épuré en biométhane (CH₄) puis injecté dans le réseau de gaz existant.



Evolution du nombre d'unités de méthanisation en région Centre Val-de-Loire



Evolution de la production d'énergie (en GWh/an) issu de la méthanisation en région Centre Val-de-Loire

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



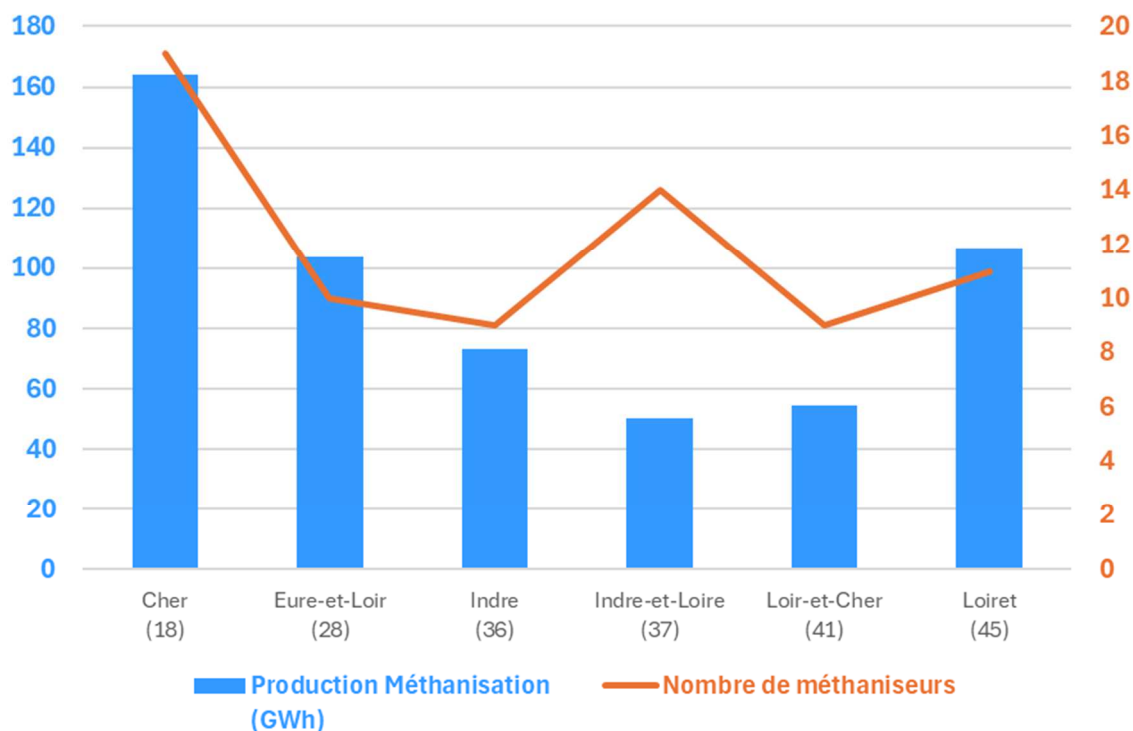
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

En région Centre Val-de-Loire, le nombre de méthaniseurs en cogénération stagne autour d'une trentaine d'installations depuis 2019, au profit des installations en injection. En effet, l'énergie produite par un méthaniseur en cogénération se décompose en 40 % d'électricité et 60 % de chaleur. Si cette chaleur est utilisée pour chauffer les digesteurs et post-digesteurs, elle peut aussi être valorisée pour le chauffage de bâtiments en hiver ou le séchage de fourrages. Mais ces modes de valorisations ne sont que rarement mis en place et on estime que seul 15 % de la chaleur est utilisée à l'extérieur en plus du chauffage des digesteurs. Les méthaniseurs à injection permettent eux d'injecter le gaz dans les réseaux de distribution de gaz. L'injection de gaz dans les réseaux nécessite toutefois une purification du gaz impliquant une utilisation d'électricité qui peut se révéler être une charge non négligeable au vu des prix de l'énergie actuels.

Conjointement avec l'implantation croissante de méthaniseurs, la production d'énergie augmente au fil des années. La production d'électricité stagne à environ 70 GWh, alors que l'injection de biogaz connaît une croissance importante, atteignant 480 GWh en 2024. Au total, ce sont 552 GWh qui sont produits par la méthanisation. Cela représente 0,8 % de la consommation d'énergie totale au niveau de la région de 2024 (gaz, électricité et énergies fossiles ; source : ODAE).

Si on prend uniquement la consommation régionale de gaz fossile (11790 GWh en 2024), le biométhane injecté (480 GWh), représente 4% du total.

C'est le département du Cher qui est le premier producteur d'énergie liée à la méthanisation avec 30% injecté au niveau régional en 2024. Selon la Programmation Pluriannuelle de l'Energie, la méthanisation devra produire 10 % du gaz consommé au niveau national.



Nombre et production (GWh) des unités de méthanisation (cogénération et injection) en région Centre Val-de-Loire

Contrairement aux énergies renouvelables liés au vent et au solaire, cette énergie renouvelable est non intermittente et peut fonctionner toute l'année sans interruption.

Cependant la méthanisation doit être gérée correctement notamment au niveau de la production des cultures à valorisation énergétique (CIVEs). Les productions de CIVEs d'hiver sont préférables à celles de CIVEs d'été car elles n'auront pas besoin d'irrigation. Les CIVEs avec mélange de légumineuses sont encore peu utilisées et pourraient accroître l'autonomie azotée de l'agriculture. Enfin, la question de la compétition avec l'alimentation animale se pose : les drèches de brasserie et pulpes de betteraves sont des sources protéiques qui peuvent être utilisées dans les rations animales, mais sont aussi de plus en plus utilisées en méthanisation.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Ainsi, le système agricole avec un atelier de méthanisation est un système complexe mais, s'il est géré de manière réfléchie en prenant en compte les divers aspects agronomiques et le territoire dans lequel le projet s'implante, il pourra constituer à l'avenir une source de production d'énergie renouvelable, non intermittente et durable.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



A retenir

- La méthanisation en région Centre Val-de-Loire produit 550 GWh en 2024 (70 GWh sous forme d'électricité et 480 GWh sous forme de biométhane).
- Cette énergie renouvelable et non intermittente, représente 0,8 % de la consommation d'énergie totale régionale de 2024.
- Le biométhane injecté représente 4 % de la consommation régionale de la région.
- Le nombre de méthaniseurs en cogénération stagne tandis que le nombre de méthaniseurs en injection connaît une croissance importante.



Pour en savoir plus

ODRé, Registre National des installations de production et de stockage d'électricité [en ligne]. Disponible sur : <https://odre.opendatasoft.com/explore/dataset/registre-national-installation-production-stockage-electricite-agrege>

ODRé, Production annuelle de biométhane [en ligne]. Disponible sur : <https://odre.opendatasoft.com/explore/dataset/production-annuelle-de-biomethane-par-site-raccorde-au-reseau-de-transport-et-de>

Programmation Pluriannuelle de l'Energie [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

ODACE, Production d'énergies renouvelables <https://odace.ligair.fr>

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Agrocarburants

Nature et source des données

Direction Générale de l'Energie et du Climat – Panorama 2020, Biocarburants incorporés dans les carburants en France

Indicateur

Estimation de la surface nécessaire à satisfaire la consommation française et régionale d'agrocarburants (biodiesel et bioessence).

Estimation de la surface d'agrocarburant produite en France et en région Centre Val-de-Loire.

Calcul de l'indicateur

Les cultures constituent la source principale d'agrocarburants en France. En volume, les agrocarburants provenant directement des cultures agricoles représentent 75% de l'énergie incorporés dans les agrocarburants (SDES 2024). Parmi les cultures servant à la production d'agrocarburant, on retrouve principalement :

- le maïs, le blé et la betterave pour l'**éthanol**. Le reste est produit à partir de coproduits sucriers, marcs, huiles usagées et graisses animales.
- Le colza et le tournesol pour le **diester**. Le reste est produit à partir d'huiles alimentaires usagées et de graisses animales.

L'**éthanol** est produit à partir de saccharose ou d'amidon et est utilisable dans certains moteurs à essence. On le retrouve dans le carburant E10 (10 % d'éthanol) de manière systématique voire dans l'E85 (destiné à des véhicules dédiés). L'éthanol peut aussi être un précurseur pour la fabrication de l'ETBE (éthyl tertio butyl éther), utilisé en moteur à essence. Ce dernier est fabriqué à partir d'isobutène de synthèse (53 %) et de bioéthanol (37 %). Il a l'avantage d'être mieux adapté aux moteurs que l'éthanol, cependant il est peu utilisé car considéré moins vertueux pour l'environnement. Des recherches sont néanmoins en cours pour fabriquer de l'isobutène à partir de sucre, ce qui permettrait donc de fabriquer un ETBE totalement renouvelable. D'autres processus de bioessence de synthèse sont à l'étude ; exemple de l'Huile Végétale Hydro Traitée Essence, ou HVHTE obtenu à partir de gaz de synthèse (procédé Fischer-Tropsch).

Le **diester** (ou ester méthyliques ou EM) provient majoritairement d'Huile Végétale : colza, tournesol (EMHV), d'Huiles végétales Usagées (EMHU) ou de graisses Animales (EMHA). D'autres processus de biogazoles de synthèse sont utilisés ; exemple de l'Huiles Végétales Hydro Traitées Gazole (HVHTG) ou par voie thermochimique. A noter que l'EMHV, issu de cultures oléagineuses produit également des résidus, le tourteau et la glycérine, qui peuvent à leur tour faire l'objet d'une valorisation, notamment pour l'alimentation animale, dans le premier cas, et dans les domaines pharmaceutique et cosmétique, dans le second.

Parallèlement aux filières actuelles, la recherche sur les biocarburants de deuxième génération (à partir

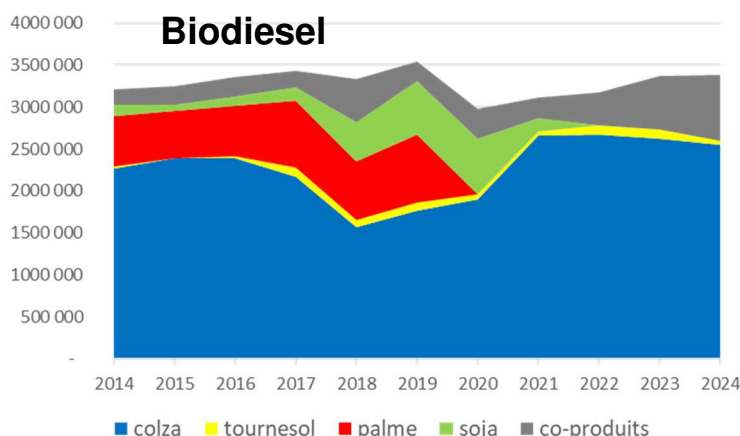
5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

de biomasse ligno-cellulosique : bois, paille...) et troisième génération (à partir de micro-algues) est privilégiée. Ces filières du futur se développent avec de nouveaux procédés industriels utilisant des sources de biomasse non destinées à l'alimentation humaine ou animale.

En 2024, le volume d'agrocarburant utilisé en France était de **5,160 millions de m³** (66 % sous forme de biodiesel et 34% sous forme de bioessence). Voici la répartition par matière première :



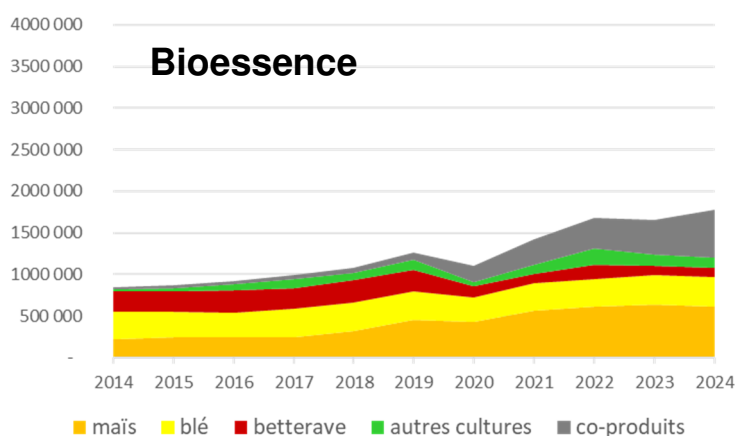
En 2024

co-produits = 791 417 m³

tournesol = 44 136 m³

colza = 2 547 650 m³

Biodiesel = 3 383 203 m³



co-produits = 572 039 m³

autres cultures = 131 136 m³

betterave = 102 987 m³

blé = 354 588 m³

maïs = 615 264 m³

Bioessence = 1 776 014 m³

Evolution depuis 2014 du volume de biocarburant et origine des matières premières utilisées en France : biodiesel (en haut) et bioessence (en bas). Volume 2024 sur la droite.

Source : <https://metabase.carbure.beta.gouv.fr>

Le calcul se base sur les volumes de bioessence et de biodiesel utilisé à partir de betterave, maïs, blé colza et tournesol incorporés dans les carburants au niveau national. Concernant les coproduits servant à faire de la bioessence, on note l'utilisation d'autres sous-produits agricoles : canne à sucre, marc de raisin et des déchets industriels... Concernant les co-produits servant à faire du biodiesel, ce sont

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

majoritairement des déchets industriels et des huiles ou graisses usagées. A noter que la palme et le soja ne sont plus utilisées pour faire des agrocarburants en France (depuis 2019 pour la palme et 2021 pour le soja) ; ces matières premières sont souvent associées à de la « déforestation importée » (donc à des émissions liées au changement d'affectation des sols).

Par la suite, seuls les intrants agricoles issus de cultures dédiées (hors sous-produits) seront pris en compte, c'est-à-dire :

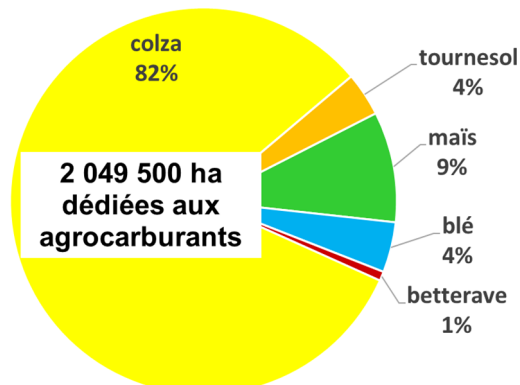
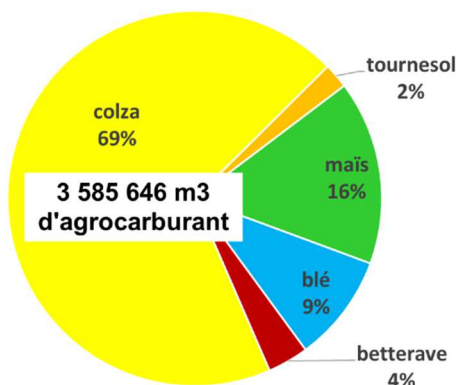
- le **colza** et le **tournesol**, qui représentent 80% (moyenne 2020-2024) des intrants pour fabriquer le biodiesel
- le **maïs**, le **blé** et la **betterave**, qui représentent 70% (moyenne 2020-2024) des intrants pour fabriquer le bioéthanol

Ces volumes d'agrocarburants issus de cultures dédiées sont convertis en surfaces nécessaires pour produire ces volumes à l'aide du tableau de conversion ci-dessous.

	Surface (ha)	Rendement (qtx/ha)	Conversion volume biocarburant / tonne de grain	litre de biocarburant/ha	Energie (en MWh/ha) *
Blé	1	70	4,3 hl d'éthanol	3 010	17,8
Maïs	1	90	4,3 hl d'éthanol	3 870	22,8
Betterave	1	800	1 hl d'éthanol	8 000	47,2
Colza	1	32	4,6 hl de biodiesel	1 472	13,5
Tournesol	1	22	4,7 hl de biodiesel	1 034	9,5

Conversion des surfaces et productions en volumes d'agrocarburant (source : CGAAER)

* : contenu énergétique (en PCI) bioéthanol : 5,83 kWh/l et biodiesel : 9,17 kWh/l
(source : <https://www.douane.gouv.fr>)



Volumes (m³) et équivalent surface des cultures dédiées nécessaires à satisfaire la consommation française d'agrocarburant en France (en hectares) – moyenne 2020-2024

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

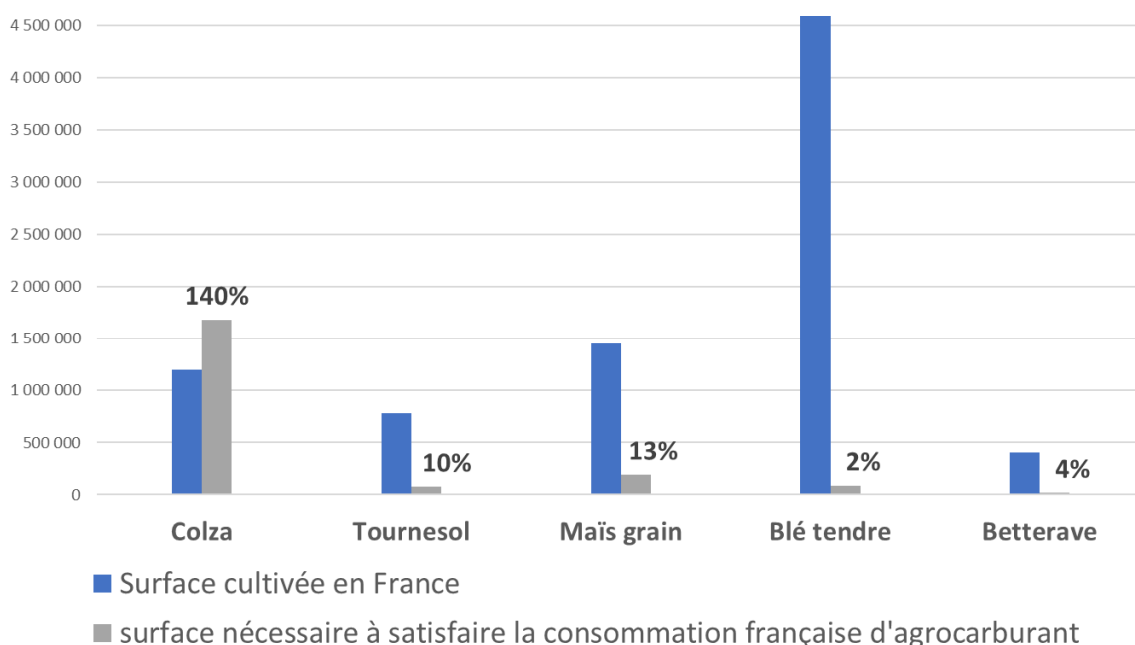


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Source : <https://metabase.carbure.beta.gouv.fr>

Le volume d'agrocarburant réalisé à partir de cultures dédiées représente **3,5 millions de m³** (moyenne 2020-2024). L'équivalent de surface de cultures dédiées nécessaire à satisfaire la consommation française d'agrocarburants représente environ **2 millions d'hectares** sur une SAU française de 28 millions d'hectares, soit 7%.

On retrouve ces « équivalents de surface » sur les histogrammes gris accolés aux surfaces réellement cultivées en France (moyenne 2020-2024) pour chaque culture sur les histogrammes bleus.



Pourcentage de la surface de culture nécessaire à satisfaire la consommation française d'agrocarburants par rapport aux surfaces réelles cultivées en France (moyenne 2020-2024).
En bleu : surface cultivée en France, En gris : surface nécessaire pour satisfaire la consommation française en agrocarburant.

On comprend qu'il n'est pas possible d'être autonome sur le biodiesel issu du colza puisque la surface cultivée en France (1,2 million d'hectares de colza) est inférieure à la surface nécessaire à notre consommation (1,7 million d'hectares de colza).

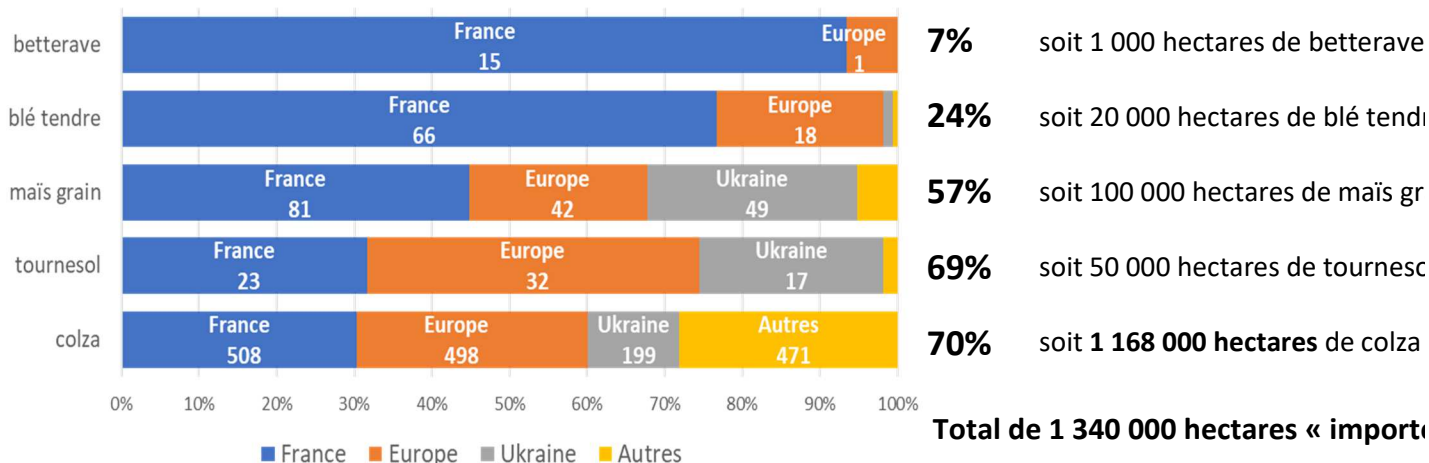
5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

On peut étudier l'origine des matières premières servant à fabriquer les agrocarburants français.

taux d'importation

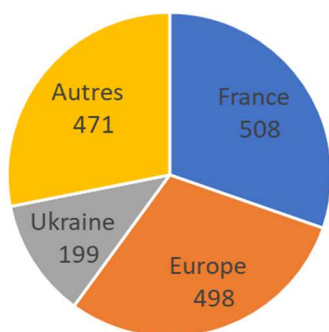


Origine des cultures (en équivalent surface) servant à satisfaire la consommation française d'agrocarburants (moyenne 2020-2024). L'unité est en milliers d'hectares de surface utilisée. A droite, l'équivalent de « surfaces importées » par cultures.

Au total, on « importe » une surface d'1,3 millions d'hectares par an de cultures dédiées (majoritairement du colza) pour fabriquer les agrocarburants français.



Pour ne parler que du colza, 1,7 millions d'hectares sont nécessaires pour répondre à la consommation du biodiesel français mais il n'est produit qu'à 30% par la France, le reste venant de l'extérieur.



Origine des surfaces de colza (en milliers d'hectares) servant à répondre à la consommation française en agrocarburants

Au sein du territoire français (hors importations), les 500 000 hectares de colza dédiés à fabriquer des agrocarburants représentent 42 % de la sole française en colza (1,2 million d'hectare cultivé aujourd'hui en France). Voici les pourcentages utilisés pour les autres cultures (voir tableau ci-dessous).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Colza	Tournesol	Maïs grain	Blé tendre	Betterave
42%	3%	6%	1%	4%

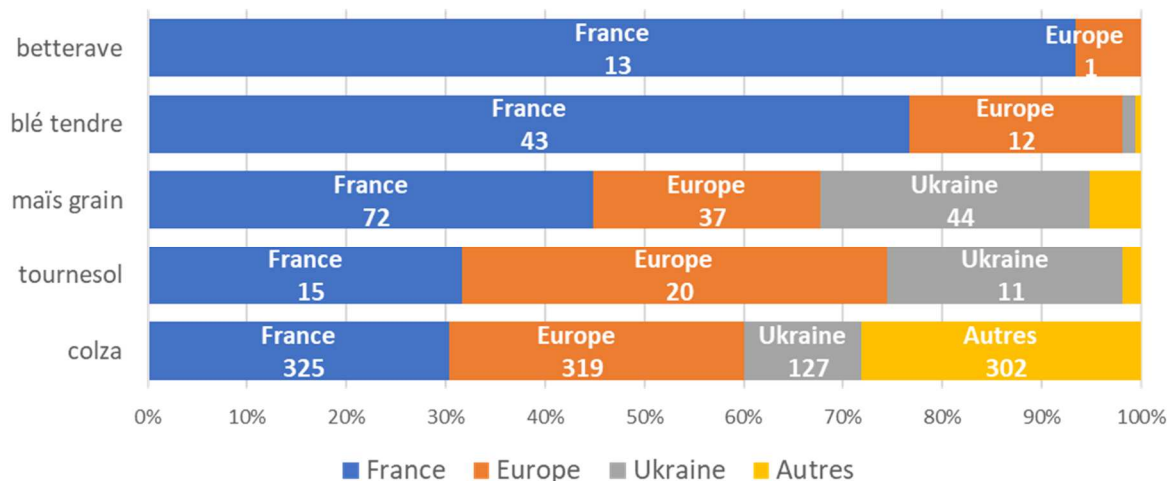
Taux d'utilisation des cultures françaises en agrocarburant (hors importation)

D'un point de vue méthodologique, la surface de colza ne sert pas qu'à fabriquer du biocarburant, le coproduit de l'extraction d'huile à partir de la graine produit des tourteaux. Le tourteau est reconnu pour sa bonne teneur en protéine (même si elle est plus faible comparativement à celle du tourteau de soja) et sert en alimentation animale. L'utilisation du tourteau, permet de réduire la dépendance en protéine végétale importée.

Des analyses de cycle de vie permettent de répartir la responsabilité de la culture entre énergie et alimentation animale (ADEME 2010). Par exemple, on estime que sur 100 ha de colza cultivée, 64 ha sont virtuellement attribué à la production d'agrocarburant et 36 ha sont attribué à la production de tourteau.

Cultures	coefficient d'allocation	
	biocarburant	tourteau
Blé	65%	35%
Maïs	89%	11%
Betterave	85%	15%
Colza	64%	36%
Tournesol	64%	36%

Coefficients d'allocation allouant comptablement les surfaces entre la production de carburant et la production d'aliments pour le bétail (tourteau).



Origine des cultures (en équivalent surface) servant à satisfaire la consommation française d'agrocarburants (moyenne 2020-2024) en prenant en compte le coefficient d'allocation biocarburant.

Les différences de surface avec le tableau précédent ont été allouées au tourteau. Par exemple, en France, 325 000 hectares de colza sont alloués à la production de biocarburant, 183 000 hectares sont alloués à la production de tourteau. Mais au total, ce sont bien 508 000 hectares de colza en France qui servent à fabriquer du biocarburant + tourteau.

En intégrant ce coefficient d'allocation « biocarburant », les pourcentages de la sole française utilisés pour faire de l'agrocarburant ont été actualisés par culture dans le tableau ci-dessous. Par exemple, avec cet hypothèse d'allocation, 27% du colza produit en France sert aux agrocarburants.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Colza	Tournesol	Maïs grain	Blé tendre	Betterave
27%	2%	5%	1%	3%

Taux d'utilisation des cultures françaises en agrocarburant (hors importation) en utilisant le coefficient d'allocation biocarburant par culture (source ADEME 2010).

En conclusion, en France, la surface de cultures dédiée aux biocarburants :

- nécessaire à satisfaire la consommation nationale est de 2 000 000 d'hectares (représente virtuellement 7,4% de la SAU française).
- utilisée pour la production d'agrocarburant est de 693 000 hectares (la différence avec la surface ci-dessus provient des importations), soit 2,6 % de la SAU française.
- utilisée pour la production d'agrocarburant en utilisant le coefficient d'allocation biocarburant est de 468 000 hectares (la différence avec la surface ci-dessus est « alloué » à la production de tourteau), soit 1,7 % de la SAU française.

Ne connaissant pas le lieu exact de production des cultures dédiées servant à faire des agrocarburants à l'intérieur du territoire français, les pourcentages nationaux de surfaces cultivées par région ont été utilisés en proratisant la surface nécessaire aux agrocarburants en région Centre Val-de-Loire.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

		Surface cultivée moyenne 2020-2024 (en hectares)	Surface nécessaire à la consommation française d'agrocarburant (2020-2024)	Surface utilisée pour la production d'agrocarburant en France (2020-2024)	Idem avec coefficient d'allocation biocarburant	
	en France (en ha)	Colza	1 199 120	1 683 387	508 383	325 365
		Tournesol	784 337	74 697	23 305	14 915
		Maïs grain	1 448 569	189 395	81 440	72 481
		Blé tendre	4 584 684	86 146	65 816	42 780
		Betterave	403 268	15 875	14 780	12 563
ratio surface CVL/ France	conversion en énergie (GWh)		27 665	9 364	6 319	
21%	en Centre Val-de-Loire (CVL) (en ha)	Colza	250 063	351 052	106 018	67 851
14%		Tournesol	108 190	10 303	3 215	2 057
8%		Maïs grain	121 238	15 851	6 816	6 066
13%		Blé tendre	590 530	11 096	8 477	5 510
6%		Betterave	25 406	1 000	931	791
		conversion en énergie (GWh)	5 255	1 693	1 111	

En région Centre Val-de-Loire, la surface de cultures dédiée aux biocarburants :

- nécessaire à satisfaire la consommation régionale est de 390 000 hectares.
- utilisée pour la production d'agrocarburant est de 125 000 hectares (la différence avec la surface ci-dessus provient des importations).
- utilisée pour la production d'agrocarburant en utilisant le coefficient d'allocation biocarburant est de 82 000 hectares (la différence avec la surface ci-dessus est « alloué » à la production de tourteau).

En ne prenant en compte que le colza, la surface de cultures dédiée aux biocarburants :

- nécessaire à satisfaire la consommation régionale est de 351 000 hectares, sachant que la surface régionale n'est que de 250 000 hectares.
- utilisée pour la production d'agrocarburant est de 106 000 hectares (42 % de la sole régionale de colza).
- utilisée pour la production d'agrocarburant en utilisant le coefficient d'allocation biocarburant est de 68 000 hectares (27 % de la sole régionale de colza avec cette hypothèse).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



A retenir

- Pour répondre à la consommation d'agrocarburant régionale, 390 000 ha de cultures seraient nécessaires (dont 351 000 ha de colza) mais 60 % sont importés d'autres pays que la France.
- La surface utilisée pour la production d'agrocarburant en région Centre Val-de-Loire est de 125 000 hectares (ratio national utilisé au prorata des surfaces régionales). En allouant virtuellement une partie de cette surface à la production de tourteau (environ 30%), la surface régionale allouée au biocarburant redescend à 82 000 hectares.
- A l'échelle nationale, la surface nécessaire pour répondre à la consommation nationale d'agrocarburant représente 7,4 % de la SAU française. Or, 70% des matières premières sont importés. La surface dédiée à la production d'agrocarburant représente 2,6 % de la SAU française, mais dans le cas d'allocation de surface au tourteau, ce pourcentage redescend à 1,7 % de la SAU française.
- En région Centre Val-de-Loire, même en utilisant l'hypothèse d'allocation de biocarburant, la filière production des agrocarburants produit 1 111 GWh/an (moyenne 2020-2024), soit l'équivalent de la filière photovoltaïque régionale.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



Pour en savoir plus

Ministère de l'environnement, Panorama des biocarburants durables incorporés en France, données de 2014 à 2024. <https://metabase.carbure.beta.gouv.fr/public/dashboard/7850c353-c225-4b51-9181-6e45f59ea3ba?annee=2024>

Direction Générale de l'Energie et du Climat, 2020. Panorama 2020, Biocarburants incorporés dans les carburants en France [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Panorama%202020%20des%20biocarburants%20incorpor%C3%A9s%20en%20France.pdf>

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Ministère de la transition énergétique, 2023. Biocarburants [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/biocarburants>

Bioéthanol Carburant. Le potentiel agricole [en ligne]. Disponible sur : <https://www.bioethanolcarburant.com/le-potentiel-agricole/>

LG Seeds. Découvrir les usages du maïs [en ligne]. Disponible sur : <https://www.lgseeds.fr/decouvrir-les-usages-du-mais>

Terres Univia, 2017. Plan de filière 2018-2022 [en ligne]. Disponible sur : <https://www.terresunivia.fr/nos-actions/plan-de-filiere>

SDES 2024 - Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2025 - <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-des-energies-renouvelables-edition-2025-0>

Contenu énergétique des carburants et biocarburants, Juillet 2025, https://www.douane.gouv.fr/sites/default/files/uploads/files/2020-08/Annexes_circulaire_TIRIB.pdf

Évaluation du potentiel de production d'énergies renouvelables, Décembre 2023, CGAAER, <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/146082>

Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France, Février 2010, ADEME

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote



Indicateur 1

Evolution des livraisons d'engrais minéraux azotés entre 2002 et 2022 (en tonnes d'azote) dans la région Centre Val-de-Loire



Nature et source des données

Données fournies par l'UNIFA

Rappel

La teneur en azote des engrais est exprimée en kg d'azote. Ainsi, par exemple 150 kg d'ammonitrate par hectare dosant à 33,5 % d'azote, apportera 50 kg d'azote.



Calcul de l'indicateur

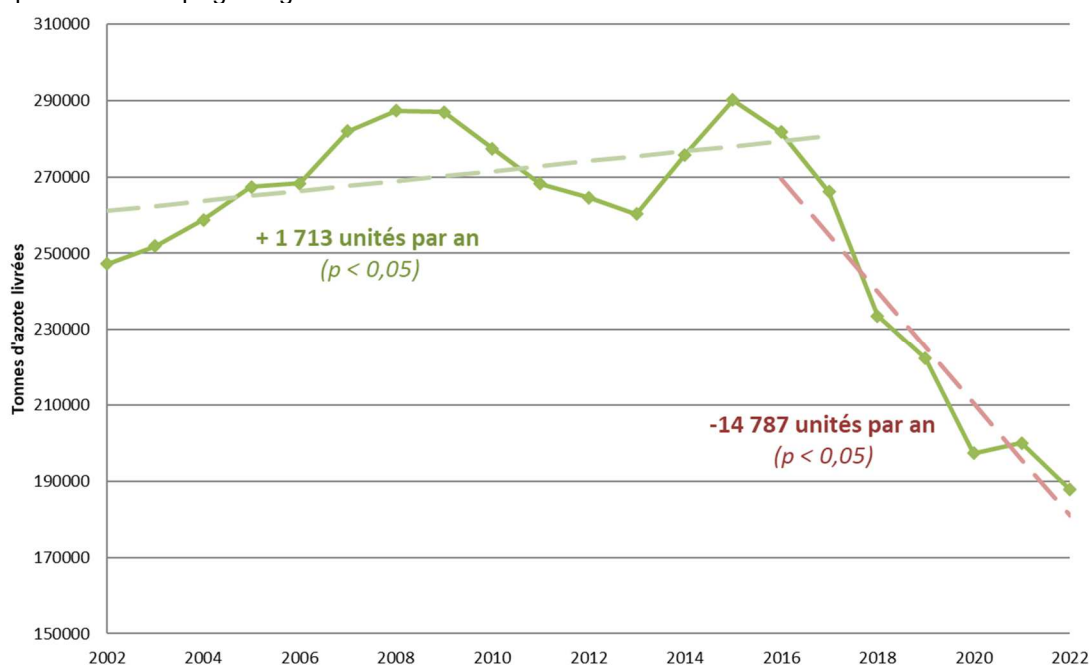
Evolution du total régional des livraisons des engrais minéraux azotés (courbe verte) exprimée en moyenne triennale, afin de lisser les variations de livraisons, qui peuvent être liées à l'écart de stocks (méthode retenue par le CITEPA au niveau national).



Évolution observée

- **en abscisse** : année
- **en ordonnée** : quantité en tonnes d'azote livrées

***Remarque :** L'année se réfère à la fin de la campagne agricole, par exemple l'année 2004 correspond à la campagne agricole 2003/2004.



Evolution des quantités d'engrais minéraux utilisés en région Centre Val-de-Loire (en moyenne triennale)
Source UNIFA

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote

Analyse

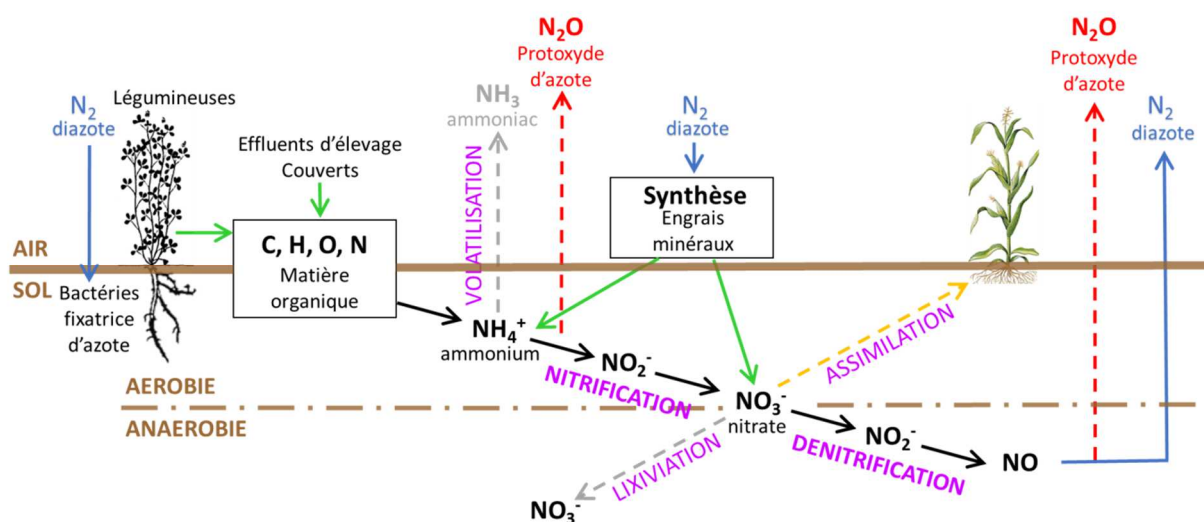
En 2020, en région Centre Val-de-Loire, les émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole représentent 24% des émissions totales (soit **3,7 Mt CO₂e**), derrière le secteur du transport (36%) (voir indicateur « émissions de gaz à effet de serre »). Ces émissions sont principalement dues au protoxyde d'azote (48%), au méthane (34%) produit lors de fermentations en conditions anaérobies (fermentation entérique et stockage des déjections) et au dioxyde de carbone (18%) lié principalement à la combustion d'énergies fossiles.

En 2021, le CITEPA estime que le poste « engrais et amendements minéraux » (11,4 Mt CO₂e) représente 14 % du secteur agricole (81,2 Mt CO₂e) au niveau national. Ce poste est dû à l'émission de deux types de GES :

- à 84 % au protoxyde d'azote (= 9,5 Mt CO₂e) lié aux émissions des micro-organismes du sol
- à 16 % au dioxyde de carbone (= 1,9 Mt CO₂e) lié à l'utilisation des machines servant à l'épandage des engrais minéraux.

A noter qu'il s'agit ici, uniquement des émissions directes des engrais minéraux, l'impact GES lors de leur fabrication (énergivore) n'est pas pris en compte ici. A titre d'exemple, la fabrication d'un kilogramme d'ammonitrate, le type d'engrais le plus utilisé en France, libère en moyenne 5,86 kg équivalent CO₂ (ADEME).

Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) sont produites principalement lors des réactions de nitrification-dénitrification de l'azote, par les bactéries présentes dans le sol (voir schéma ci-dessous). Mais l'origine de cet azote n'est pas uniquement minérale. En effet, à l'échelle nationale, si le poste « engrais et amendements minéraux » pèse 14 % des GES agricoles (voir ci-dessus), le poste organique (déjections apportées lors du pâturage + effluents d'élevages épandus) pèse 12,9 %.



Source de production du protoxyde d'azote (N₂O) dans le sol



E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote

Dans la région Centre Val-de-Loire, la moyenne (2002-2022) des livraisons des engrais azotés est de l'ordre de 250 000 tonnes d'azote. L'étude de la tendance d'évolution montre une légère augmentation annuelle des livraisons jusqu'en 2015. Depuis, les livraisons diminuent fortement, en moyenne 15 000 tonnes d'azote de moins chaque année. Cette diminution a commencé en 2015 avec une crise des prix, où le prix de l'engrais était trop élevé par rapport au gain espéré. Les inondations en 2016 ont impliqué des reliquats d'azotes élevés dans les sols en 2017 et donc une plus faible utilisation d'azote. Enfin depuis 2019, l'augmentation des prix des engrais due à la hausse des prix de l'énergie pousse les agriculteurs à diminuer et optimiser l'utilisation d'engrais azotés. Cette optimisation se fait notamment par le fractionnement des apports, qui permet d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote.

D'après l'INRA, les activités agricoles génèrent un excédent azoté estimé à 36 kg d'azote par hectare et par an au niveau national, soit un quart de la fertilisation azotée moyenne. De ce fait, une fertilisation azotée raisonnée et une amélioration de l'efficacité de l'azote apporté sont nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

A l'échelle nationale, plusieurs actions ont été étudiées par l'INRA afin de diminuer les apports de fertilisants minéraux azotés (INRA, 2013) :

- Réduire la dose d'engrais en ajustant mieux l'objectif de rendement ;
- Mieux valoriser les apports organiques (meilleure prise en compte, enfouissement, augmenter le volume de biodéchets recyclés...) ;
- Améliorer les conditions d'apport de l'azote minéral (date d'apport, enfouissement, inhibiteurs de nitrification...)

L'ensemble de ces actions, représente un potentiel d'atténuation annuel estimé à 6 millions de tonnes d'équivalent CO₂ à l'horizon de 2030, soit à peu près 7,4% des émissions de GES du secteur agricole de 2020 (80,9 Mt CO₂e).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote



Indicateur 2

Evolution des livraisons azotées par type d'engrais (en tonnes d'azote)



Nature et source des données

Données fournies par l'UNIFA



Calcul de l'indicateur

- Evolution des livraisons azotées par type d'engrais (courbes)
- Courbe de tendance dans la région Centre Val-de-Loire entre 2003 et 2022 (tirets)

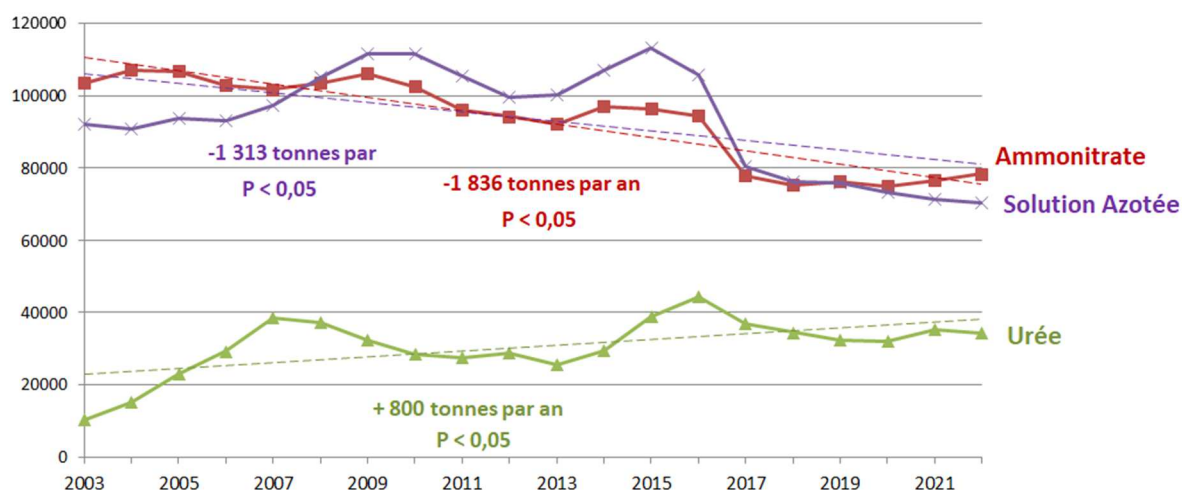
***Remarque :** L'évolution des livraisons azotées par type d'engrais est exprimée par la moyenne triennale, afin de lisser les variations de livraisons, qui peut être liée à l'écart du stock (méthode retenue par le CITEPA au niveau national).



Évolution observée

- **en abscisse :** année
- **en ordonnée :** quantité d'azote en tonnes d'azote livrées

Evolution des livraisons azotées (en tonnes d'azote) par type d'engrais, en moyenne triennale



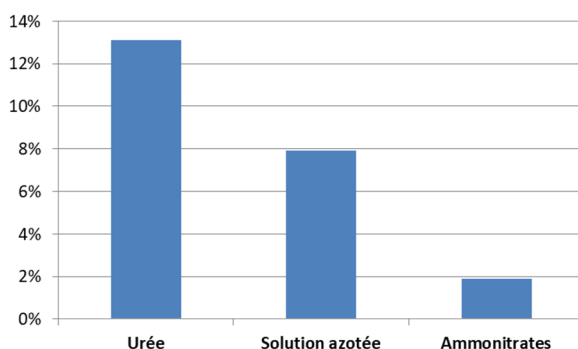


E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote



Les principales formes d'engrais azotés utilisées sont : la solution azotée, l'ammonitrate et l'urée. Les moyennes des livraisons de ces formes d'engrais dans la région Centre Val-de-Loire, sont de 94 000 tonnes d'azote pour la solution azotée, 93 000 t pour l'ammonitrate et 30 000 t pour l'urée entre 2002 et 2022.

Sur le schéma précédent, une perte potentielle dans le cycle de l'azote est la volatilisation. En effet, l'ion ammonium, en solution (NH_4^+) dans le sol peut se volatiliser en NH_3 gazeux, en fonction des conditions pédoclimatiques. Le potentiel émissif en ammoniac NH_3 des engrais azotés est fortement lié à la forme d'engrais utilisée. Ainsi, les pertes moyennes par volatilisation pour les cultures annuelles sont estimées autour de 13% d'azote par rapport à l'azote apporté pour l'urée, 8% pour la solution azotée et de 2% pour les ammonitrates (voir schéma ci-dessous). Mais ce risque de volatilisation potentielle augmente d'autant plus que le temps est chaud, sec, et venteux.



Perte d'azote gazeuse sous forme d'ammoniac en fonction du type d'engrais

Source : Facteurs d'émission moyens utilisés dans l'inventaire national du CITEPA d'après les données EMEP 2016

Au niveau régional, la tendance d'évolution de l'utilisation d'urée entre 2002 et 2022 est en augmentation ces dernières années de 800 tonnes d'azote par an, alors que pour les ammonitrates et la solution azotée, l'étude des courbes de tendance durant la même période fait ressortir une baisse de respectivement 1 800 t et 1 300 t d'azote par an. Cette tendance s'explique surtout par le coût de l'ammonitrate, qui est plus élevé que les autres engrais.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote



Indicateur 3

Evolution de la quantité d'azote livrée par quintal de matière sèche produite



Nature et source des données

AGRESTE – Statistique agricole annuelle
UNIFA – livraisons d'engrais

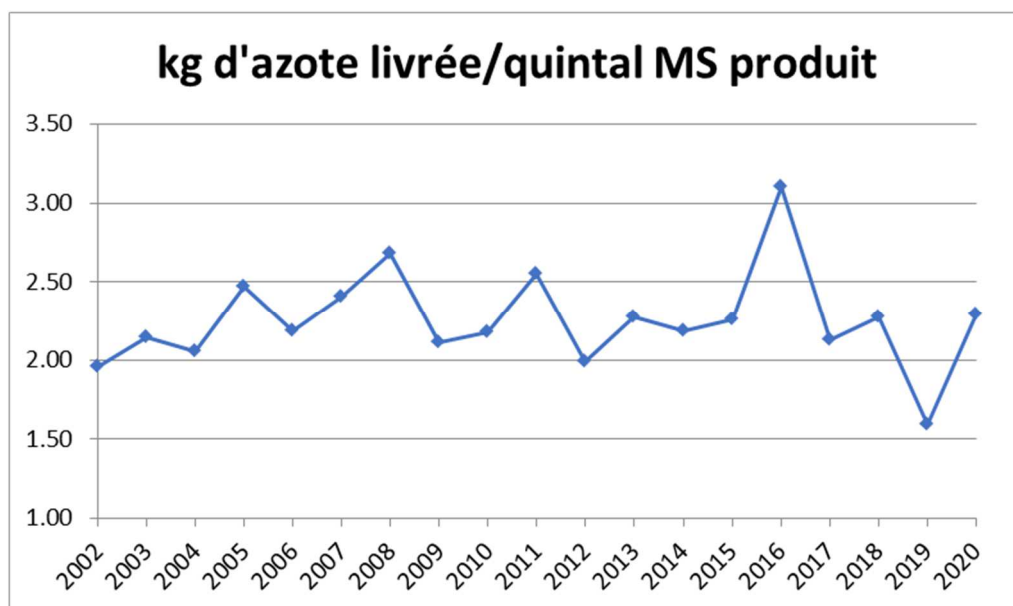


Calcul de l'indicateur

Les quantités d'azote totales livrées chaque année sont divisées par les quantités totales de matière sèche produites (cultures annuelles, cultures fruitières, fourrages et prairies, vignes).



Évolution observée



Analyse

Les livraisons d'engrais diminuent, cependant la quantité d'azote par matière sèche produite se maintient. Elle stagne entre 1,5 et 2,7 kg d'azote par hectare, exception faite des années 2016 et 2019. L'année 2016 a connu des rendements catastrophiques en céréales, avec par exemple 44q/ha pour le blé. Ces faibles rendements ont été dus à une météo estivale pluvieuse et peu lumineuse qui a fait chuter la production. Il y a donc eu plus d'azote apporté par matière produites qu'à l'accoutumée. A contrario en 2019, les rendements ont été particulièrement bons grâce à une météo clémente et malgré les sécheresses estivales. Cela explique donc le ratio quantité d'azote par matière sèche faible.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote



Indicateur 4

Evolution des émissions d'ammoniac en région Centre Val-de-Loire depuis 2008



Nature et source des données

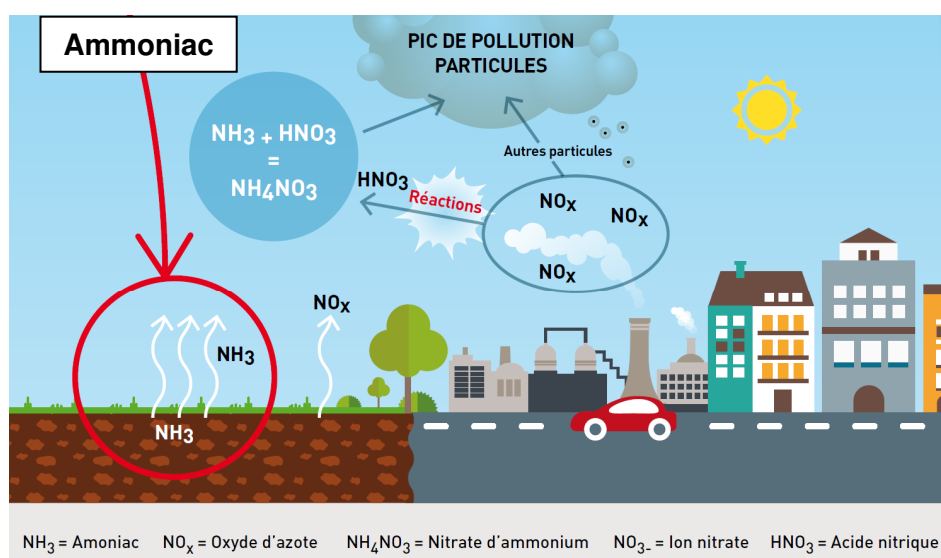
Données fournies par l'OREGES (Observatoire Régional de l'Energie et des Gaz à Effet de Serre en région Centre Val-de-Loire)



Calcul de l'indicateur

- Evolution des émissions de NH_3 entre 2008 et 2016, à l'échelle régionale

L'ammoniac (NH_3) n'est pas un gaz à effet de serre mais a un impact sur la santé et l'environnement car il est un précurseur de microparticules en s'associant avec les oxydes d'azote (voir schéma ci-dessous).



Conditions pour obtenir un pic de pollution printanier – source Chambre d'Agriculture

En région Centre Val-de-Loire, les émissions d'ammoniac du secteur agricole sont estimées en croisant des données d'activités (consommation d'énergie, recensement agricole, ...) avec des facteurs d'émissions propres à chaque polluant et à l'activité considérée.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



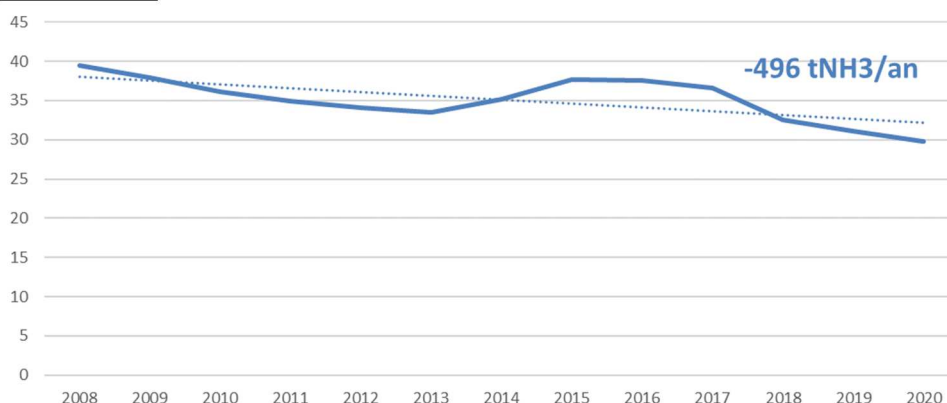
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E4-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote



Évolution observée

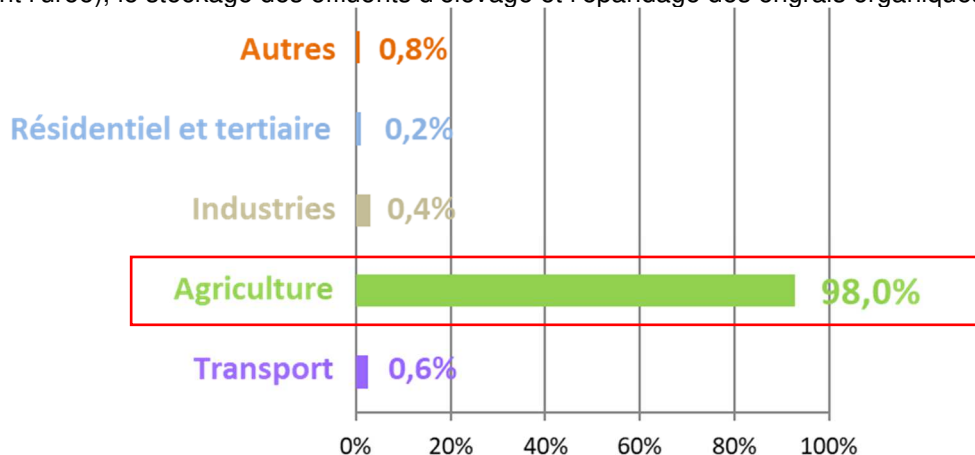
- **en abscisse** : année
- **en ordonnée** : quantité d'ammoniac émis en milliers de tonnes



Evolution des émissions d'ammoniac (milliers de tonnes) en région Centre Val-de-Loire depuis 2008
Source : Lig'Air

En 2020, la quantité d'ammoniac émise est de l'ordre de 30 000 tonnes. Elle a évolué très légèrement à la baisse.

Les émissions agricoles représentent 98 % des émissions d'ammoniac (voir graphique ci-dessous). Les émissions agricoles de NH_3 proviennent de la volatilisation lors de l'épandage d'engrais minéraux (notamment l'urée), le stockage des effluents d'élevage et l'épandage des engrais organiques.



Contribution des secteurs aux émissions d'ammoniac (NH_3) - source Lig'Air

Plusieurs pratiques agricoles permettent de diminuer les émissions d'ammoniac notamment :

- Remplacement de l'urée ou la solution azotée par les ammonitrates (voir indicateur ci-dessus)
- Enfouissement rapide post épandage des engrais organiques et minéraux ;
- Utilisation des inhibiteurs d'uréase qui retardent le processus d'hydrolyse de l'urée, donc l'émission de NH_3 ;
- Eviter l'application des engrais uréiques dans les sols alcalins ou à faible capacité d'échange en cations (sols sableux).

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E3-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote

- Couvrir les stockages d'effluents d'élevage.

Limitier les pertes gazeuses d'ammoniac permettra de limiter la dose initiale d'engrais (organique et/ou minérale) pour les plantes et donc de diminuer indirectement les émissions de GES agricoles.



A retenir

La quantité moyenne des livraisons azotées dans la région Centre Val-de-Loire au cours de ces dernières années (entre 2002 et 2022) est de 256 000 tonnes d'azote, avec une relative stabilité jusqu'à 2017 puis une chute importante.

L'utilisation des engrais minéraux est responsable de 14 % des GES agricoles françaises notamment dû à l'émission du protoxyde d'azote.

Selon l'INRA, une fertilisation azotée raisonnée permettrait de réduire les émissions de GES d'un potentiel d'atténuation annuel estimé à 6 Mt CO₂e, soit 7% des émissions de GES du secteur agricole de 2021 en France.

Lors de leur utilisation, les engrais minéraux azotés peuvent subir des pertes importantes de leur potentiel de fertilisation via la volatilisation (dégagement d'ammoniac gazeux). C'est l'urée qui va avoir tendance à volatiliser plus que l'ammonitrate (13 % contre 2 %), mais l'ammonitrate (-1800 t/an) est de moins en moins utilisé en région Centre Val-de-Loire au détriment de l'urée (+800 t/an).

Le secteur agricole est responsable de l'émission d'ammoniac à 98 % en région Centre Val-de-Loire. Limiter les pertes de volatilisation des engrais minéraux et organiques, permet de diminuer le risque d'apparition d'un pic de pollution aux microparticules mais permet également de diminuer la dose d'apport initiale et donc de limiter indirectement les GES agricoles.



Pour en savoir plus

ADEME - <http://www.bilans-ges.ademe.fr> ; Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air – Septembre 2019 ;

Chambre d'Agriculture n°1050 (Février 2016) – Agriculture et qualité de l'air ;

CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), 2017-
www.citepa.org ;

DEFRA 2005 Ammonia emissions and crop N use efficiency ;

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

RESEAU ACTION CLIMAT, 2017- Réduction des émissions indirectes du secteur agricole : Mise en place d'un plan national de réduction ambitieuse de l'utilisation des engrais azotés minéraux d'ici à 2050 ;

UNIFA, 2016 - Diminuer les pertes gazeuses pour augmenter l'efficience de l'azote « Les engagements internationaux de la France dans l'UE ».

DRAAF Centre-Val de Loire, *Terres labourables*, conjonctures 2016 et 2019 [en ligne].

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E5-Surface en légumineuses

Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF

Indicateur

Surface régionale cultivée en légumineuses (voir définition ci-dessous)

Calcul de l'indicateur

Cumul des surfaces en légumineuses à partir des codes PAC (source DRAAF CVL 2023)

La famille des Légumineuses (Fabaceae) désigne des plantes dont les fruits comestibles sont contenus dans des gousses. Cette famille regroupe une importante variété d'espèces végétales cultivées partout dans le monde. A noter que le soja, qui est considéré parfois comme une oléo-protéagineuse, a été pris en compte ici.

En 2022, les légumineuses représentaient 4,9 % de la SAU régionale. On peut distinguer trois types de **légumineuses** :

- à graine utilisés en **alimentation humaine (LAH)** : la lentille, la fève, le haricot, le petit pois et le pois chiche.
- à graine utilisés en **alimentation animale (LAA)**, aussi appelées protéagineux : la féverole, le pois protéagineux, le lupin doux et le soja.
- **fourragères (LF)** utilisées en alimentation des herbivores (pâturage, foin, ensilage) : la luzerne, les trèfles, la féverole et pois fourragers, la vesce, le fenugrec, le sainfoin...

Rq : Un ratio de 50% a été appliqué aux surfaces en mélange avec légumineuses prépondérantes, les autres mélanges n'ont pas été comptés.

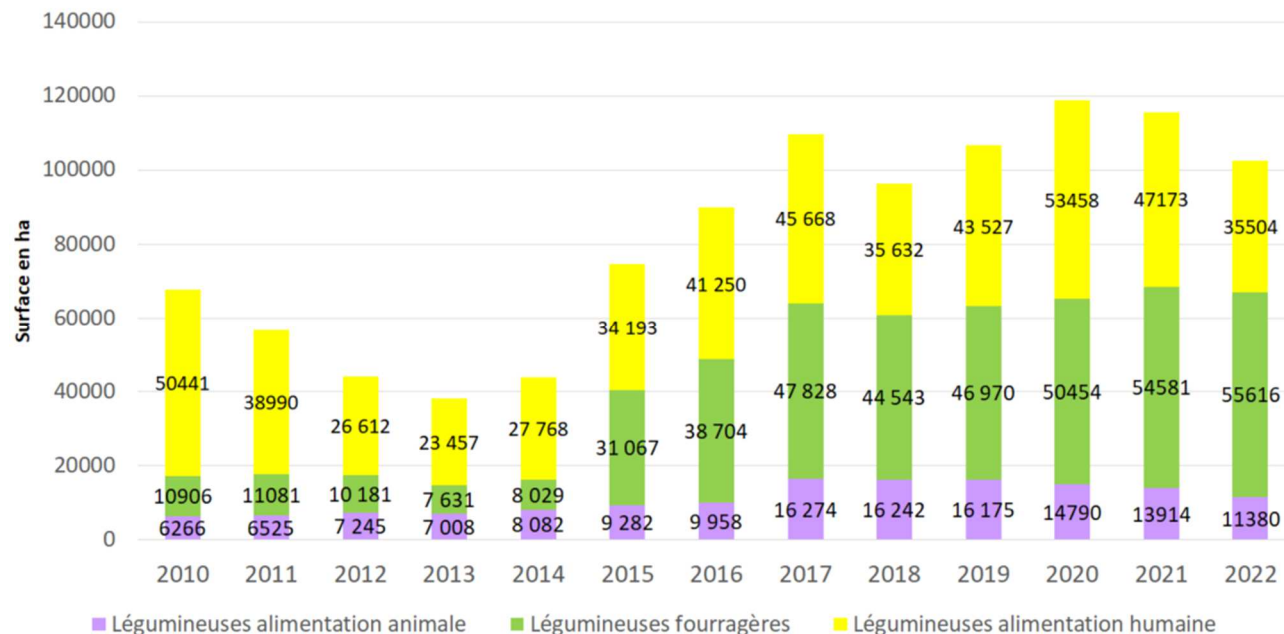
Évolution observée

5 ATTENUATIONS AGRICOLES



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

E5-Surface en légumineuses

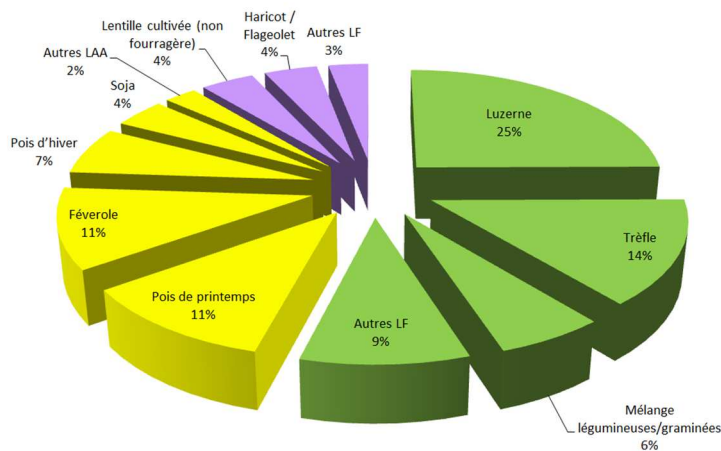


Evolution des surfaces en légumineuses (en ha) en Région Centre Val-de-Loire

Depuis 2010, la surface en légumineuses a augmenté de plus de 30 000 ha. Ce sont les légumineuses à destination de l'alimentation humaine et les légumineuses fourragères qui ont augmenté, avec respectivement + 800 ha/an et + 4 600 ha/an entre 2010 et 2022. Ces augmentations s'expliquent par la mise en place de subventions de la PAC pour l'implantation de légumineuses.

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 faible compétitivité économique de cette filière en France dans le contexte mondial.



Assolement régional 2022

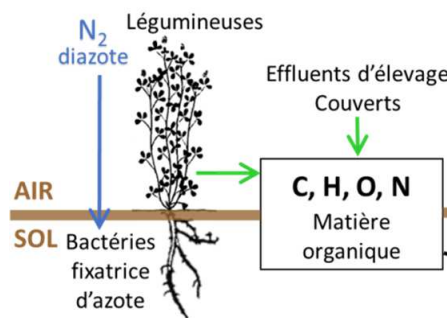
En 2022, l'assolement correspond pour 54 % à des légumineuses fourragères, 35 % à des légumineuses à graines pour l'alimentation animale et 11 % pour l'alimentation humaine. On remarque que le soja, bien qu'il ait connu une croissance forte (ses surfaces ont été multipliées par 10 depuis 2010) et qu'il soit un des principaux aliments pour l'élevage, ne concerne que 4 % de l'assolement.

5 ATTENUATIONS AGRICOLES

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatique

E5-Surface en légumineuses

Les légumineuses ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique grâce à une association symbiotique avec des bactéries (genre *Rhizobium*) présentes au sein de leurs racines (voir schéma ci-contre). Ainsi, ces espèces n'ont pas besoin d'apport d'engrais azoté mais vont également en fournir une partie à la culture suivante, via le système racinaire et aérien. L'INRA (INRA 2013) estime que l'implantation d'une légumineuse permet de réduire l'engrais de 33 kgN/ha sur la culture suivante. Cette entrée d'azote « naturelle » dans la parcelle va donc mécaniquement baisser la dose d'engrais à apporter sur la culture suivante. Or, dans l'indicateur « Types de gaz à effet de serre émis par secteur agricole », il a été vu que la fabrication d'engrais minérale était énergivore (ex : fabrication d'1 kg d'ammonitrate, libère en moyenne 5,86 kg équivalent CO₂ selon l'ADEME). La légumineuse est donc une source potentielle d'azote moins émissive en gaz à effet de serre que la fabrication anthropique d'azote minérale.



Au niveau national, il est estimé (INRA, 2013) que le triplement des surfaces de légumineuses à graine observées en 2010 (400 000 ha), soit 1,2 millions d'hectares à l'échelle nationale permettrait une réduction de 0,92 millions de tonne de CO₂e directes par an, soit 0,8 % des émissions agricoles annuelles françaises de GES.

En intégrant les émissions indirectes, liées à la moindre fabrication d'engrais minéral, la réduction des émissions de GES serait de 1,75 million de tonne de CO₂e (directes et indirectes) par an.

Appliqué à la région Centre Val-de-Loire, ce scénario de triplement des surfaces en légumineuses occupées en 2010, conduirait à une surface en légumineuses d'environ 200 000 hectares, soit le double de la surface actuelle. Une particularité de ce levier agricole d'atténuation est qu'il impose un changement significatif des rotations et des systèmes de production mais implique également une modification des systèmes alimentaires (animales et humaines).



A retenir

- En 2023, les surfaces en légumineuses représentent plus de 104 500 ha.
- La surface en légumineuses fourragères a été multipliée par 5 depuis 2010 et représente en 2022 plus de 50 % des surfaces en légumineuses.
- Les surfaces dédiées aux légumineuses pour alimentation humaine ont été multipliées par 2 depuis 2010



Pour en savoir plus

ADEME - <http://www.bilans-ges.ademe.fr> ;

DRAAF Centre Val-de-Loire – Céréales et oléagineux – Novembre 2016.

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.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Centre Val-de-Loire Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A1 - Température moyenne annuelle	7
A2 - Température moyenne saisonnière	15
A3 - Nombre de jours estivaux annuel	22
A4 - Nombre de jours de gel annuel	27
A5 - Cumul annuel des pluies	31
A6 - Cumul saisonnier des pluies	36
A7 - Cumul mensuel des pluies	40
A8 - Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)	47
A9 - Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle (ETP)	52
A10 - Contenu en eau des sols	57
A11 - Déficit hydrique climatique (Pluies - ETP)	65

2 AGRO CLIMAT

B1 - Nombre de jours échaudant au printemps	76
B2 - Nombre de jours de gel du 1er mars au 30 avril	80
B3 - Début, durée et fin de la période de gel	84
B4-Indice de Winkler	91
B5-Indice de fraîcheur des nuits du 1er au 30 septembre	97
B6-Faisabilité d'une culture intermédiaire	102
B7-Date de reprise de végétation de la prairie et mise à l'herbe	110
B8-Episodes pluvieux intenses	116
B9-Nombre de cycles de Thrips Tabaci	119
B10-Nombre de jours de sécheresse	124

3 IMPACTS AGRICOLES

C1 - Rendement en blé tendre	130
C2 - Rendement en maïs grain	136
C3 - Dates de débourrement, floraison et maturité du raisin	143
C4 - Teneur en sucre et en acidité totale des raisins	149
C6 - Date de pleine floraison du pommier : Variété Golden	157
C7 - Hydraulicité : débits des cours d'eau	160
C8 - Niveau des nappes d'eau souterraine	163

4 ADAPTATIONS

A venir

5 ATTENUATIONS

E1-Occupation du sol et matière organique des sols	168
E2-Les émissions de gaz à effet de serre et le stockage carbone	172
E3-Livraisons des engrais minéraux azotés et volatilisation de l'azote	208
E4-Surface en protéagineux	217

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
