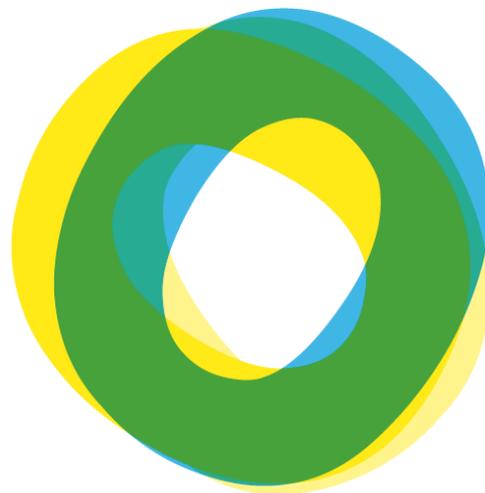




CLIMAT  
AGROCLIMAT  
IMPACTS  
ADAPTATIONS AGRICOLES  
ATTENUATIONS



**oracle**  
Bourgogne-Franche-Comté

Avec le soutien financier de :



Etat des lieux  
sur le changement climatique  
et ses incidences agricoles  
en région Bourgogne-Franche-Comté

**Edition 2021**



ADEME DR Bourgogne-Franche-Comté  
CRA Bourgogne-Franche-Comté

**Comité de pilotage :**

ADEME DR Bourgogne-Franche-Comté  
Conseil Régional Bourgogne-Franche-Comté  
CRA Bourgogne-Franche-Comté  
DRAAF Bourgogne-Franche-Comté  
DREAL Bourgogne-Franche-Comté  
Météo France  
Région Bourgogne-Franche-Comté  
Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne  
Alterre Bourgogne-Franche-Comté  
Université de Bourgogne  
ARVALIS – Institut du Végétal  
Terres Inovia

**Direction éditoriale et expertise agronomique**

CRA Bourgogne-Franche-Comté

**Données et expertise climatiques**

Météo France



**Contributions :**

BIVB, Arvalis Institut du végétal, Terres Inovia, Chambres d'Agriculture de Bourgogne Franche Comté, DRAAF/SRISE, France AgriMer, INRA, Météo France, Université de Bourgogne.

**Documents téléchargeables sur :**

[www.bourgognefranche-comte.chambagri.fr](http://www.bourgognefranche-comte.chambagri.fr)

Prochaine parution : fin 2022.



## Qu'est-ce qu'ORACLE Bourgogne-Franche-Comté ?

ORACLE Bourgogne-Franche-Comté (Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique) établit un constat objectif du changement climatique en région Bourgogne-Franche-Comté et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale. Il s'appuie sur des observations qui sont mises à jour une fois par an.

ORACLE Bourgogne-Franche-Comté est organisé en 5 thèmes, signalés en tête de chaque fiche.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

2 AGRO CLIMAT

3 IMPACTS AGRICOLES

4 ADAPTATIONS

5 ATTENUATIONS

ORACLE Bourgogne Franche Comté 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 :

**Céline BUCHE** – Chambre d'agriculture de Bourgogne Franche Comté  
[celine.buche@bfc.chambagri.fr](mailto:celine.buche@bfc.chambagri.fr)

**Jérôme LAMONICA** – Chambre d'agriculture du Jura  
[jerome.lamonica@jura.chambagri.fr](mailto:jerome.lamonica@jura.chambagri.fr)



## Edition 2021 : liste des fiches

### 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Température moyenne annuelle .....	10
Température moyenne saisonnière .....	14
Vagues de chaleur en Bourgogne-Franche-Comté .....	16
Nombre de jours de gel par an .....	17
Nombre de jours estivaux par an .....	20
Cumul annuel des précipitations.....	22
Cumul saisonnier des précipitations .....	26
Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	29

### 2 AGRO CLIMAT

Nombre de jour chaud $\geq 27^{\circ}\text{C}$ du 01/05 au 31/10 – Pousse de l'herbe .....	32
Nombre de jours chauds $\geq 30^{\circ}\text{C}$ du 01/05 au 15/09 – Remplissage des grains .....	34
Nombre de jours de gel de printemps .....	36
Indice de WINKLER .....	38
Date de mise à l'herbe.....	41
Déficit hydrique – Cumul des précipitations – ETP du 01/04 au 15/09 .....	43

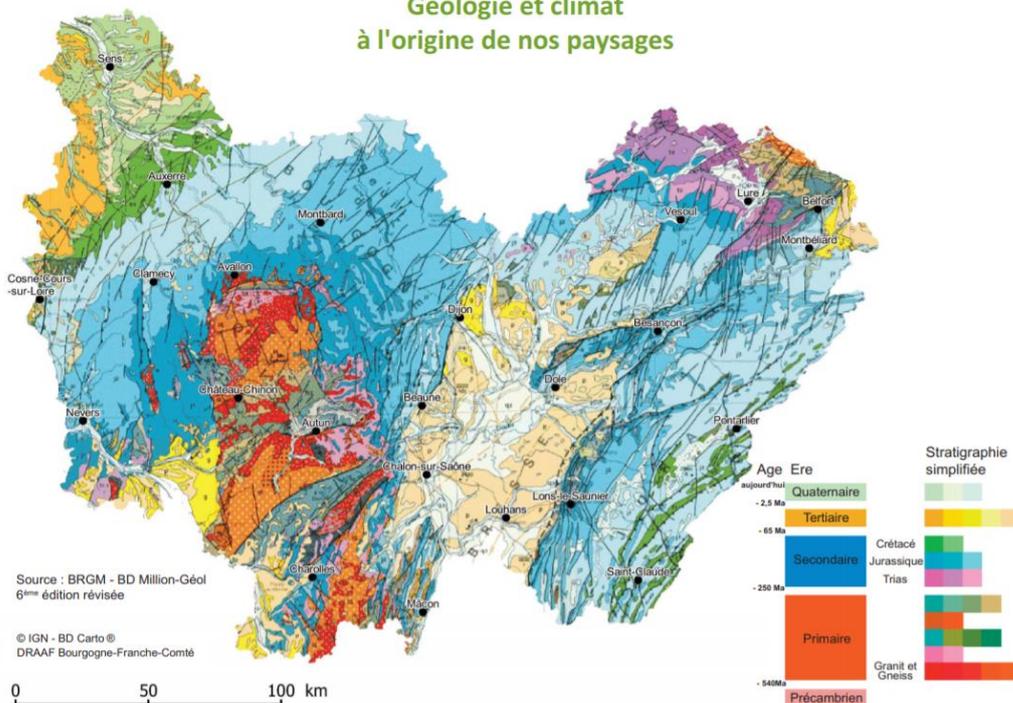
### 3 IMPACTS AGRICOLES

Evolution des stades phénologiques de la vigne.....	46
Evolution de l'acidité totale et du sucre .....	48
Impact sur l'état hydrique de la vigne – méthode du $\delta^{13}\text{C}$ .....	50
Evolution des rendements en blé tendre d'hiver.....	51
Impact sur la pousse de l'herbe .....	55



## Le Climat de Bourgogne-Franche-Comté

### Géologie et climat à l'origine de nos paysages



### Entre montagnes jeunes et anciennes

Avec 47 784 km<sup>2</sup>, la région Bourgogne-Franche-Comté couvre 7,6 % du territoire métropolitain. Elle est composée de 3 829 communes regroupées en 8 départements : Côte-d'Or, Doubs, Jura, Nièvre, Haute-Saône, Saône-et-Loire, Yonne et Territoire de Belfort.

#### Des reliefs variés

Le relief de la région se découpe en deux parties dissymétriques selon un axe incliné nord-est/sud-ouest. Globalement, cet axe va de Belfort à Chalon-sur-Saône (Verdun-sur-le-Doubs exactement) puis suit la vallée de la Saône. Le côté nord-ouest, correspondant à la zone hercynienne, est composé de massifs anciens aux sommets arrondis : Vosges et Massif Central (Morvan). Il relève dans sa partie ouest et extrême nord du bassin parisien. Le côté sud-est, correspondant au massif du Jura, est composé de montagnes jeunes aux sommets plus élevés et escarpés, avec une composante calcaire karstifiée. Jeune d'un point de vue géologique, le massif du Jura n'est pourtant pas une vraie chaîne de montagnes mais un plissement de roches calcaires surélevées en raison de la compression exercée par les Alpes vers l'ouest.

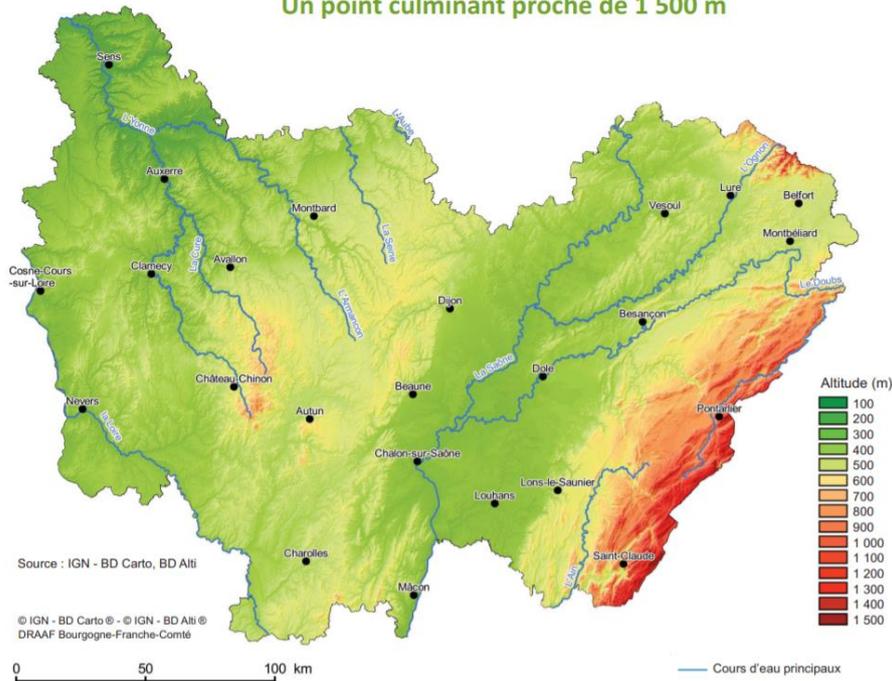
#### Un réseau hydrographique dense mais inégal

La région est partagée entre trois des six grands bassins hydrographiques français : Seine-Normandie, Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée. Chacun de ces bassins couvre respectivement 27,4 %, 20,9 % et 51,7 % de la superficie régionale. Le point de partage des eaux se trouve sur la commune de Meilly-sur-Rouvres, en Côte-d'Or, à une altitude modeste de 445 m. Cette position de tête de bassin se traduit par la mise en œuvre de dispositifs de préservation de la qualité des eaux. Le



Le territoire régional est traversé par de nombreux cours d'eau dont deux fleuves : la Loire et la Seine. Cette dernière prend sa source en Côte-d'Or, à Source-Seine. Le canal de Bourgogne permet de relier l'Yonne à la Saône. Le canal du Centre relie les vallées de la Loire et de la Saône. Au total, ce sont environ 17 500 km de cours d'eau qui cheminent sur la région. Concentrés sur les couches géologiques peu perméables, ils sont plus rares sur les plateaux calcaires.

### Un point culminant proche de 1 500 m



## Plusieurs influences climatiques

A l'ouest de la Bourgogne-Franche-Comté, le climat est de type océanique altéré. C'est un climat caractérisé par des températures plutôt modérées et des précipitations assez élevées comparées aux valeurs nationales.

En partant vers l'Est, le Morvan et les plateaux déterminent un axe où le climat est plus complexe. De type moyenne montagne, il présente une forte pluviométrie, des hivers froids et des étés frais.

Du sud de la Saône-et-Loire jusqu'à Dijon, le climat de plaine subit une influence méridionale, notamment sur la côte viticole. Plus au nord, ce sont les influences continentales qui agissent sur le climat et entraînent des étés chauds, des pluies fréquentes et des hivers difficiles. La plaine et les vallées franc-comtoises sont influencées par ce climat et cumulent des précipitations voisines de 1 200 mm en se rapprochant des massifs des Vosges et du Jura.

Un climat de basse montagne règne sur les plateaux du Jura, où les précipitations peuvent atteindre 1 600 mm par an. Les hivers y sont froids et la couverture neigeuse variable. A seulement 930 mètres d'altitude, la commune de Mouthe est la plus froide de France, il y gèle en moyenne 176 jours par an (période 1961-2010). La haute chaîne du Jura est dominée par un climat de montagne caractérisé par des chutes de neige importantes, une température qui décroît rapidement en fonction de l'altitude, des étés tièdes, voire frais, et des orages fréquents.

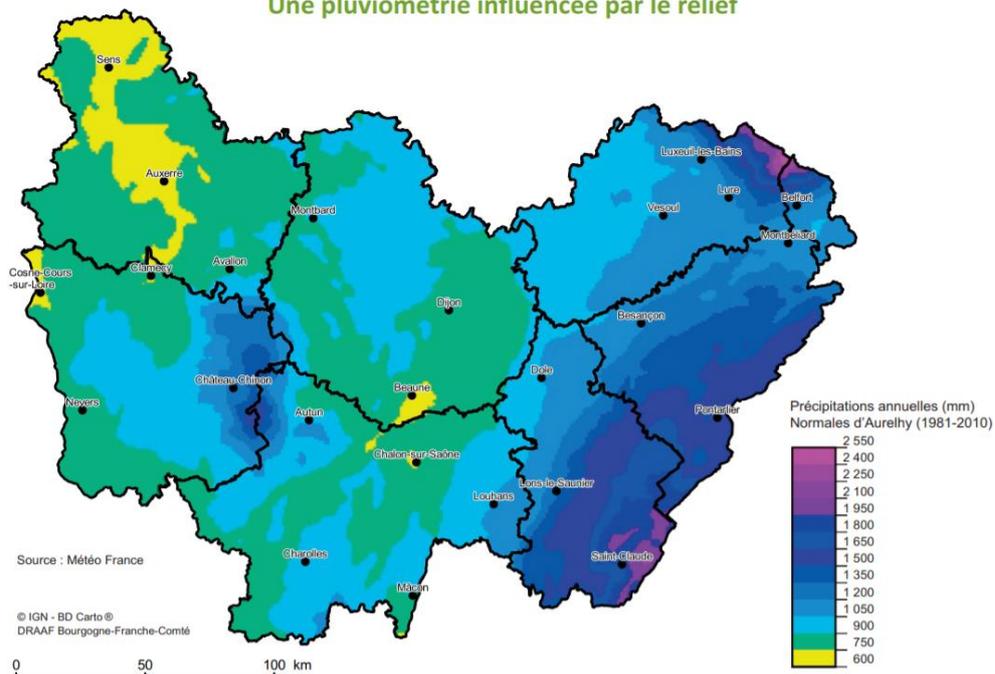


## Une évolution perceptible sur les dernières décennies

Sur la période 1959-2009 étudiée par Météo France, les températures moyennes en Bourgogne-Franche-Comté ont affiché une hausse de  $0,3^{\circ}\text{C}$  par décennie et le nombre de jours dont la température maximale a dépassé  $25^{\circ}\text{C}$  a augmenté de 4. Les années 80 sont des années charnières sur la période étudiée : antérieurement les quatre années les plus froides de la période d'étude (1962, 1963, 1980, 1985), postérieurement les quatre années les plus chaudes (2014, 2011, 2003, 1994).

Parallèlement, le cumul des précipitations annuelles s'est orienté à la hausse. Par ailleurs, le climat influence le cycle annuel d'humidité du sol qui a été comparé entre les périodes de référence 1961-1990 et 1981-2010. Cette analyse montre un assèchement moyen annuel des sols de près de 3 %. Cela se traduit par une faible diminution de la période de sol très humide au printemps, un léger allongement moyen de la période de sol sec en été, et une humidité du sol plus forte en automne et en début d'hiver.

## Une pluviométrie influencée par le relief





## Statistique

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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> < 0,1 : extrêmement importante
- 0,1 < R<sup>2</sup> < 0,2 : très importante
- 0,2 < R<sup>2</sup> < 0,3 : importante
- R<sup>2</sup> > 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 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
- 0,05 < P < 0,1 : faiblement significative
- P > 0,1 : non significative, noté parfois NS.

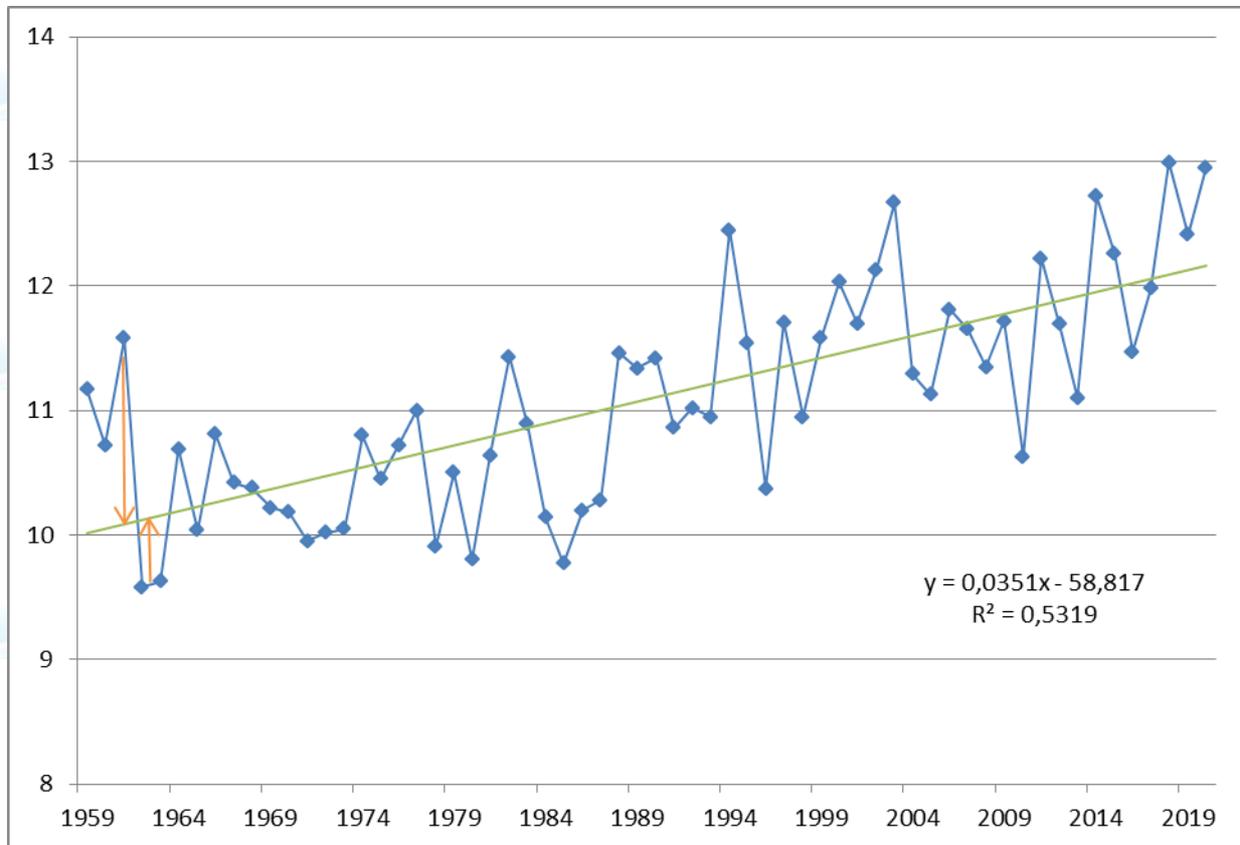
Pour caractériser le climat d'un lieu donné, les climatologues utilisent des normales climatiques : ils calculent les valeurs moyennes sur 30 ans des principaux paramètres météorologiques (valeur préconisée par l'Organisation Météorologique Mondiale). Le choix d'une durée de 30 ans pour caractériser 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 Besançon depuis 1959.



- $R^2$  : 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 (flèches orange) est grande plus la valeur de  $R^2$  est petite et plus la variabilité interannuelle est grande.
- Le coefficient de la droite (la pente) donne l'évolution de la tendance. Ici : «  $y = 0,0351 x$  » signifie que la tendance est de + 0,0354 °C/an, soit + 0,35 °C tous les 10 ans. Le test de significativité P est indiqué pour exprimer la force de la tendance. Si  $P < 0,001$  ce qui signifie que la tendance est très hautement significative.
- 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

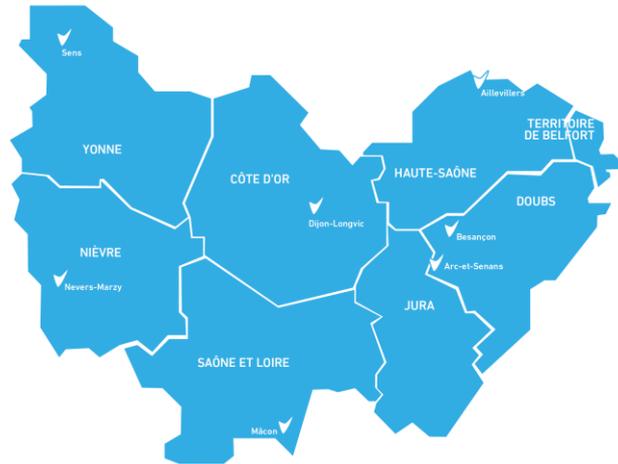
## Température moyenne annuelle

### 🔑 Nature et source des données

SH : série homogénéisée (Cf. lexique)  
Données fournies par Météo France.

### 🕒 Indicateur 1

Dijon-Longvic (21) 1959-2015  
Nevers-Marzy (58) 1959-2014  
Mâcon (71) 1959-2015  
Sens (89) 1959-2015  
Arc-et-Senans (25) 1959-2015  
Besançon (25) 1959-2015  
Aillevillers (70) 1959-2015

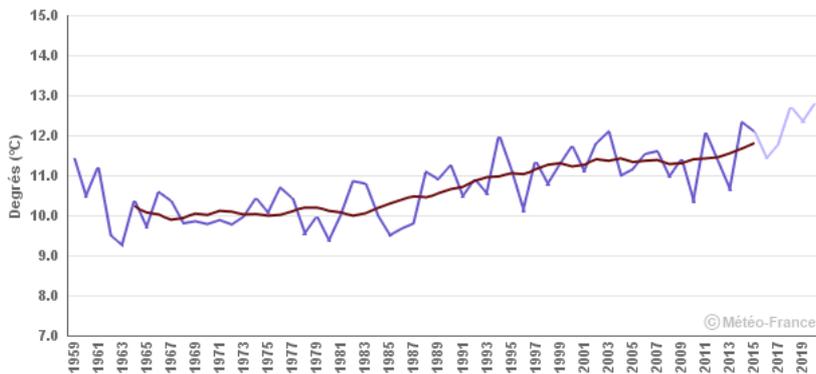


### 📊 Calcul de l'indicateur 1

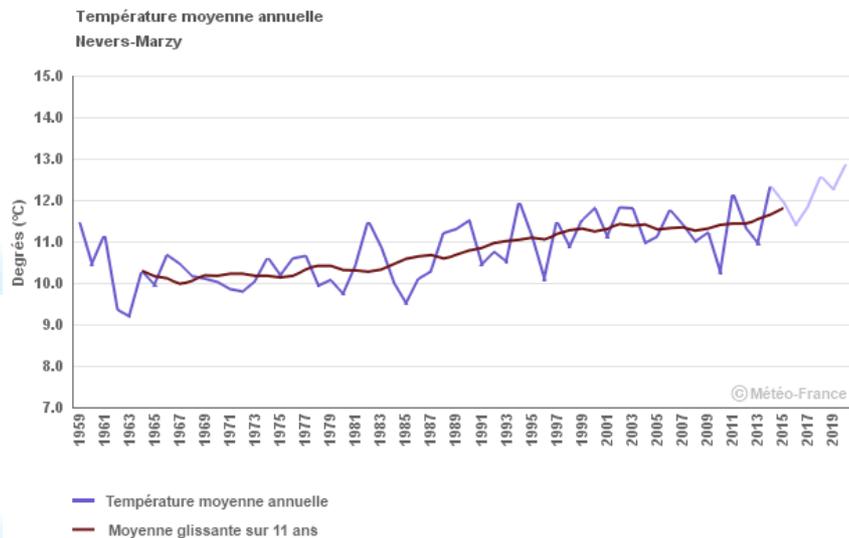
Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières.

### 📈 Évolution observée

Température moyenne annuelle  
Dijon-Longvic



Température moyenne annuelle  
Nevers-Marzy



# 1

# CHANGEMENT CLIMATIQUE

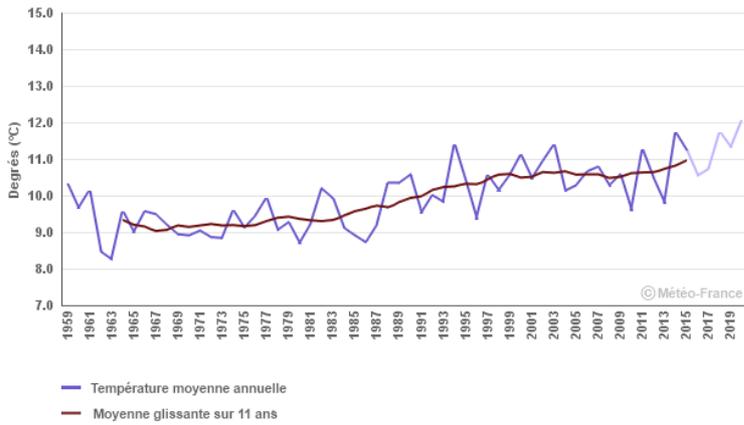


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

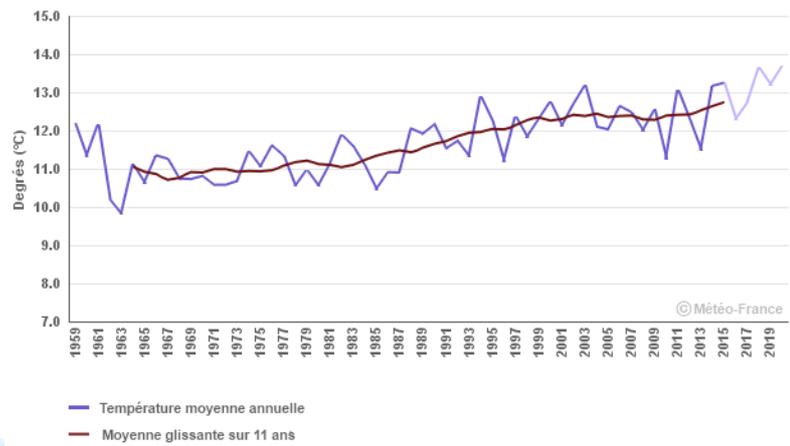
## Température moyenne annuelle

### Évolution observée

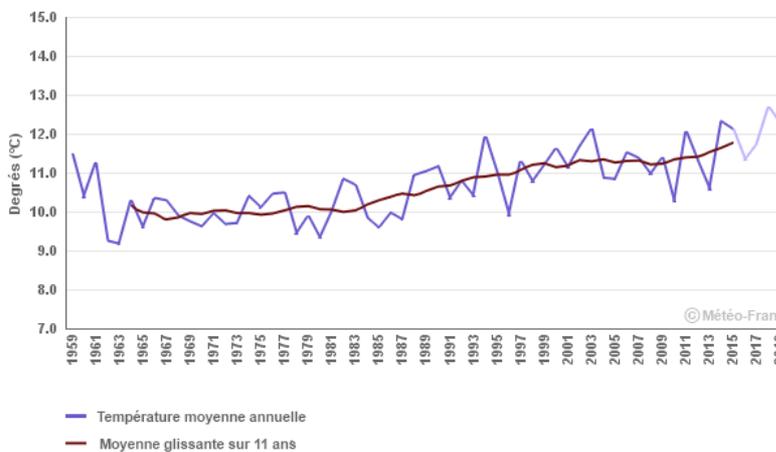
Température moyenne annuelle  
Aillevillers



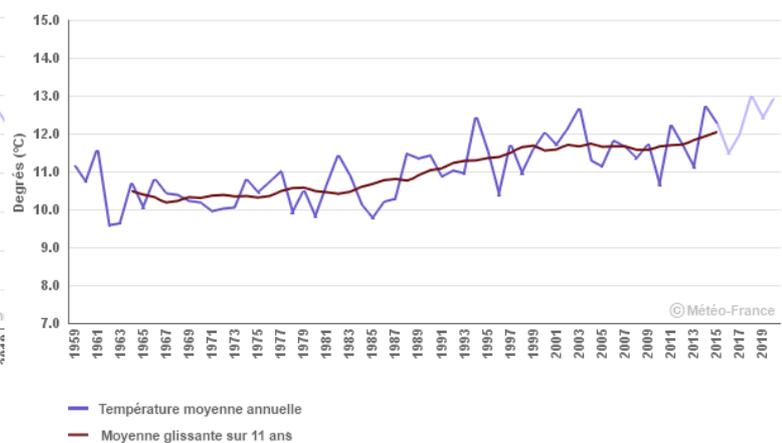
Température moyenne annuelle  
Mâcon



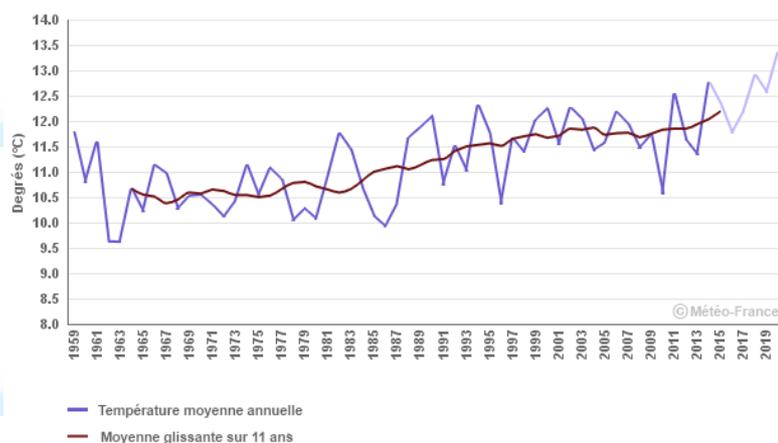
Température moyenne annuelle  
Besançon



Température moyenne annuelle  
Arc-et-Senans



Température moyenne annuelle  
Sens





## Température moyenne annuelle

### Analyse

L'évolution de température moyenne annuelle observée en Bourgogne-Franche-Comté depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle est conforme à celle observée en France métropolitaine.

Trois éléments méritent d'être soulignés :

- L'augmentation tendancielle de température sur les 60 années est similaire pour les 7 sites présentés, soit de l'ordre de + 0,3 °C par décennie;
- Le réchauffement s'est accéléré à partir du milieu des années 80. À noter que pour chacune des stations, 15 des 20 années les plus chaudes enregistrées depuis 1959 l'ont été au XXI<sup>ème</sup> siècle. À Arc-et-Senans, Nevers, Mâcon, Sens, Dijon, les 6 années les plus chaudes ont été relevées après 2000. Les derniers rapports du GIEC et la plupart des projections climatiques confirment la très forte probabilité que ce réchauffement se poursuive.
- Les fortes variations de température d'une année à l'autre (variabilité dite inter annuelle) sont fréquemment supérieures à la variation tendancielle sur le long terme, perturbant ainsi la perception de la tendance ;

Cette accélération du réchauffement, observée en Bourgogne-Franche-Comté comme en France, impacte fortement l'agriculture au travers notamment de la modification des calendriers cultureux et de l'augmentation de l'évapotranspiration des cultures.

#### A RETENIR

- Les différentes séries de données homogénéisées disponibles mettent en évidence une évolution des températures moyennes homogènes au sein de la région et cohérente avec l'évolution observée sur l'ensemble de la France métropolitaine.
- Globalement, sur la période 1959-2015, la tendance de l'augmentation de la température annuelle est de 0,3°C par décennie, avec une accélération sur les trois dernières décennies.
- Cet accroissement important des températures, et son accélération ces dernières années, impose au conseiller agricole de réactualiser les références techniques (dates de semis et choix de variétés notamment) pour mieux accompagner l'évolution des pratiques des agriculteurs face aux évolutions climatiques des prochaines années. Cependant la variabilité inter annuelle reste présente ( $R^2$  mini = 0,48 à Sens) ce qui impose une réactivité importante dans les choix qui seront faits et d'intégrer la notion de risque et de résilience des systèmes agricoles.



## Température moyenne annuelle

---



Pour en savoir plus

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

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

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

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

# 1

# CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

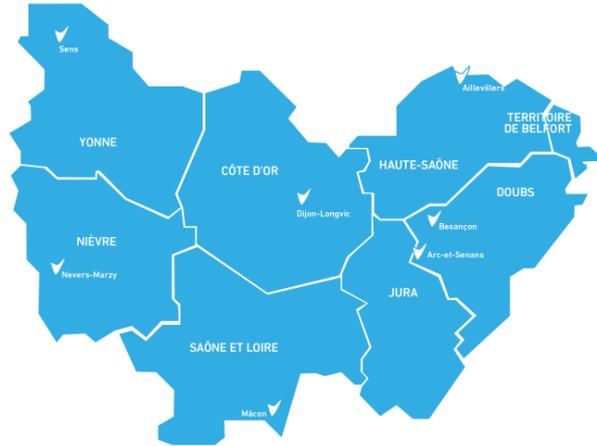
## Température moyenne saisonnière

### 🔑 Nature et source des données

SH : série homogénéisée (Cf. lexique)  
Données fournies par Météo France.

### 🕒 Indicateur 2

Dijon-Longvic (21) 1959-2015  
Nevers-Marzy (58) 1959-2014  
Mâcon (71) 1959-2015  
Sens (89) 1959-2015  
Arc-et-Senans (25) 1959-2015  
Besançon (25) 1959-2015  
Aillevillers (70) 1959-2015

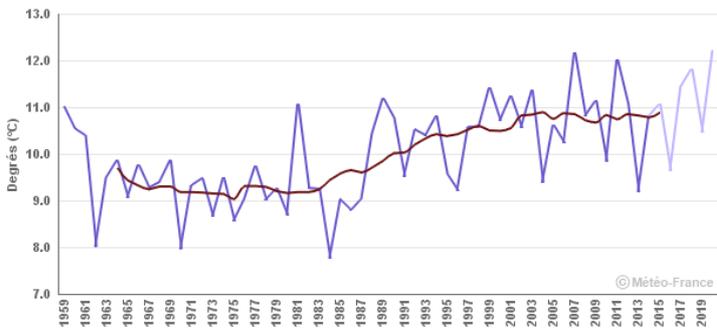


### 📊 Calcul de l'indicateur 2

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

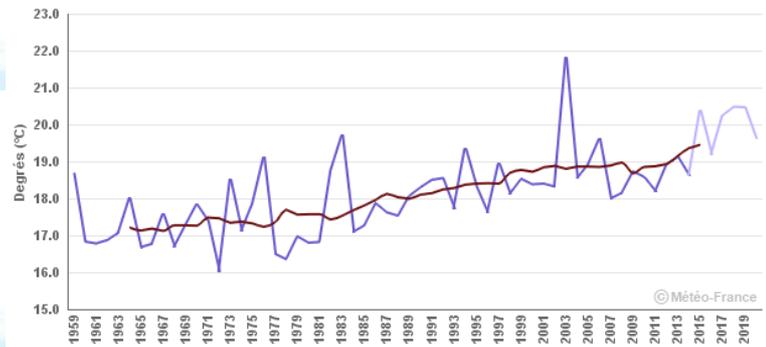
### 📈 Évolution observée – Exemple de la station de Nevers - Marzy

Température moyenne printanière  
Nevers-Marzy



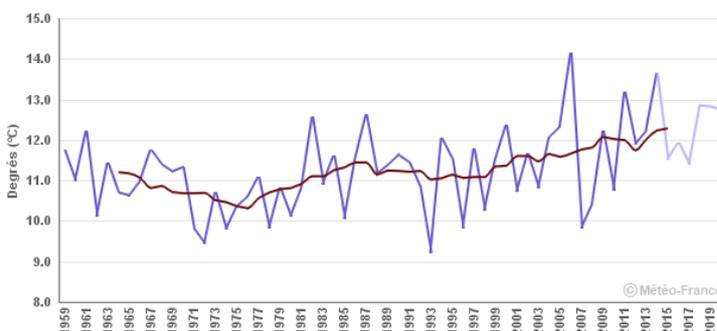
— Température moyenne  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Température moyenne estivale  
Nevers-Marzy



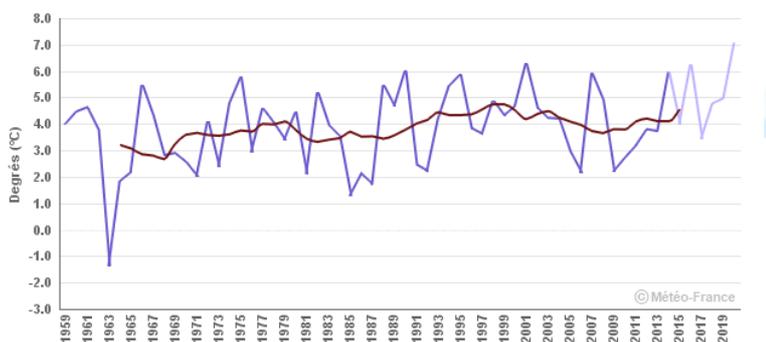
— Température moyenne  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Température moyenne automnale  
Nevers-Marzy



— Température moyenne  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Température moyenne hivernale  
Nevers-Marzy



— Température moyenne  
— Moyenne glissante sur 11 ans



## Température moyenne saisonnière

### Analyse

L'évolution de la température moyenne saisonnière observée à Nevers depuis 1959 montre que :

- Les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :
  - + 0,20 °C par décennie en hiver** ( $P < 0,05$ ) soit environ + 1,14 °C en 57 ans ;
  - + 0,31 °C par décennie au printemps** ( $P < 0,001$ ) soit environ + 1,76 °C en 57 ans ;
  - + 0,37 °C par décennie en été** ( $P < 0,001$ ) soit environ + 2,11 °C en 57 ans ;
  - + 0,22 °C par décennie en automne** ( $P < 0,001$ ) soit environ + 1,25°C en 57 ans ;
- L'augmentation des températures est significative pour l'ensemble des saisons.
- L'accroissement de la température moyenne au niveau de la station de Nevers-Marzy n'est pas homogène selon les saisons.
- La température moyenne saisonnière observée montre que l'été présente la pente la plus marquée avec la plus forte augmentation par décennie mais également la moindre hétérogénéité interannuelle.
- Au contraire l'automne et l'hiver semblent les saisons où le réchauffement est le plus lent au cours du temps.

Les résultats de l'analyse des températures moyennes saisonnières des autres stations sont présentés dans le tableau suivant (cf. Tableau II).

	Décembre – janvier – février (Hiver)		Mars-Avril-Mai (Printemps)		Juin – Juillet – Août (Eté)		Sept-octobre – nov (Automne)	
	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance
Dijon-Longvic	+ 0,26	0,01	+ 0,33	0,001	+ 0,39	0,001	+ 0,24	0,001
Besançon	+ 0,29	0,01	+ 0,34	0,001	+ 0,40	0,001	+ 0,19	0,001
Arc et Senans	+ 0,27	0,01	+ 0,31	0,001	+ 0,41	0,001	+ 0,27	0,001
Aillevillers	+ 0,31	0,01	+ 0,33	0,001	+ 0,42	0,001	+ 0,27	0,001
Mâcon	+ 0,23	0,05	+ 0,41	0,001	+ 0,45	0,001	+ 0,26	0,001
Sens	+ 0,22	0,05	+ 0,31	0,001	+ 0,37	0,001	+ 0,27	0,001

**Tableau II : Evolution des températures moyennes saisonnières sur les 6 autres stations étudiées**

L'analyse des températures moyennes saisonnières des stations de Dijon-Longvic, Besançon, Arc-et-Senans, Aillevillers, Mâcon et Sens, présentent des résultats similaires à ceux de Nevers Marzy. Les évolutions thermiques de Mâcon sont légèrement plus importantes en été et au printemps (cf Indicateur Températures moyennes annuelles) mais les tendances sont les mêmes que celles des autres stations.

L'homogénéisation des températures par Météo France en 2010 a permis de constater que le réchauffement moyen annuel en France métropolitaine est principalement dû à l'augmentation des températures printanières et estivales, comprises entre + 0,22 °C et + 0,58 °C par décennie (GIBELIN et al. 2014). En automne et en hiver les tendances nationales ne sont pas significatives. Pour l'hiver c'est la forte amplitude de variabilité de la saison qui est en cause. Un fait qui a également été observé en Bourgogne-Franche-Comté avec un niveau de certitude sur cette évolution inférieur aux autres saisons bien que l'augmentation soit tout de même significative.



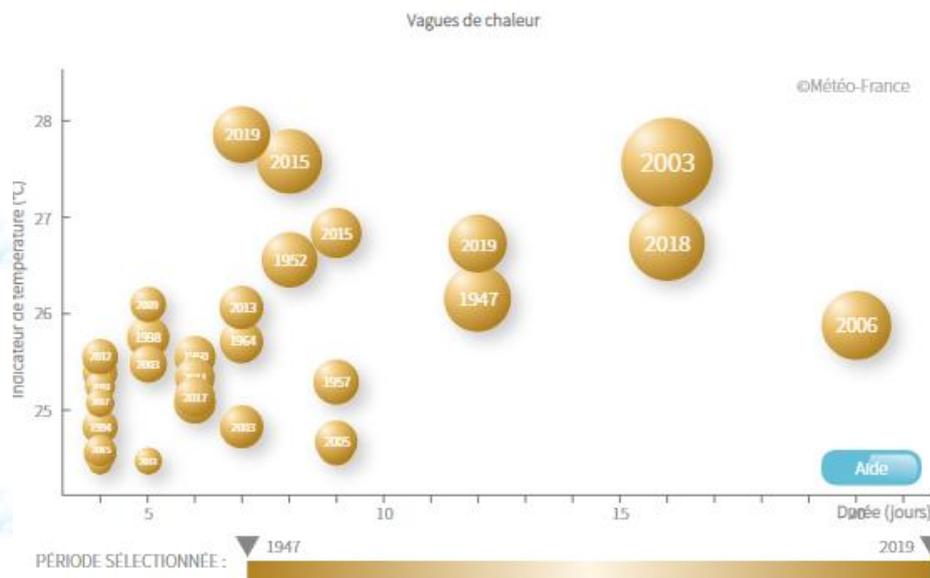
## Vagues de chaleur en Bourgogne-Franche-Comté

Les vagues de chaleur recensées depuis 1947 en Bourgogne-Franche-Comté ont été sensiblement plus nombreuses au cours des dernières décennies.

Cette évolution se matérialise aussi par l'occurrence d'événements souvent plus longs et plus sévères (taille des bulles) ces dernières années. Ainsi, les trois vagues de chaleur (en Bourgogne) et les 4 vagues de chaleur (en FC) les plus longues se sont produites après 1983.

La canicule observée en Bourgogne-Franche-Comté du 2 au 17 août 2003 est de loin la plus sévère survenue sur la région. C'est aussi durant cet épisode et lors de la canicule du 20 au 26 juillet 2019 qu'ont été observées les journées les plus chaudes depuis 1947.

### VAGUES DE CHALEURS OBSERVEES EN FRANCHE COMTE



#### A RETENIR

Depuis 1959 les températures moyennes saisonnières ont subi des hausses comprises entre 1,23 °C et 2,61 °C, variables selon la saison et la station étudiée. Les élévations de températures les plus importantes sont en été et au printemps.

L'analyse des données en Bourgogne-Franche-Comté met en évidence une évolution des températures moyennes estivales et printanières conforme à celle en France métropolitaine. En revanche, les tendances automnales et hivernales sont différentes du reste de la France où celles-ci ne sont pas significatives. Cela peut s'expliquer par la régionalisation des résultats. Les analyses sont très dépendantes de la période et de la zone d'étude, ce qui peut donc donner des résultats plus ou moins variables.



#### Pour en savoir plus

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



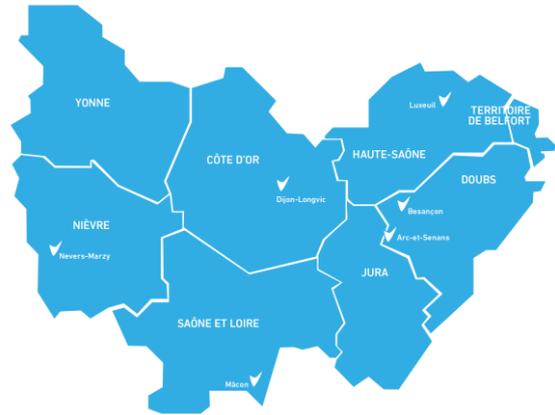
## Nombre de jours de gel par an

### 🔑 Nature et source des données

SH : séries quotidiennes de référence (Cf. lexique).  
Données fournies par Météo France

### 🌍 Indicateur 3

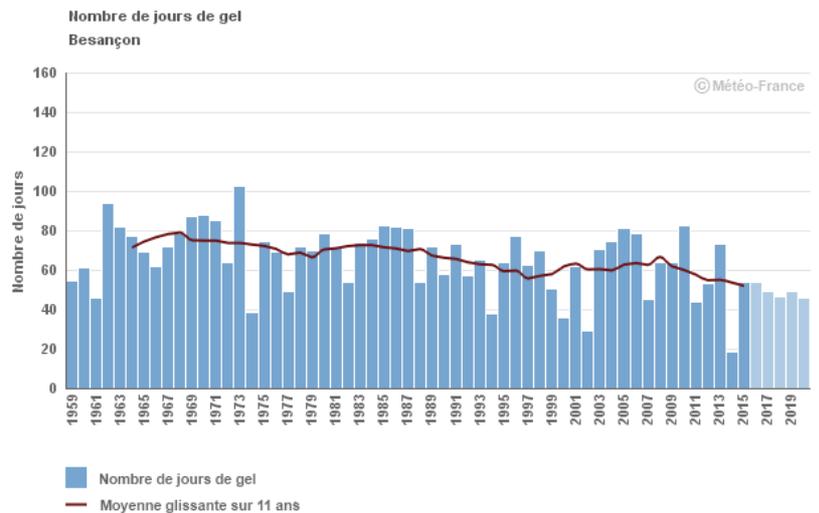
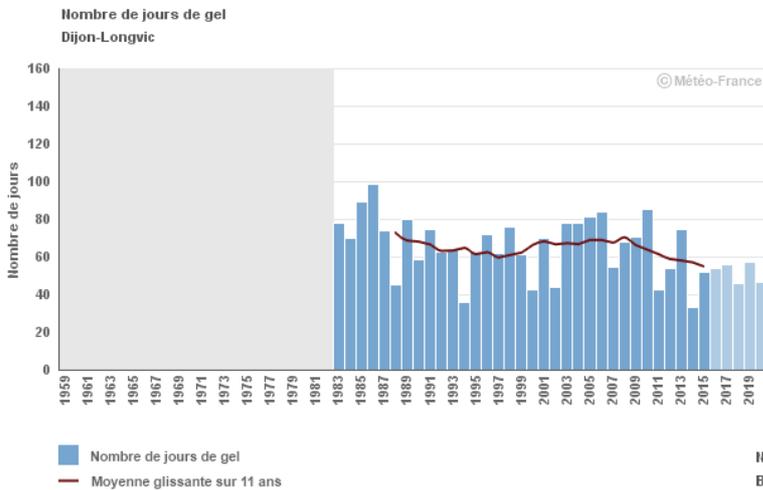
Dijon-Longvic (21) 1983-2015  
Nevers-Marzy (58) 1964-2014  
Mâcon (71) 1959-2015  
Arc et Senans (25) 1963-2015  
Besançon (25) 1959-2015  
Luxeuil (70) 1959-2015



### 📊 Calcul de l'indicateur 3

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

### 📈 Évolution observée



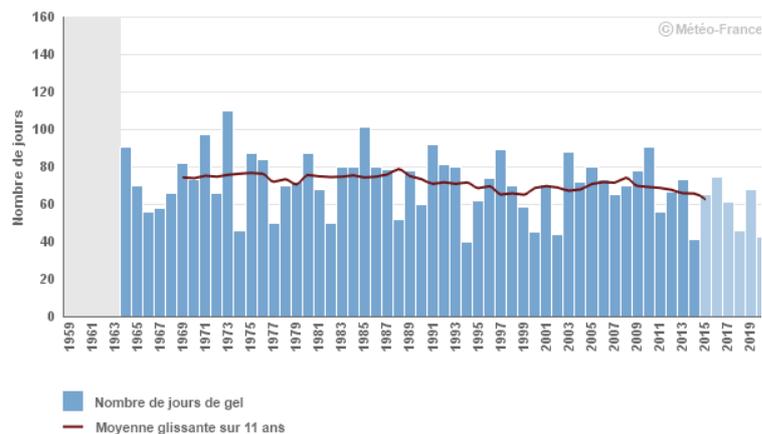
# 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



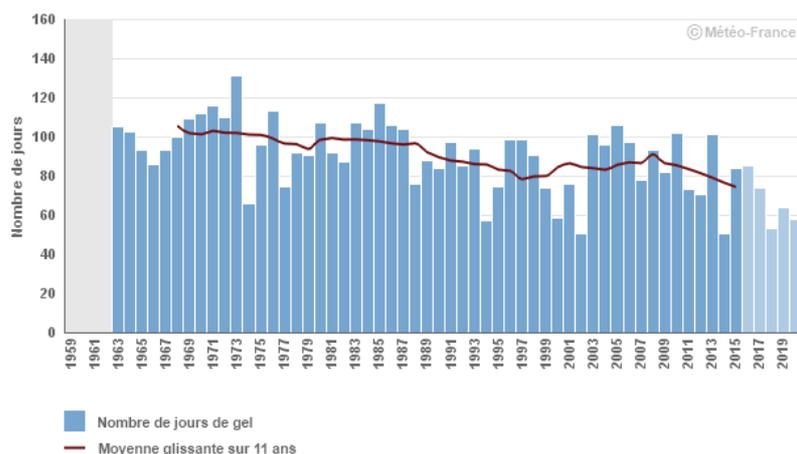
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## Nombre de jours de gel par an

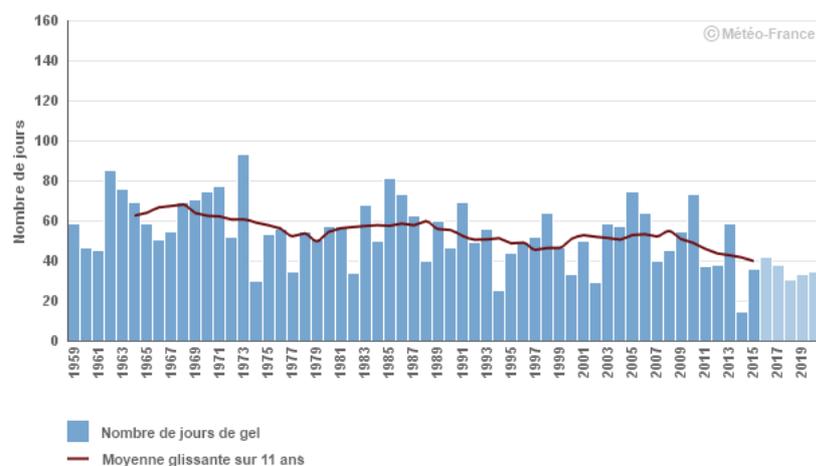
Nombre de jours de gel  
Nevers-Marzy



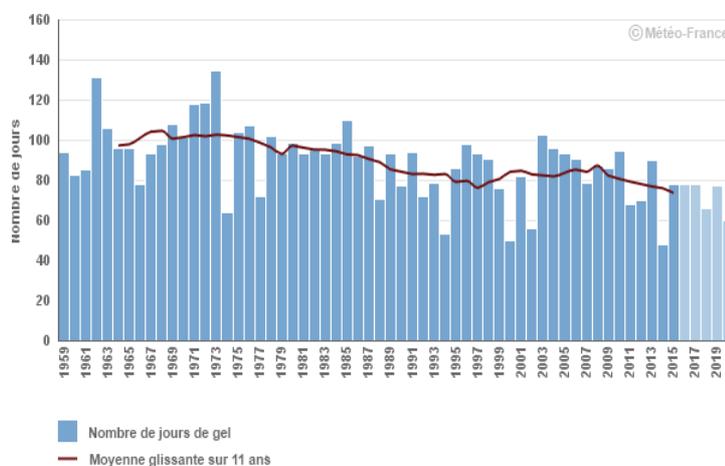
Nombre de jours de gel  
Arc-et-Senans



Nombre de jours de gel  
Mâcon



Nombre de jours de gel  
Luxeuil



### Analyse

L'évolution du nombre de jours de gel en Bourgogne-Franche-Comté depuis 1959 (ou 1963, 1964, 1983) pour chaque station d'étude montre que :

- Les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble des périodes (1959-2015 / 1983-2015 / 1963-2015 / 1964-2015 suivant les stations) sont de :
  - **4,9 j par décennie à Luxeuil** ( $P < 0,01$ ) soit environ - 28 j en 57 ans ;
  - **3,3 j par décennie à Besançon** ( $P < 0,01$ ) soit environ - 19 j en 57 ans ;
  - **4,8 j par décennie à Arc et Senans** ( $P < 0,01$ ) soit environ - 25 j en 53 ans ;
  - **3,5 j par décennie à Mâcon** ( $P < 0,01$ ) soit environ - 20 j en 57 ans ;
  - **5,7 j par décennie à Dijon-Longvic** ( $P < 0,01$ ) soit environ - 19 j en 33 ans ;
  - **2,5 j par décennie à Nevers-Marzy** ( $P < 0,05$ ) soit environ -12,5 j en 50 ans.



## Nombre de jours de gel par an

- Toutes les stations étudiées montrent une tendance significativement en baisse de ces jours de gel par an. Toutefois, deux points de vigilance sont à noter :
  - A Dijon, la série de données débute en 1983 (33 ans)
  - A Sens, la série n'étant pas continue (absence de données pendant 2 ans), la station n'a pas été retenue pour cet indicateur.
- L'ensemble de l'indicateur est marqué par une très forte variabilité interannuelle pour l'ensemble des stations étudiées ( $R^2 \text{ max} < 0,22$  à Luxeuil).

### A RETENIR

Au cours des 57 dernières années, le nombre annuel de jours de gel a décliné en Bourgogne-Franche-Comté d'environ 3,8 jours par décennie, l'année 2014 ayant été marquée par les minima (jours de gel le plus faible) observés depuis 1959.

On observe également que 7 à 8 années sur 10 avec le moins de jours de gel sont au XXI<sup>ème</sup> siècle (sauf pour Nevers – Marzy avec 5 années au XXI<sup>ème</sup> siècle sur les 10 années avec le moins de jours de gel). Ce qui confirme l'accélération du réchauffement pointée avec l'indicateur des températures moyennes annuelles.

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



### Pour en savoir plus

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

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

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



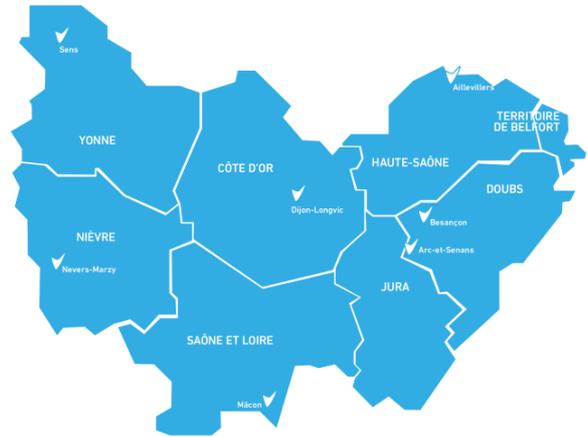
## Nombre de jours estivaux par an

### 🔑 Nature et source des données

SH : séries quotidiennes de référence (Cf. lexique).  
Données fournies par Météo France

### 📊 Indicateur 4

Dijon-Longvic (21) 1959-2015  
Nevers-Marzy (58) 1959-2014  
Mâcon (71) 1959-2015  
Arc et Senans (25) 1982-2015  
Sens (89) 1959-2014  
Besançon (25) 1959-2015  
Aillevillers (70) 1970-2015



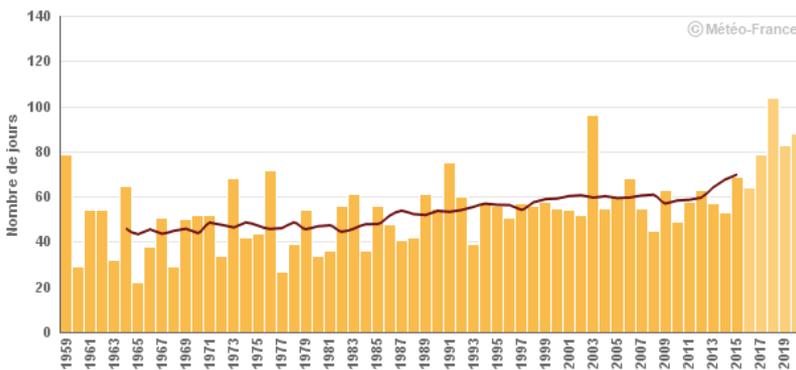
### 📅 Calcul de l'indicateur 4

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

Par coïncidence, le seuil retenu pour les jours estivaux se trouve être le même que celui correspondant au phénomène d'échaudage chez les céréales à paille ou à la baisse de production de lait chez les bovins.

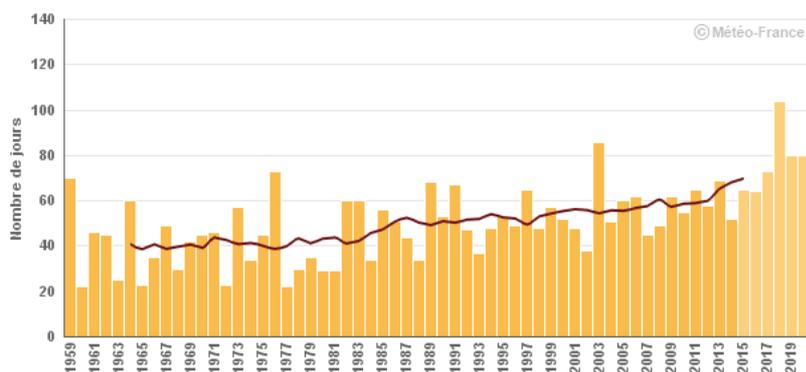
### 📈 Évolution observée

Nombre de journées chaudes  
Dijon-Longvic



Nombre de journées chaudes  
Moyenne glissante sur 11 ans

Nombre de journées chaudes  
Nevers-Marzy



Nombre de journées chaudes  
Moyenne glissante sur 11 ans

# 1

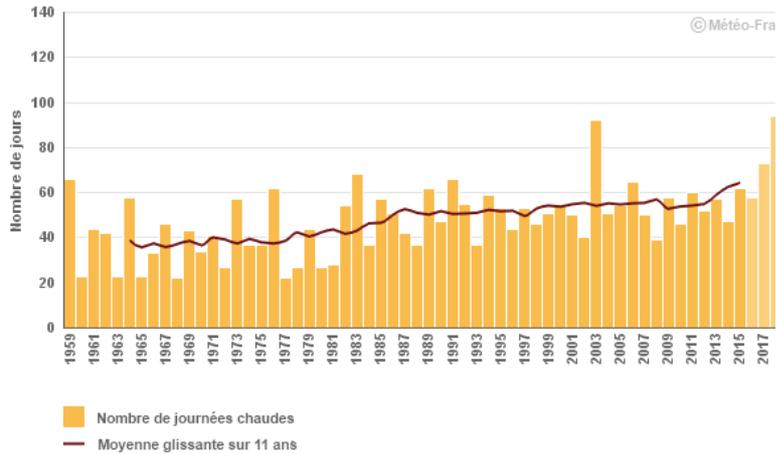
# CHANGEMENT CLIMATIQUE



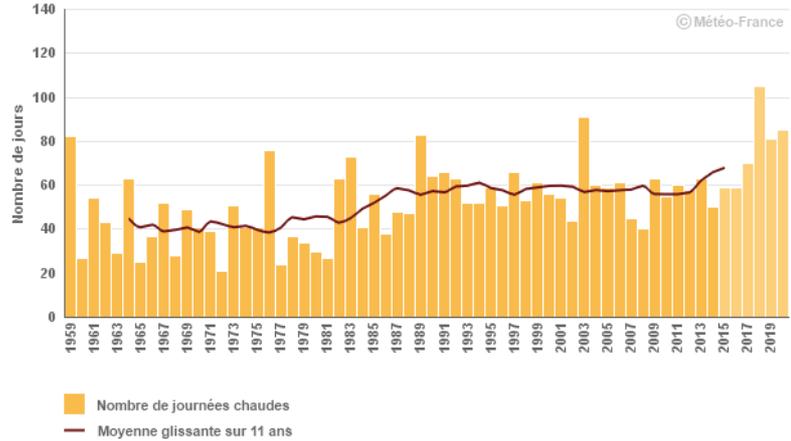
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## Nombre de jours estivaux par an

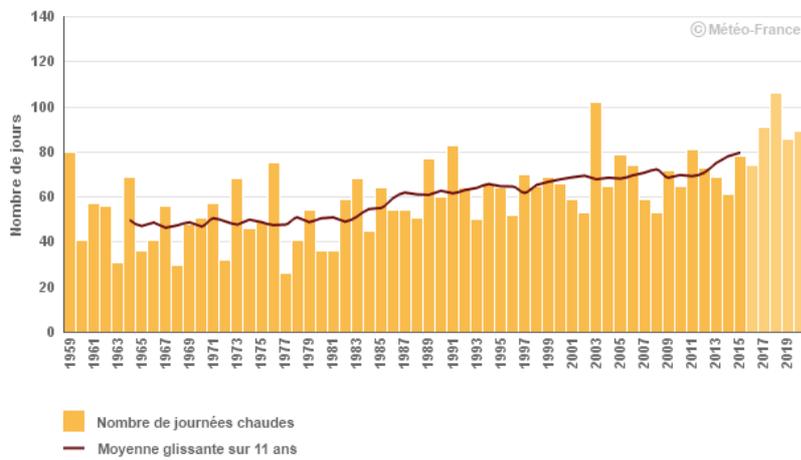
Nombre de journées chaudes  
Besançon



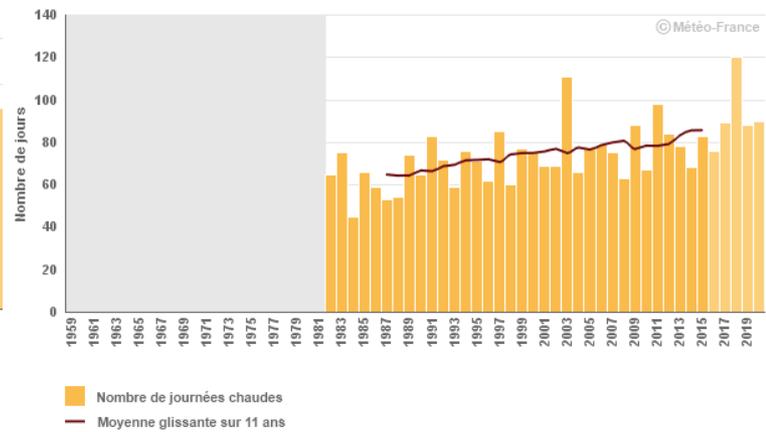
Nombre de journées chaudes  
Sens



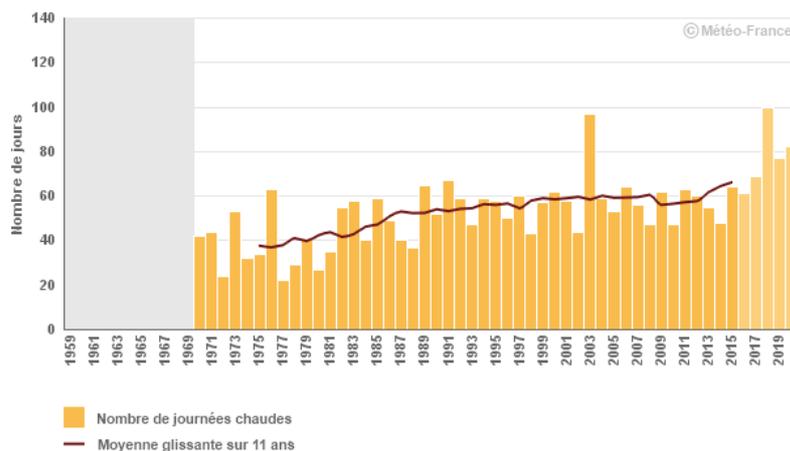
Nombre de journées chaudes  
Mâcon



Nombre de journées chaudes  
Arc-et-Senans



Nombre de journées chaudes  
Aillevillers





## Nombre de jours estivaux par an

### Analyse

Pour les quatre sites étudiés, on observe une nette augmentation du nombre annuel de jours estivaux. Cette augmentation est tout à fait cohérente avec l'augmentation des températures moyennes annuelles (cf. fiche "Température moyenne annuelle"). Les profils de cette augmentation sont relativement divers et l'importance relative du phénomène varie fortement.

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

**+ 3 j par décennie** (soit + 15 jours en 50 ans) à Dijon-Longvic ;  
**+ 3,66 j par décennie** (soit 18,3 j en 50 ans) à Sens  
**+ 3,88 j par décennie** (19,4 j en 50 ans) à Besançon  
**+ 4 j par décennie** (soit 20 jours en 50 ans) à Nevers-Marzy ;  
**+ 4,8 j par décennie** (soit 24 jours en 50 ans) à Mâcon ;  
**+ 5,5 j par décennie** (soit 27,3 jours 50 ans) à Aillevillers.  
**+ 6,4 j par décennie** (soit 32 jours en 50 ans) à Arc et Senans

La variabilité interannuelle est dite d'importante à très importante ( $0,1 < r^2 < 0,3$ ).

Pour l'agriculture régionale, cette augmentation des jours estivaux renvoie potentiellement à trois types de conséquences :

- des risques de stress thermique et plus spécifiquement d'échaudage au printemps et en été ;
- à l'automne, l'augmentation du nombre de jours chauds affecte la viticulture ; lors des vendanges, une température élevée des raisins peut favoriser une fermentation non désirée une fois le raisin en cuve ;
- le nombre de jours par an à forte évapotranspiration s'accroît en raison de la relation étroite entre température et évapotranspiration potentielle : la menace du stress hydrique se combine au stress thermique.

### A RETENIR

Le nombre de jours estivaux par an a nettement augmenté en Bourgogne-Franche-Comté au cours des 50 dernières années : de 3 à 6,4 jours par décennie pour les sites étudiés. Les incidences de ces jours estivaux sur l'agriculture régionale sont multiples et nécessitent un examen détaillé de la répartition intra annuelle des augmentations observées.



## Cumul annuel des précipitations

### 🔑 Nature et source des données

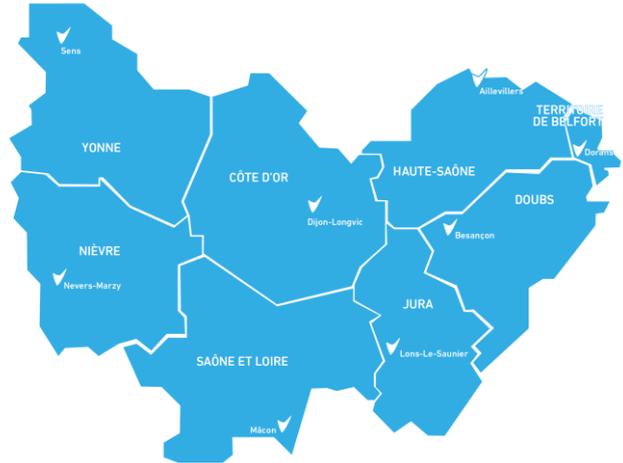
SH : série homogénéisée  
Données fournies par Météo France

### 🕒 Indicateur 5

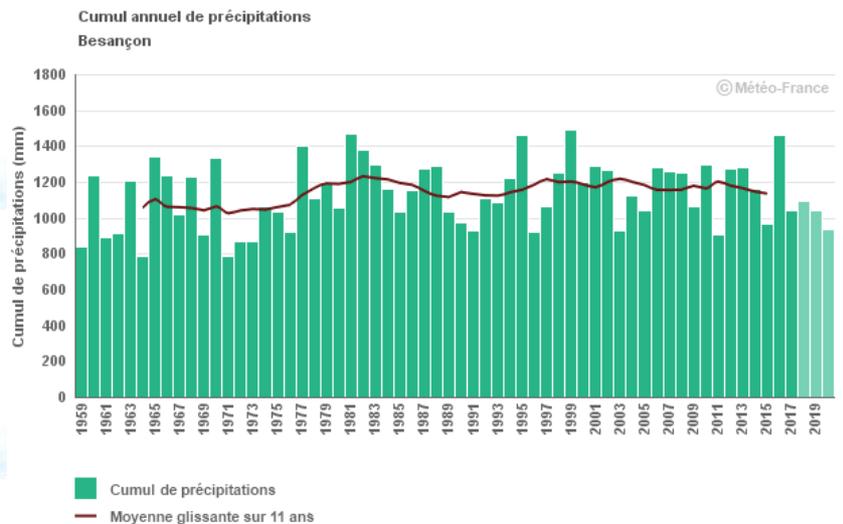
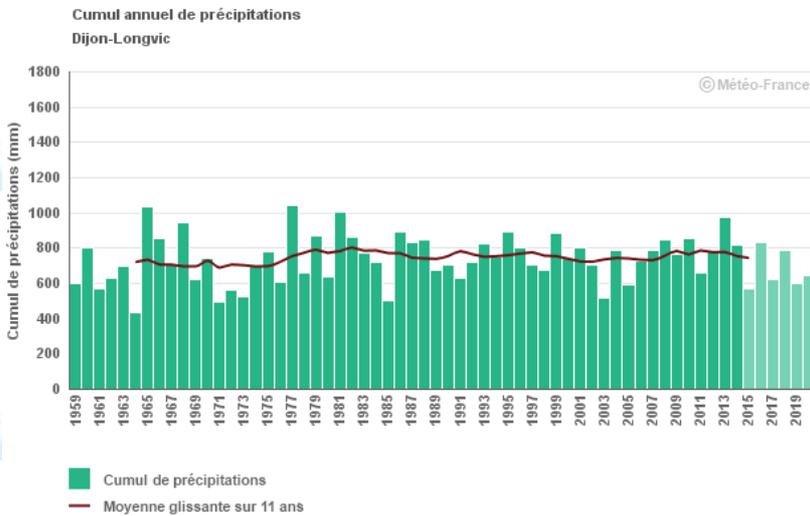
Dijon-Longvic (21) 1959-2014  
Nevers-Marzy (58) 1959-2014  
Mâcon (71) 1959-2014  
Lons le Saunier (39) 1959-2017  
Sens (89) 1959-2000  
Besançon (25) 1959-2017  
Aillevillers (70) 1969-2017  
Dorans (90) 1959-2018

### 🧮 Calcul de l'indicateur 5

Cumul sur l'année des précipitations journalières



### 📈 Évolution observée



# 1

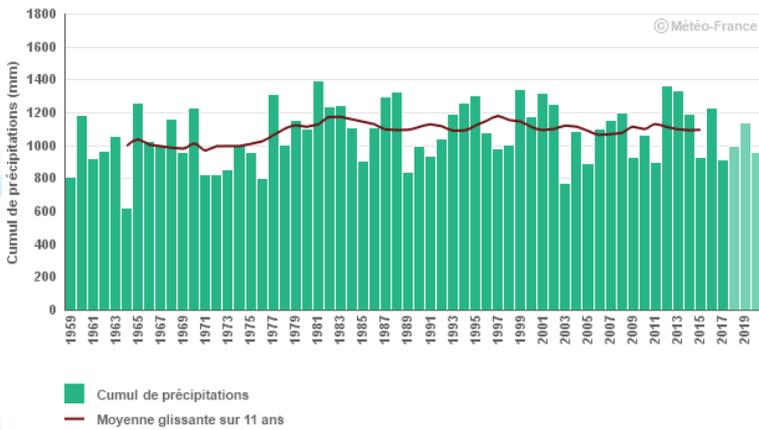
# CHANGEMENT CLIMATIQUE



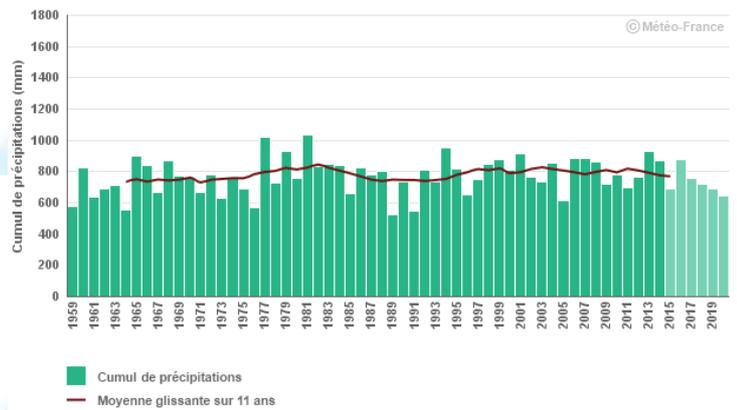
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## Cumul annuel des précipitations

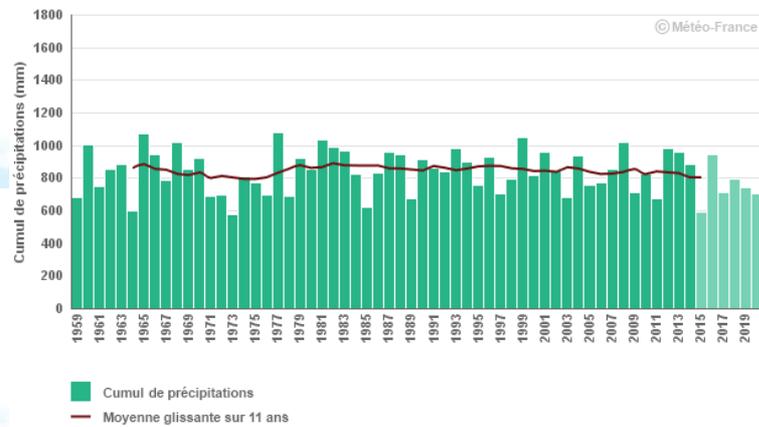
Cumul annuel de précipitations  
Lons-le-Saunier



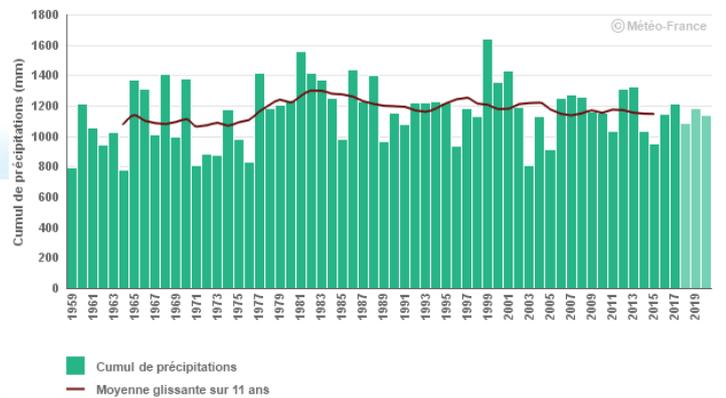
Cumul annuel de précipitations  
Nevers-Marzy



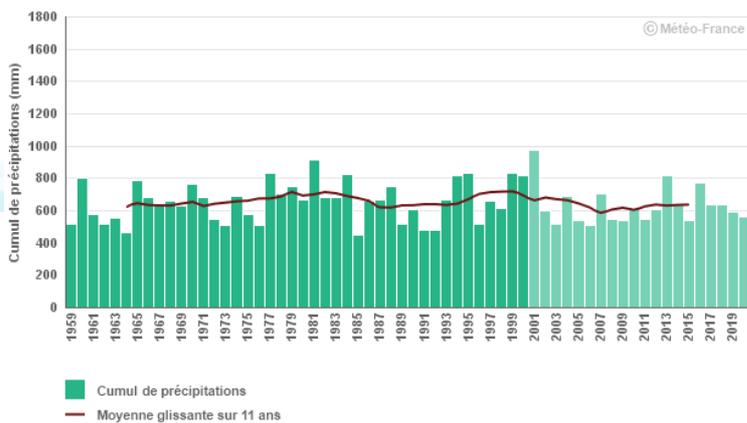
Cumul annuel de précipitations  
Mâcon



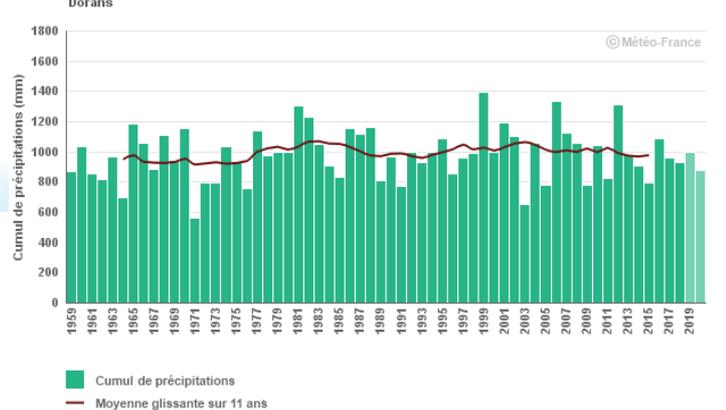
Cumul annuel de précipitations  
Aillevillers



Cumul annuel de précipitations  
Sens



Cumul annuel de précipitations  
Dorans





## Cumul annuel des précipitations

### Analyse

L'évolution du cumul annuel des précipitations en Bourgogne-Franche-Comté depuis 1959 pour chaque station d'étude montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble des périodes (1959-2014 / 1959-2000 et 1959-2017) sont de :

- + 16,5 mm par décennie à **Dijon-Longvic** (NS);
- + 17,4 mm par décennie à **Nevers-Marzy** ( $P < 0,05$ ) soit environ +97,44 mm en 56 ans;
- + 5,0 mm par décennie à **Mâcon** (NS);
- + 24,6 mm par décennie à **Lons-le-Saunier** ( $P < 0,05$ ) soit environ + 145 mm en 59 ans;
- + 18,9 mm par décennie à **Sens** (NS) ;
- + 28,0 mm par décennie à **Besançon** ( $P < 0,01$ ) soit environ + 165,32 mm en 59 ans ;
- + 19,6 mm par décennie à **Aillevillers** (NS)
- + 13,1 mm par décennie à **Dorans** (NS)

- Les tendances observées pour le cumul annuel des précipitations sont en augmentation significative pour Nevers-Marzy, Lons le Saunier et Besançon, et non significatives à Dijon, Mâcon, Sens et Aillevillers. Ces évolutions montrent l'absence de tendance générale à l'accroissement en Bourgogne-Franche-Comté et l'hétérogénéité spatiale pour cet indicateur.
- De très fortes variations de précipitations d'une année à l'autre sont présentes ( $R^2 < 0,1$ ) pour l'ensemble des stations.

### A RETENIR

En région Bourgogne-Franche-Comté, le cumul annuel des précipitations montre une légère tendance à l'augmentation des pluies. Ce signal est cependant faiblement établi. En outre, le fait de considérer des moyennes annuelles peut masquer des tendances différentes pour chacune des saisons, d'où l'importance d'étudier également l'évolution des précipitations saisonnières.



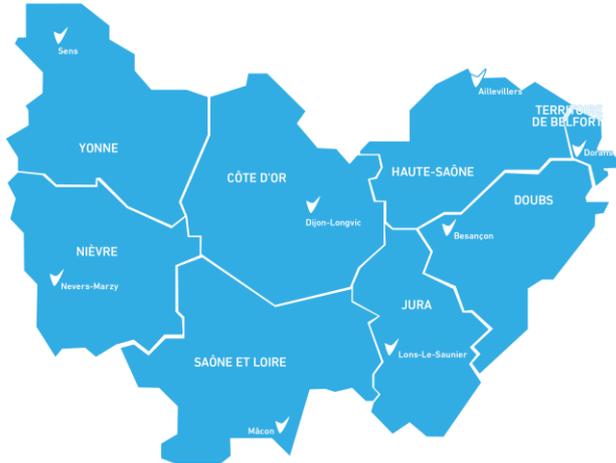
## Cumul saisonnier des précipitations

### 🔑 Nature et source des données

SH : série homogénéisée  
Données fournies par Météo France

### 🕒 Indicateur 6

Dijon-Longvic (21) 1959-2014  
Nevers-Marzy (58) 1959-2014  
Mâcon (71) 1959-2014  
Lons-le-Saunier (39) 1959-2017  
Sens (89) 1959-2000  
Besançon (25) 1959-2017  
Aillevillers (70) 1969-2017  
Dorans (90) 1959-2018

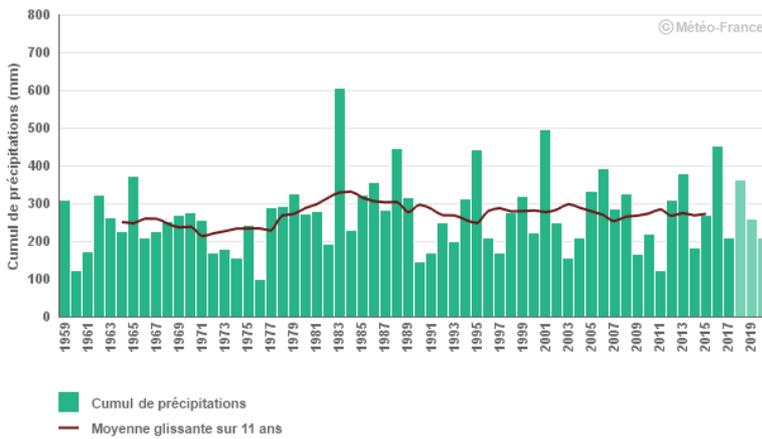


### 📊 Calcul de l'indicateur 6

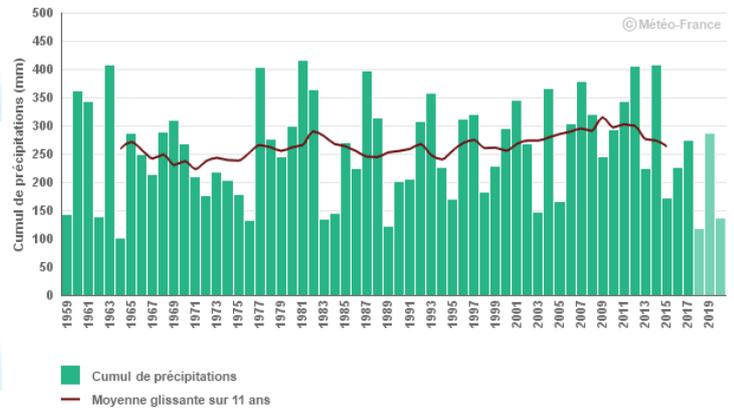
Cumul sur 3 mois des précipitations journalières : Décembre à février, Mars à Mai, Juin à Août, Septembre à Novembre.

## 📈 Évolution observée – Exemple de la station de Lons Le Saunier

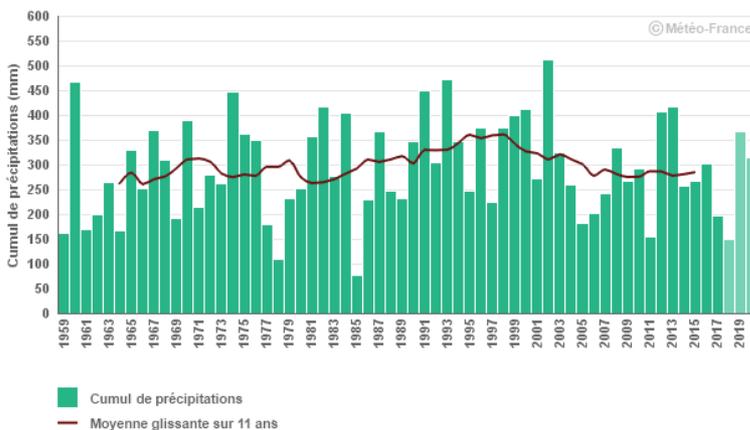
Cumul printanier de précipitations  
Lons-le-Saunier



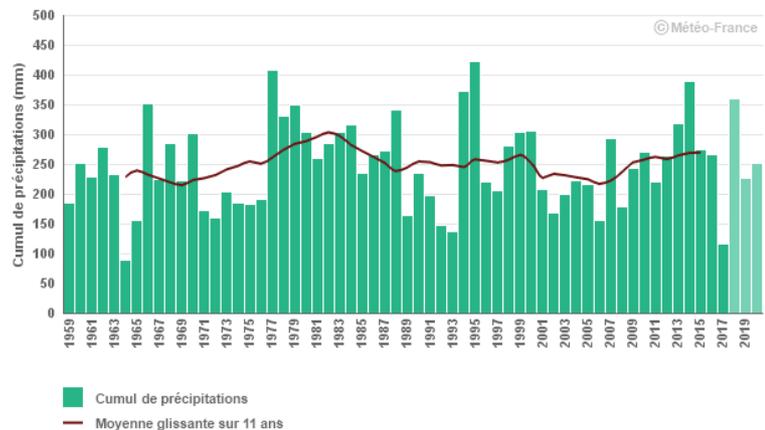
Cumul estival de précipitations  
Lons-le-Saunier



Cumul automnal de précipitations  
Lons-le-Saunier



Cumul hivernal de précipitations  
Lons-le-Saunier





## Cumul saisonnier des précipitations

### Analyse

L'évolution du cumul saisonnier des précipitations à Lons Le Saunier depuis 1959 montre que :

- les tendances (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1971-2015) sont de :

**+ 2,86 mm par décennie en hiver (NS);**  
**+ 7,39 mm par décennie au printemps (NS);**  
**+ 7,82 mm par décennie en été (NS);**  
**+ 5,89 mm par décennie en automne (NS);**

- l'accroissement des précipitations est non significatif pour toutes les saisons ;
- les variations interannuelles des précipitations au cours des saisons sont dites d'importantes à très importantes ( $0,1 < R^2 < 0,3$ ).

Les résultats de l'analyse des précipitations saisonnières des autres stations sont présentés dans le tableau suivant (cf. Tableau III).

### Analyse

	Décembre – janvier – février (Hiver)		Mars-Avril-Mai (Printemps)		Juin – Juillet – Août (Eté)		Sept-octobre – nov (Automne)	
	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
<b>Dijon-Longvic</b>	- 1,08	NS	2,07	NS	0,86	0,1	6,39	NS
<b>Besançon</b>	4,73	NS	4,96	NS	10,17	0,1	7,26	NS
<b>Nevers Marzy</b>	2,75	NS	0,78	NS	6,98	NS	5,88	NS
<b>Aillevillers</b>	1,79	NS	2,87	NS	5,01	NS	8,97	NS
<b>Mâcon</b>	- 3,80	NS	- 1,36	NS	5,69	NS	4,39	NS
<b>Sens</b>	2,5	NS	2,16	NS	- 3,08	NS	11,43	0,1
<b>Dorans</b>	1,80	NS	2,87	NS	3,45	NS	4,18	NS

Tableau III : Evolution des précipitations saisonnières sur les 6 autres stations étudiées

Sur les différentes périodes d'observation avec des données homogénéisées, les tendances observées diffèrent relativement peu suivant les saisons considérées sauf pour l'été à Besançon et l'automne à Sens.

Selon les sites, la tendance modérée à la hausse varie de l'ordre de + 0,78 mm à +11,43 mm par décennie.

Pour la majorité des sites, le printemps et l'hiver présentent les évolutions les plus faibles.

L'évolution observée du cumul annuel des précipitations (cf. fiche "Cumul annuel de précipitations") est la résultante de ces tendances saisonnières globalement à la hausse.

On rappelle ici qu'il s'agit de cumuls trimestriels de précipitations qui, par conséquent, ne décrivent en rien les "modalités" de ces précipitations (nombre d'épisodes pluvieux, intensité, nombre de jours consécutifs sans pluie, etc.).

Ces résultats restent cohérents avec les observations à plus large échelle en France métropolitaine, où il ne se dégage pas de tendance forte contrairement aux indicateurs de température.



## Cumul saisonnier des précipitations

### A RETENIR

Entre 1959 et 2017, toutes les saisons ne montrent pas de tendance significative à l'augmentation ou à la baisse des précipitations.

L'évolution tendancielle des précipitations trimestrielles conforte les observations de cumuls annuels. Il n'y a pas de mise en évidence d'évolution marquée de cet indicateur.

L'évolution est très faible au regard des variations interannuelles.



### 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.

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

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



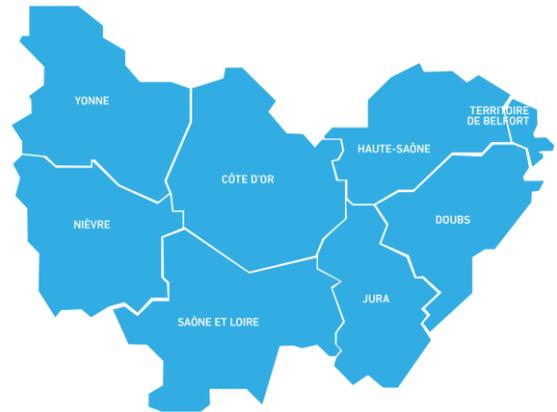
## Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### 🔑 Nature et source des données

Chaîne de calcul SIM (Cf. lexique). Indicateur spatialisé rapporté au territoire de chaque département. Données fournies par Météo France.

### 🕒 Indicateur (1959-2019)

Département de Côte d'Or  
 Département du Doubs  
 Département du Jura  
 Département de la Nièvre  
 Département de Saône et Loire  
 Département de l'Yonne  
 Département de Haute Saône  
 Département du Territoire de Belfort



### 📊 Calcul de l'indicateur

**Rappel** : l'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité maximale d'eau évaporée par le sol et transpirée par les plantes dans des conditions climatiques données et lorsque la disponibilité d'eau n'est pas limitante.

Au moyen de la chaîne de modélisation SIM, les bilans d'eau et d'énergie au niveau du sol sont calculés jour par jour en chaque point d'une grille de 8 km de côté couvrant le territoire régional. Ceci fournit les évapotranspirations potentielles journalières en chacun de ces points.

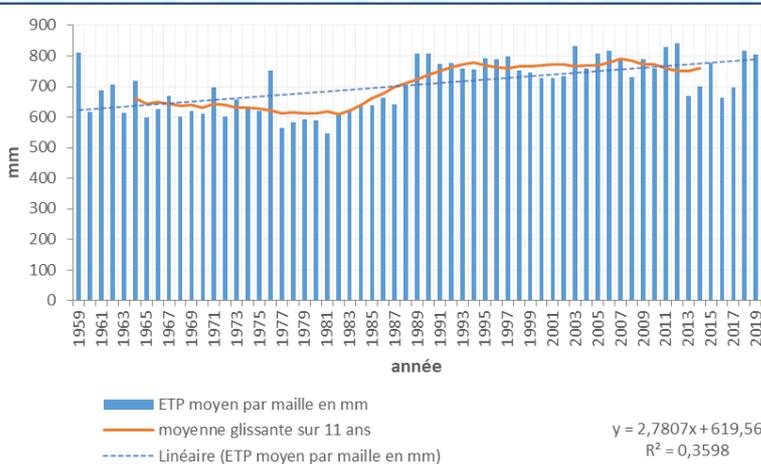
Ensuite, l'évapotranspiration potentielle en chacun de ces points est cumulée sur l'année : on obtient l'évapotranspiration potentielle annuelle par point.

En dernier lieu, dans chaque département, la moyenne des évapotranspirations potentielles annuelles de tous les points du département est calculée pour délivrer l'évapotranspiration potentielle annuelle départementale.

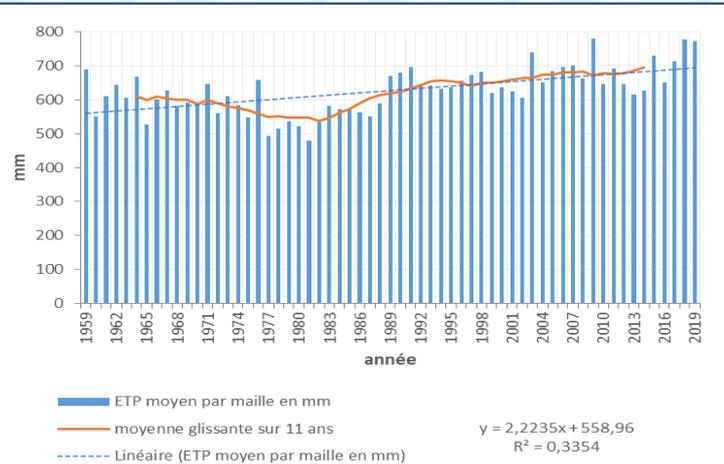
Pour finir, cette opération est répétée pour chaque année de 1959 à 2019.

### 📈 Évolution observée

Département de l'Yonne



Département du Territoire de Belfort



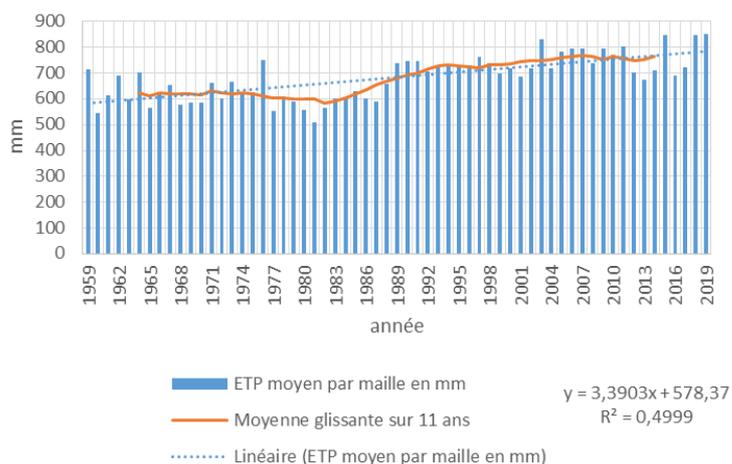
# 1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



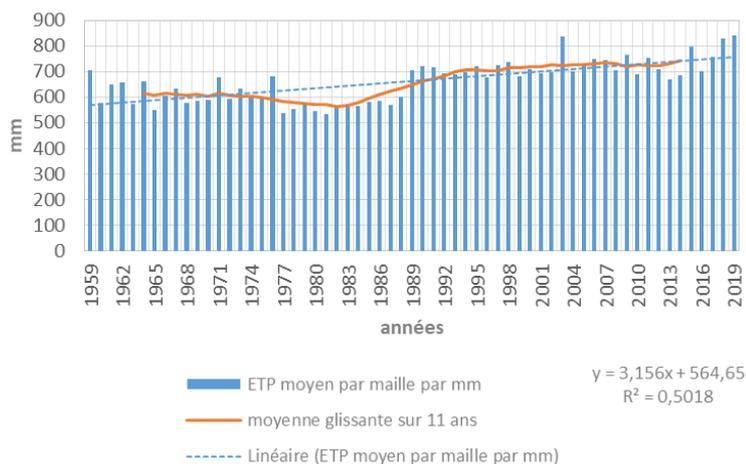
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

## Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

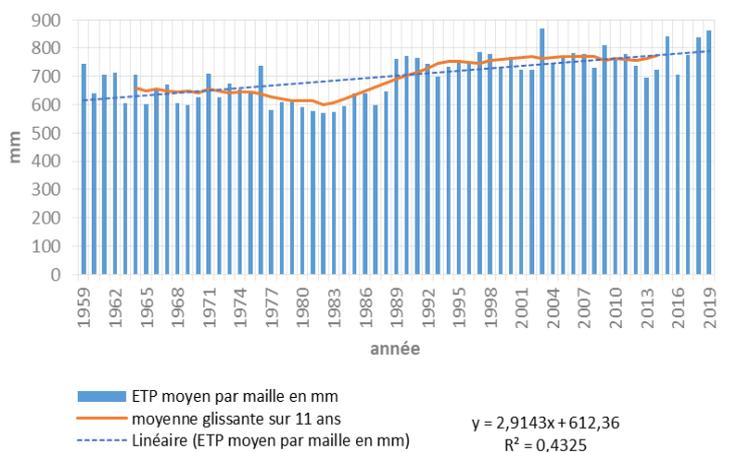
Département de Côte d'Or



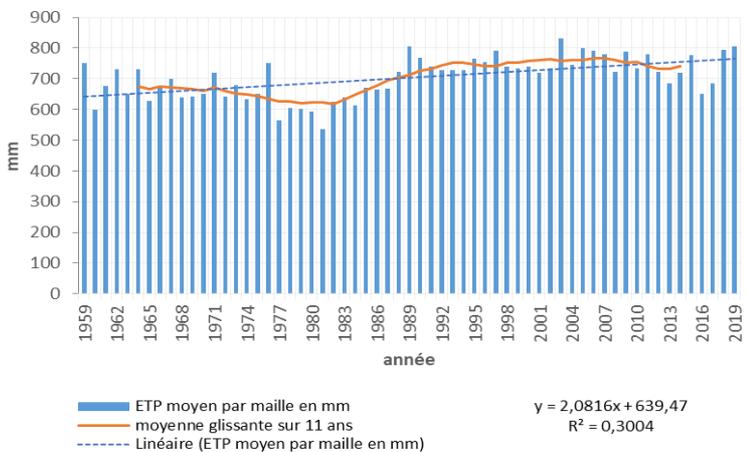
Département du Doubs



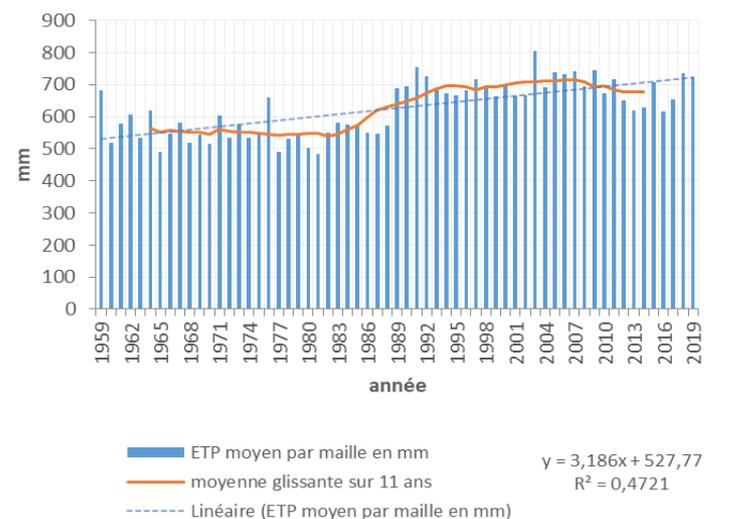
Département du Jura



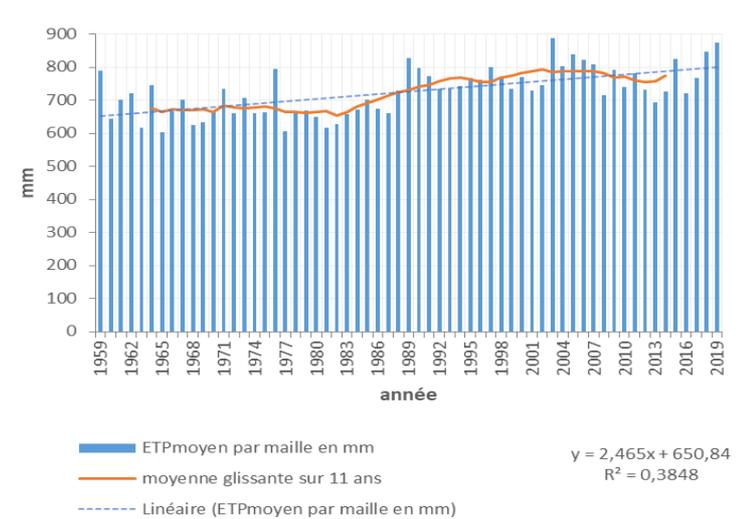
Département de la Nièvre



Département de Haute Saône



Département de Saône et Loire





## Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle (ETP)

### Analyse

L'évolution du cumul annuel des évapotranspirations potentielles en région Bourgogne-Franche-Comté depuis 1959 montre que les tendances linéaires sont de :

- + 33,9 mm par décennie**, soit + 206,79 mm en 61 ans en Côte d'Or
- + 31,56 mm par décennie**, soit + 192,52 mm en 61 ans dans le Doubs
- + 29,14 mm par décennie**, soit + 177,75 mm en 61 ans dans le Jura
- + 20,81 mm par décennie**, soit + 126,94 mm en 61 ans dans la Nièvre
- + 31,85 mm par décennie**, soit + 194,29 mm en 61 ans en Haute Saône
- + 24,65 mm par décennie**, soit + 150,37 mm en 61 ans en Saône et Loire
- + 27,8 mm par décennie**, soit + 169,58 mm en 61 ans dans l'Yonne
- + 22,23 mm par décennie**, soit + 135,60 mm en 61 ans dans le Territoire de Belfort

Cette tendance est très hautement significative car  $P < 0,001$  (soit 99,99 % de chance que la tendance ne soit pas due au hasard).

- Il existe des variations interannuelles importantes ( $0,30 < R^2 < 0,50$ ).
- 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. Pour cela, il faudrait analyser le cumul saisonnier d'ETP (à voir dans l'édition n°2 du livret ORACLE).

La comparaison des départements entre eux est à manier avec précaution compte tenu des hypothèses (sols notamment) propres à la chaîne de calcul SIM. Les départements de Côte d'Or, du Doubs et de la Haute Saône présentent une augmentation de l'évapotranspiration très légèrement supérieure aux autres départements (entre 194 et 206 mm sur la période observée).

Dans les huit départements, la moyenne glissante semble mettre en évidence un accroissement plus marqué de l'évapotranspiration au milieu de la période considérée, vers les années 1980.

L'augmentation des évapotranspirations potentielles départementales 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. Pour cela, une étude par saison et/ou par mois reste à effectuer.

À précipitations inchangées, cet accroissement de l'évapotranspiration potentielle doit être compris comme un durcissement des conditions hydriques pour la végétation (naturelle ou cultivée) par augmentation de la « demande » atmosphérique en eau. Ceci posé, la caractérisation de l'état hydrique des cultures sur cette période d'étude nécessite le calcul de l'évapotranspiration réelle des plantes durant les cycles culturaux. Un tel calcul, qui nécessite un paramétrage fin (durée des cycles, coefficients culturaux, réserve utile des sols), constitue un prolongement possible de la présente fiche.

### A RETENIR

Depuis 1959, en Bourgogne-Franche-Comté, l'évapotranspiration potentielle annuelle a augmenté dans les 8 départements d'une valeur comprise entre + 20,81 et + 33,9 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.

L'augmentation de l'évapotranspiration potentielle annuelle est marquée à partir de la fin des années 1980, ce qui est concomitant avec l'augmentation plus rapide de la température.

# 2 AGROCLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Nombre de jours chauds $\geq 27^\circ\text{C}$ du 01/05 au 31/10 – Pousse de l'herbe

### 🔑 Nature et source des données

Série quotidiennes fournies par Météo France

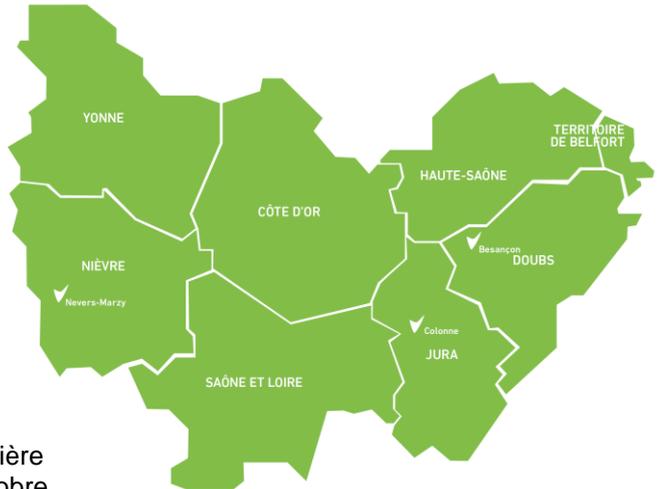


### Indicateur 1

Besançon (25) 1959-2015

Colonne (39) 1987-2015

Nevers-Marzy (58) 1959-2014



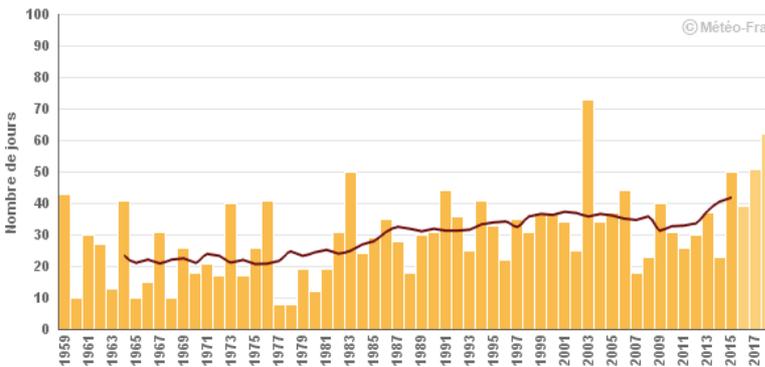
### Calcul de l'indicateur

Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à  $27^\circ\text{C}$  du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre.



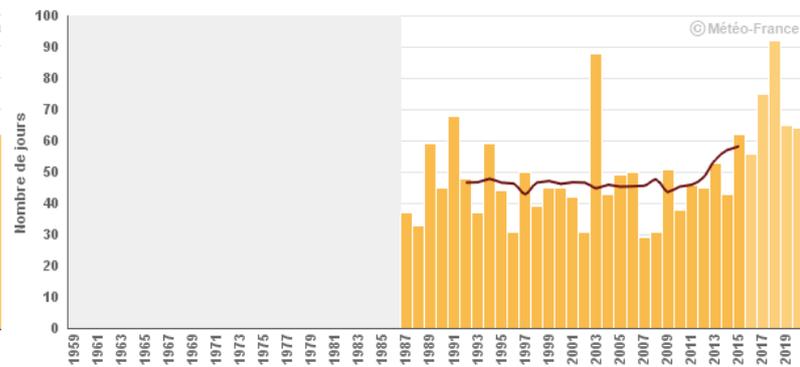
### Évolution observée

Nombre de jours où la température maximale journalière  $\geq 27^\circ\text{C}$  du 1er mai au 31 octobre  
Besançon



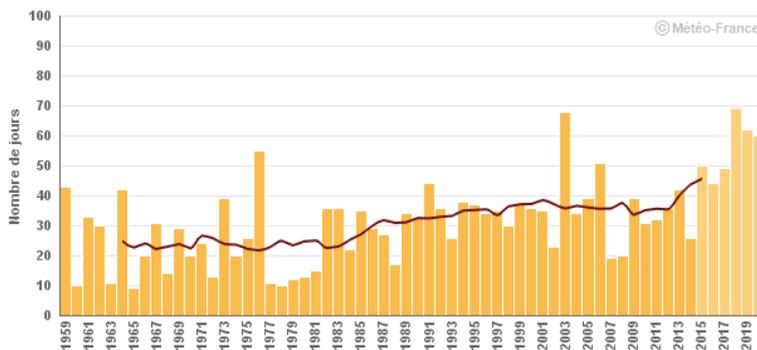
■ Nombre de jours où  $T_x \geq 27^\circ\text{C}$  du 1er mai au 31 octobre  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Nombre de jours où la température maximale journalière  $\geq 27^\circ\text{C}$  du 1er mai au 31 octobre  
Colonne



■ Nombre de jours où  $T_x \geq 27^\circ\text{C}$  du 1er mai au 31 octobre  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Nombre de jours où la température maximale journalière  $\geq 27^\circ\text{C}$  du 1er mai au 31 octobre  
Nevers-Marzy



■ Nombre de jours où  $T_x \geq 27^\circ\text{C}$  du 1er mai au 31 octobre  
— Moyenne glissante sur 11 ans



## Nombre de jour chaud $\geq 27^{\circ}\text{C}$ du 01/05 au 31/10 – Pousse de l'herbe

### Analyse

L'évolution du nombre de jours  $\geq 27^{\circ}\text{C}$  du 01/05 au 31/10 montre que les tendances (ajustement linéaire) observées sur l'ensemble de la période sont de :

Dépt	Stations	1 <sup>ère</sup> année disponible	Nb d'années analysées	Evolution/10 ans	Evolution/30 ans	Force de la tendance
25	Besançon	1959	57	+ 2,9	+ 8,7	0,0001
39	Colonne	1987	28	+ 0,5	+ 1,5	NS
58	Marzy-Nevers	1959	56	+ 2,8	+ 8,3	0,0001

Nous pouvons noter que les résultats sur la station de Colonne ne sont pas significatifs, période de relevés uniquement sur 28 années.

Pour les autres stations, on constate au cours de la période observée une augmentation marquée du nombre de jours où la température atteint ou dépasse  $27^{\circ}\text{C}$  entre les mois de mai et octobre, ainsi que de très fortes variations inter annuelles dans le nombre de jours ( $R^2$  moyen = 0,15).

Ces jours chauds impactent négativement la croissance de l'herbe, indépendamment du contexte hydrique. Le pâturage de l'herbe durant l'été s'en trouve limité, ce qui peut être compensé par la constitution de stocks en sortie d'hiver permise par le démarrage plus précoce de la végétation. Cette évolution se traduit par un ralentissement de la pousse de l'herbe (conditions hydriques mises à part) et par un inconfort accru des bovins, affectant la production laitière. Le décalage de la période de gestation peut également être envisagé pour profiter du radoucissement des automnes.

#### A RETENIR

Le nombre de jours chauds a augmenté sur chacune des stations entre 1959 et 2015. En tendance, cela correspond à +1,5 jours à Colonne (gain le plus faible) et + 8,7 jours à Besançon en 57 ans (gain le plus fort).

# 2 AGROCLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Nombre de jours chauds $\geq 30^{\circ}\text{C}$ du 01/05 au 15/09 – Remplissage des grains

### 🔑 Nature et source des données

SH : série homogénéisée  
Données fournies par Météo France

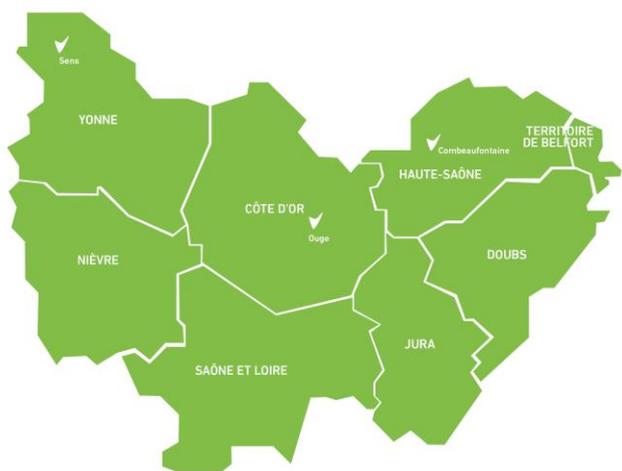
### 🕒 Indicateur 2

Combeau Fontaine (70) 1975 -2015  
Ouge (21) 1959-2015  
Sens (89) 1959-2014

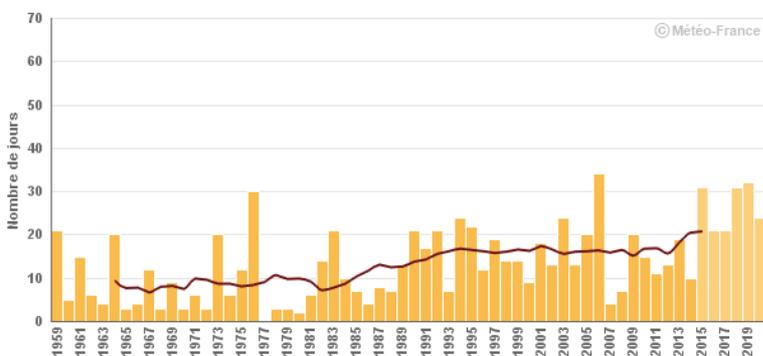
### 📊 Calcul de l'indicateur

Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à  $30^{\circ}\text{C}$  du 1<sup>er</sup> mai au 15 septembre.

### 📈 Évolution observée

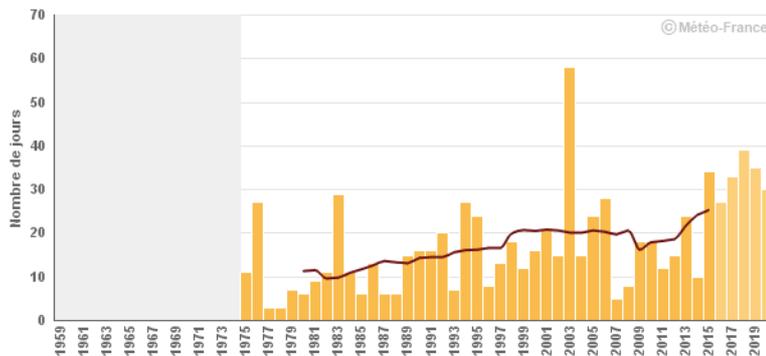


Nombre de jours où la température maximale journalière  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  du 1er mai au 15 septembre  
Sens



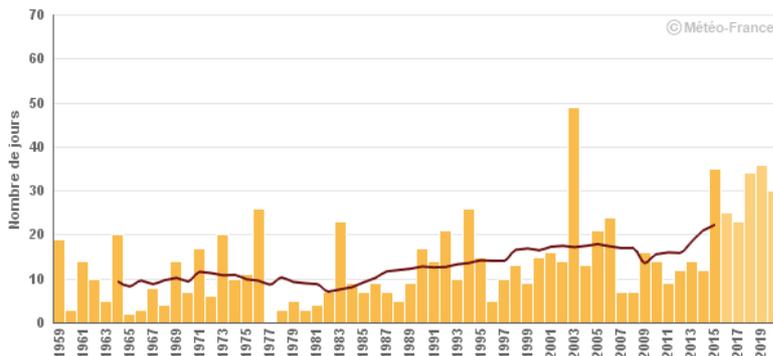
■ Nombre de jours où  $T_x \geq 30^{\circ}\text{C}$  du 1er mai au 15 septembre  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Nombre de jours où la température maximale journalière  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  du 1er mai au 15 septembre  
Combeaufontaine

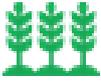


■ Nombre de jours où  $T_x \geq 30^{\circ}\text{C}$  du 1er mai au 15 septembre  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Nombre de jours où la température maximale journalière  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  du 1er mai au 15 septembre  
Dijon-Longvic



■ Nombre de jours où  $T_x \geq 30^{\circ}\text{C}$  du 1er mai au 15 septembre  
— Moyenne glissante sur 11 ans



## Nombre de jours chauds $\geq 30^{\circ}\text{C}$ du 01/05 au 15/09 – Remplissage des grains



Les températures élevées, si elles se situent pendant le remplissage des grains, ont des répercussions physiologiques (concurrence entre photosynthèse et photorespiration, accroissement de la respiration nocturne, fermeture stomatique) appelées « échaudage thermique », qui pénalisent le rendement. Ce phénomène existe, en particulier chez le blé. Pour les céréales à paille, on considère que ces mécanismes préjudiciables à la production se manifestent à partir de  $25^{\circ}\text{C}$  (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 qui permettra d'esquiver partiellement ces jours échaudants supplémentaires, atténuant ainsi en partie les effets négatifs sur le rendement. Deux voies d'adaptation apparaissent alors : l'avancement des dates de semis et l'amélioration variétale orientée vers le raccourcissement des cycles et la tolérance aux températures élevées.

### A RETENIR

Au cours des 57 dernières années, le nombre moyen de jours échaudants entre le 01/05 et le 31/10 (durée de 184 jours) :

- est passé, en moyenne sur des périodes de 20 ans, **de 9,85 jours** dans les années « 1970 » à **11,15 jours** dans les années « 1990 », puis à **17,38 jours** dans les années « 2010 », à **Ouge**
- est passé, en moyenne sur des périodes de 20 ans, **de 8,85 jours** dans les années « 1970 » à **13,15 jours** dans les années « 1990 », puis à **15,33 jours** dans les années « 2010 », à **Sens**.

Le nombre de jours supérieur à  $30^{\circ}\text{C}$  sur cette période a presque doublé en 57 ans.

L'évolution tendancielle constatée (ajustement linéaire) sur l'ensemble de la période étudiée est de :

- **Combeau Fontaine**, période 1975 -2015, **+ 2,87 jours / décennie**
- **Ouge**, période 1959-2015, **+ 1,69 jours / décennie**
- **Sens**, période 1959-2014, **+ 1,29 jours / 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 échaudants observée est inquiétante. L'augmentation de ce stress thermique serait la cause principale de la stagnation du rendement en blé depuis les années 2000 (Gate & Goache, 2010).



### Pour en savoir plus

GATE F., GOUACHE D. ; 2010 – séance du 5 mai. « Les Causes du plafonnement du rendement du blé en France : d'abord une origine climatique ». Académie d'Agriculture de France.

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.

# 2 AGROCLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Nombre de jours de gel de printemps

### 🔑 Nature et source des données

Données fournies par Météo France  
Mâcon (71) 1959-2015  
Aillevillers (70) 1985-2015  
Dole (39) 1989-2015

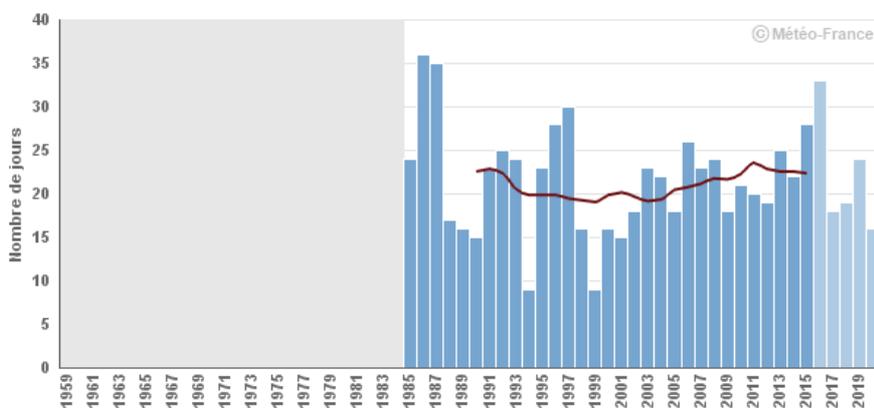
### 📊 Calcul de l'indicateur 3

Nombre de jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0 °C du 1<sup>er</sup> mars au 31 mai.



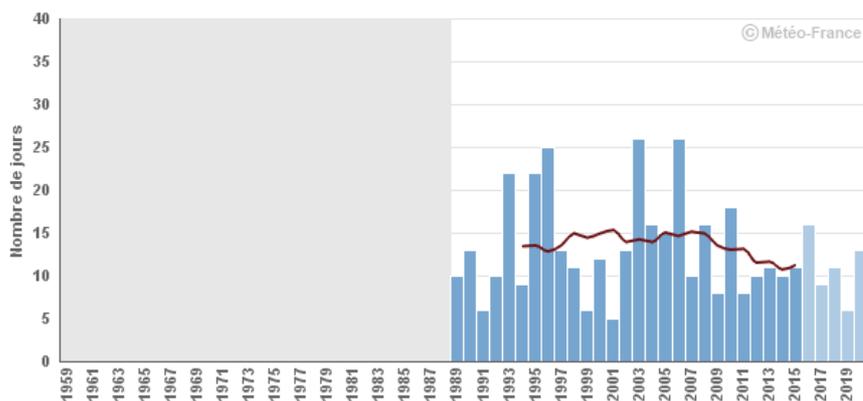
### 📈 Évolution observée

Nombre de jours de gel du 1er mars au 31 mai  
Aillevillers



■ Nombre de jours où  $T_n \leq 0^\circ\text{C}$  du 1er mars au 31 mai  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Nombre de jours de gel du 1er mars au 31 mai  
Dole

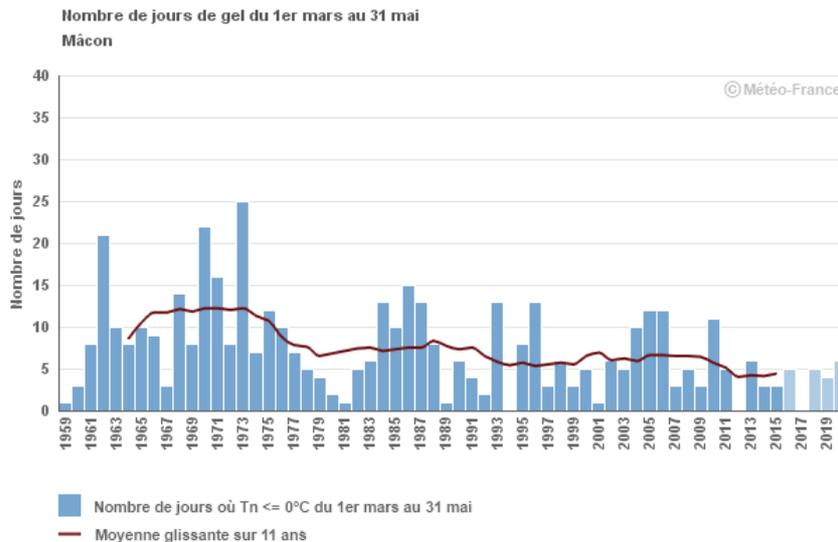


■ Nombre de jours où  $T_n \leq 0^\circ\text{C}$  du 1er mars au 31 mai  
— Moyenne glissante sur 11 ans



## Nombre de jour de gel de printemps

### Évolution observée



### Analyse

L'évolution du nombre de jours de gel du 1<sup>er</sup> mars au 31 mai montre que :

- Les tendances saisonnières (ajustement linéaire) observées sur les périodes d'étude sont de :
  - **1,06 j par décennie à Charnay les Mâcon** ( $P < 0,0001$ ) soit  $- 6,1$  j en 57 ans ;
  - **0,63 j par décennie à Aillevillers** (NS) ;
  - **0,27 j par décennie à Dole** (NS) ;
- La station de Charnay les Mâcon montre une tendance à la baisse du nombre de jours de gel sur les mois de mars à mai. Les stations d'Aillevillers et de Dole montrent une tendance non significative ;
- De fortes variations inter annuelles dans le nombre de jours de gel de mars à mai sont observées :
  - **très importante à Charnay les Mâcon** ( $R^2 < 0,2$ )
  - **extrêmement importante à Aillevillers et à Dole** ( $R^2 < 0,1$ )

#### A RETENIR

Le nombre de jours de gel du 1<sup>er</sup> mars au 31 mai est en diminution significative sur 1 station sur 3 étudiées dans la région Bourgogne-Franche-Comté.

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

# 2 AGROCLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



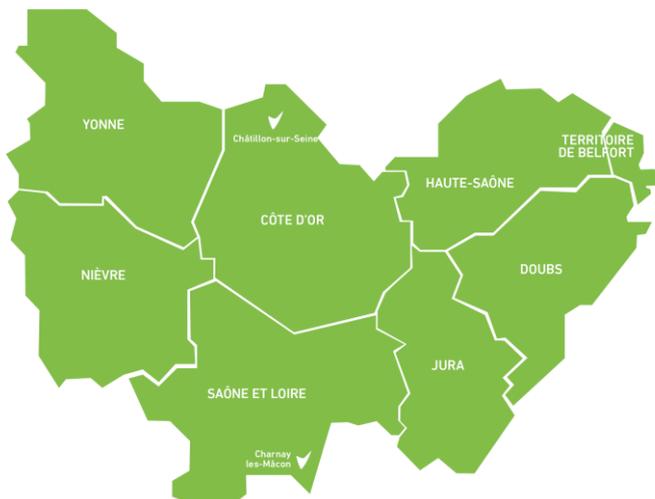
## Indice de WINKLER

### 🔑 Nature et source des données

SH : série homogénéisée  
Données fournies par Météo France

### 🕒 Indicateur 4.1

Mâcon (71) 1959-2015  
Chatillon-sur-Seine (21) 1959-2014



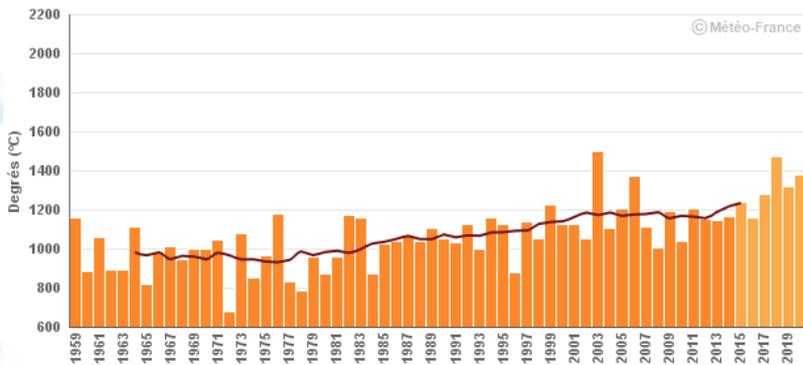
### 📊 Calcul de l'indicateur.

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

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.

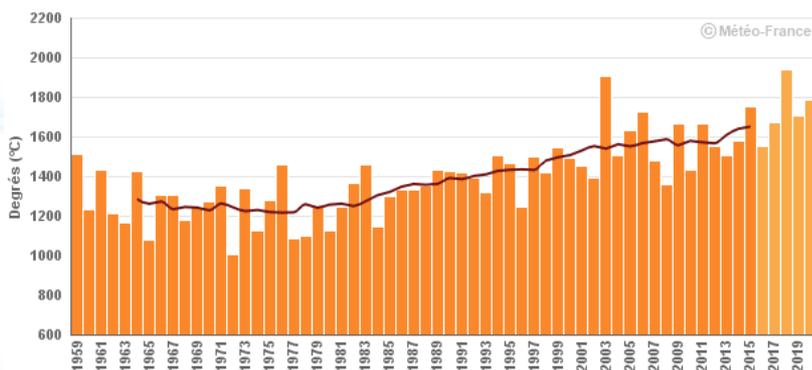
### 📈 Évolution observée

Somme des températures moyennes base 10°C du 1er avril au 31 octobre  
Châtillon-sur-Seine



■ Somme des températures moyennes journalières base 10°C du 1er avril au 31 octobre  
— Moyenne glissante sur 11 ans

Somme des températures moyennes base 10°C du 1er avril au 31 octobre  
Mâcon



■ Somme des températures moyennes journalières base 10°C du 1er avril au 31 octobre  
— Moyenne glissante sur 11 ans



## Indice de WINKLER



Analyse

L'évolution de l'indice de Winkler pour les stations de Bourgogne-Franche-Comté sur les différentes périodes allant de 1959 à 2015 montre que :

- Les tendances observées sur les périodes d'étude sont de :  
**+ 416,25 °CJ à Mâcon, en 57 ans (P < 0,0001) ;**  
**+ 264,24 °CJ à Châtillon-sur-Seine, en 56 ans (P < 0,0001) ;**
- Les tendances sont significatives sur les deux stations.



### Indicateur 4.2 : Classes des indices de Winkler

Série de 1959 à 2015 sur la station de :  
 Mâcon (71)



### Calcul de l'indicateur.

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

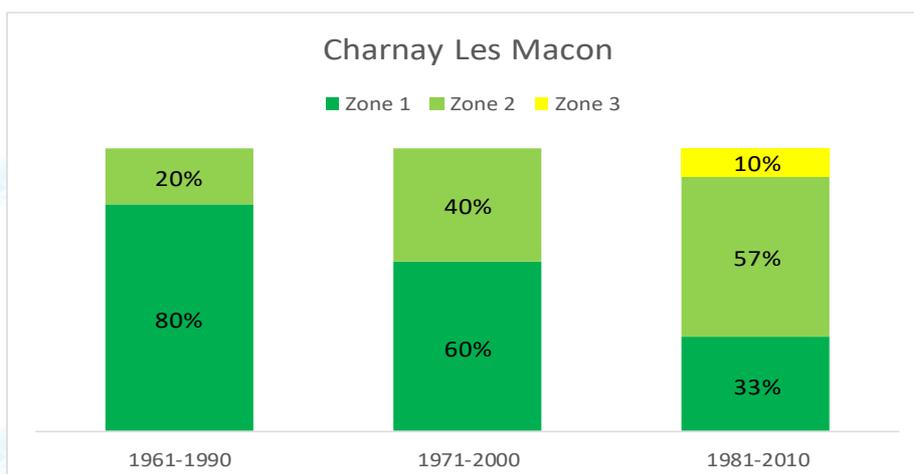


### Évolution observée des classes des Indices de Winkler

- En abscisse : Période trentenaire
- En ordonnée : Pourcentage

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

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





## Indice de WINKLER



Analyse

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.

### A RETENIR

L'indice de Winkler est en augmentation significative sur les deux stations de Bourgogne-Franche-Comté entre 1959 et 2015.

A Mâcon, la zone 1 de Winkler ( $IW < 1371$  °C.J) apparaissait 8 années sur 10 sur la période 1961-1990 et 6 années sur 10 sur la période 1971-2000 puis 3 années sur 10 sur la période 1981-2010.

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



### Pour en savoir plus

Cuccia C. Impacts du changement climatique sur la phénologie du Pinot noir en Bourgogne. Biogéosciences. Université de Bourgogne, 2013.

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

# 2 AGROCLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Date de mise à l'herbe

### 🔑 Nature et source des données

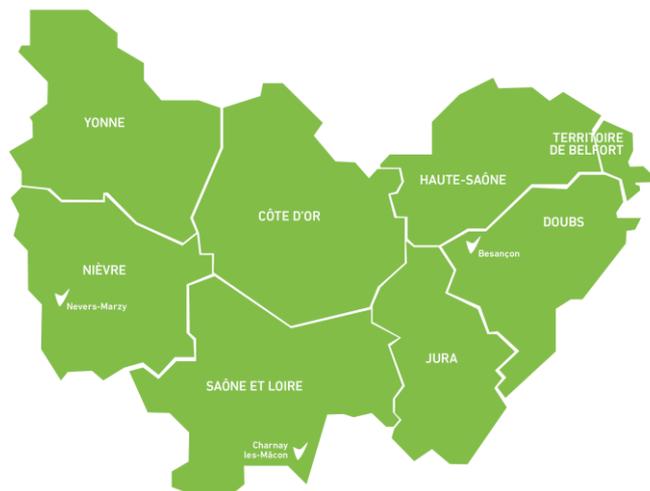
SH : série homogénéisée  
Données fournies par Météo France

### 🕒 Indicateur 5

Mâcon (71) 1959-2015  
Nevers-Marzy (58) 1964-2014  
Besançon (25) 1959-2015

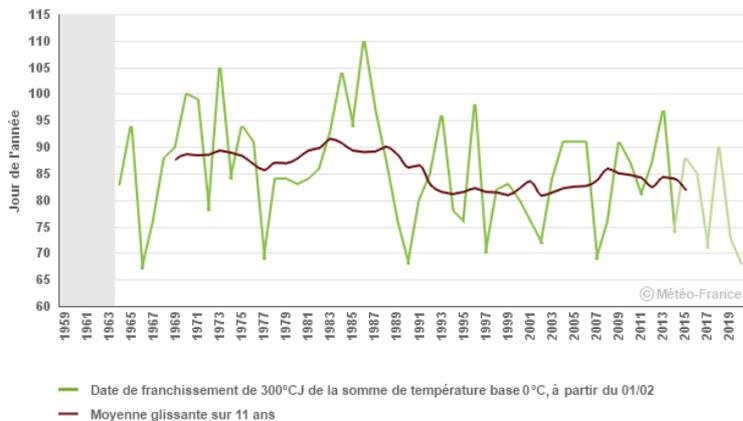
### 🧮 Calcul de l'indicateur.

Date de franchissement des 300 °C base 0 initiée au 01/02.

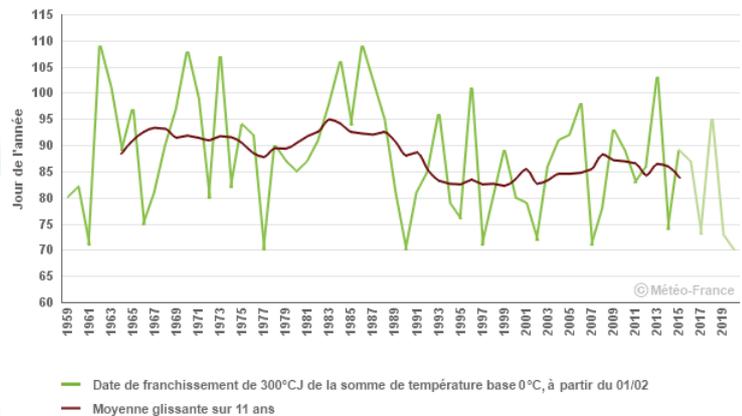


### 📈 Évolution observée

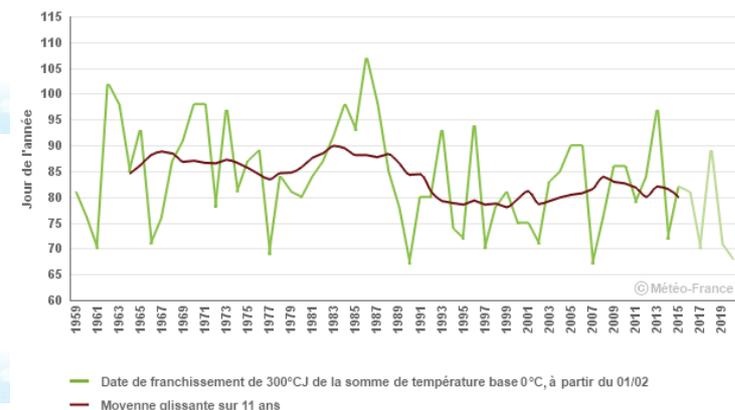
Date de franchissement de 300°C.J de la somme de température base 0°C, à partir du 1er février  
Nevers-Marzy



Date de franchissement de 300°C.J de la somme de température base 0°C, à partir du 1er février  
Besançon



Date de franchissement de 300°C.J de la somme de température base 0°C, à partir du 1er février  
Mâcon





## Date de mise à l'herbe



### Analyse

L'évolution de la date de mise à l'herbe dans les 3 stations étudiées depuis 1959 (1964 pour Nevers-Marzy) montre que :

- Les tendances (ajustement linéaire) observées sur la période d'étude (1959-2015) sont de :
  - **1,15 jours par décennie à Mâcon** ( $P < 0,1$ ) soit – 6,59 jours en 57 ans ;
  - **1,11 jours par décennie à Nevers-Marzy** (NS) ;
  - **1,13 jours par décennie à Besançon** (NS) ;

- De très fortes variations interannuelles de la date de mise à l'herbe sont observées ( $R^2 < 0,1$ ).

Avec l'augmentation de la température moyenne au printemps (voir «Température moyenne saisonnière») il est logique de penser que la reprise de l'herbe démarrera plus tôt et donc que la date de mise à l'herbe sera avancée. C'est ce qui est observé de manière significative à Mâcon avec un gain de plus de 6 jours en 57 ans.

De plus, la très grande variabilité des résultats reflète la variabilité interannuelle de la température.

Cet avancement de la mise à l'herbe impacte la gestion du pâturage et la conduite des troupeaux en interagissant avec :

- la portance qui peut être insuffisante si les sols ne sont pas ressuyés (déprimage pénalisé) ;
- le choix des espèces cultivées pour favoriser la qualité fourragère ;
- l'avancement des dates de mise bas pour les bovins allaitants (reproduction à la mise à l'herbe) ;
- la production de stock pour l'été, si la baisse de production estivale se confirme.

### A RETENIR

La date de mise à l'herbe a avancé d'un peu plus de 6 jours en 57 ans à Charnay les Mâcon. C'est la seule station pour laquelle l'évolution est significative. Ceci s'explique par l'augmentation des températures plus importante au sud de la région. La mise à l'herbe avance donc de plus en plus et cette tendance va probablement se poursuivre au vue des scénarios de projection des températures dans le futur (Brisson & Levrault, 2010).



### 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.

# 2 AGROCLIMAT



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Déficit hydrique – Cumul des précipitations – ETP du 01/04 au 15/09

### 🔑 Nature et source des données

SH : série homogénéisée  
Données fournies par Météo France

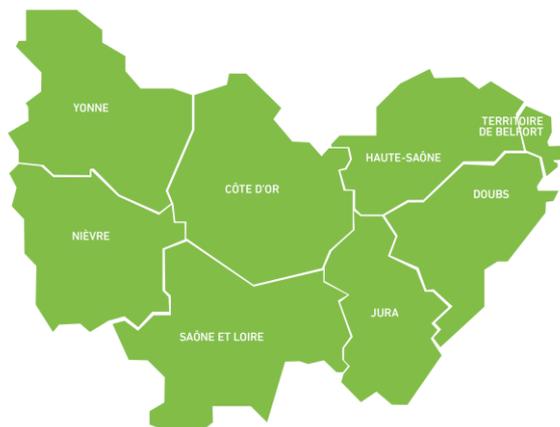


### 🕒 Indicateur 6

Données spatialisées départementales



### 🧮 Calcul de l'indicateur.



Cumul des précipitations – ETP journalière du 01/04 au 15/09.

Sur une période donnée (approximativement la période de végétation dans le cas étudié ici), la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle constitue une appréciation du degré d'aridité du climat.

Le changement climatique se traduisant par une hausse de l'évapotranspiration (liée à l'accroissement de la température) et, jusqu'à présent, une relative constance des précipitations, le déficit hydrique climatique estival a vocation à se renforcer sur le long terme, signal d'une contrainte hydrique climatique croissante.

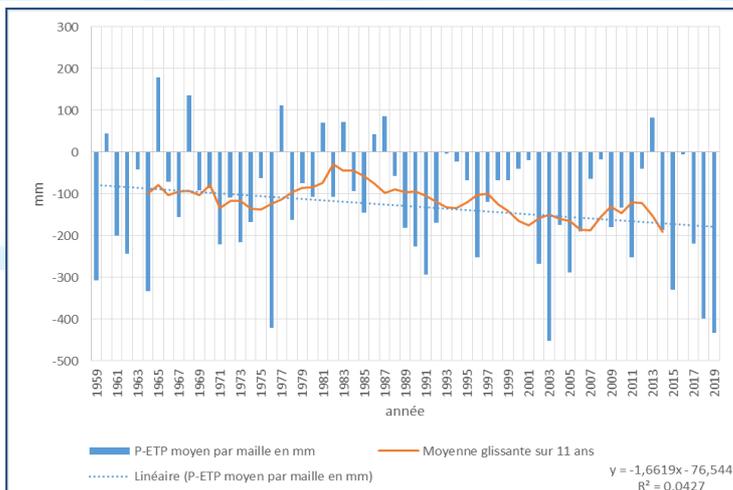
Les précipitations et l'ETP journalière sont déterminées par combinaison d'observations et de modélisations (on parle de ré analyse) en chaque point d'une grille (un point tous les 8 km) couvrant le territoire régional. Pour chacun des points, les pluies et l'ETP journalière sont cumulées du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre. On obtient ainsi les cumuls de précipitations et les cumuls d'ETP en chaque point de la grille. Puis, on calcule la différence entre ces deux cumuls ; ce qui délivre le déficit hydrique estival en chaque point de grille. Ensuite on calcule la moyenne départementale de cette différence pour l'ensemble des points couvrant chaque département, ce qui fournit le déficit hydrique départemental pour la période considérée. Enfin, cette succession d'opérations est répétée pour chacune des années allant de 1959 à 2019.

Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

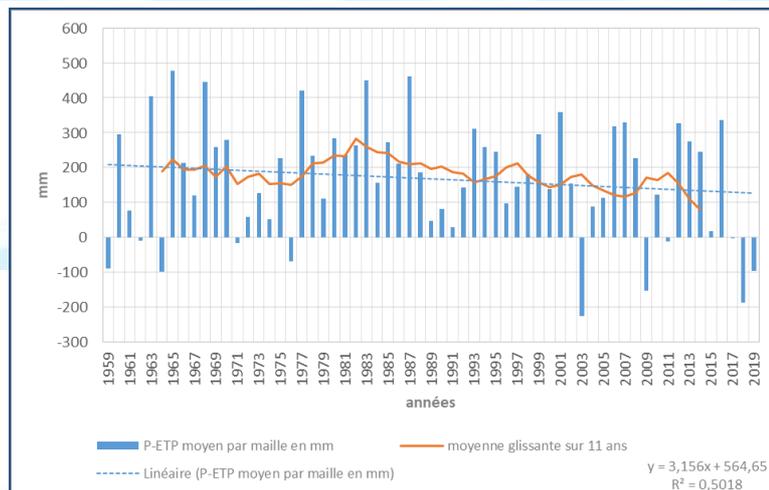


### 📈 Évolution observée

Département de Côte d'Or



Département du Doubs





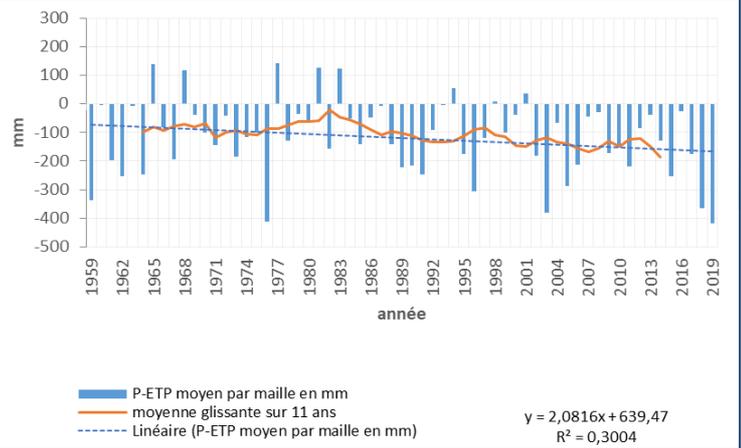
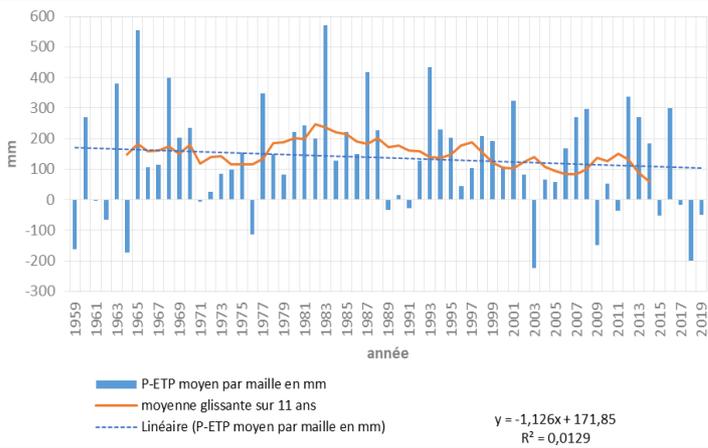
## Déficit hydrique - Cumul des précipitations – ETP du 01/04 au 15/09



Évolution observée

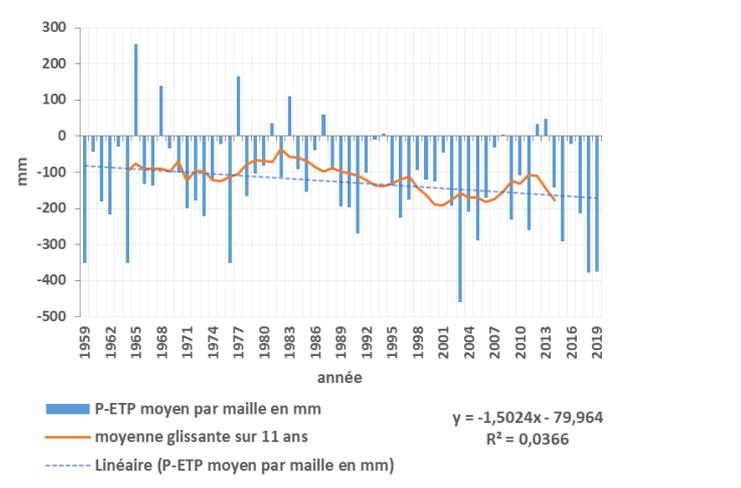
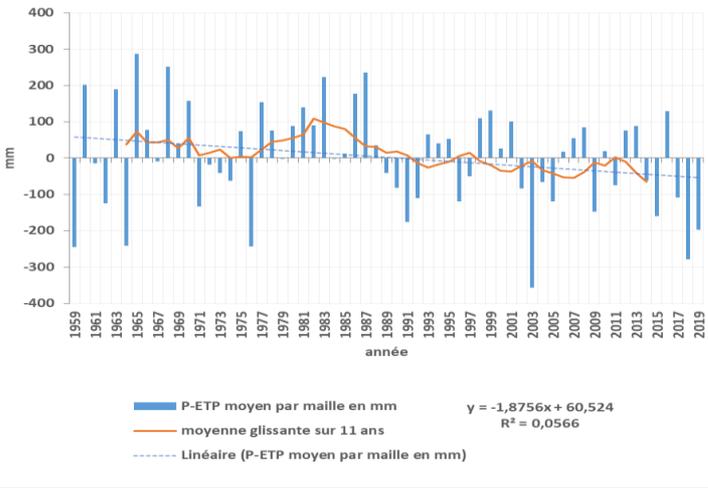
Département du Jura

Département de la Nièvre



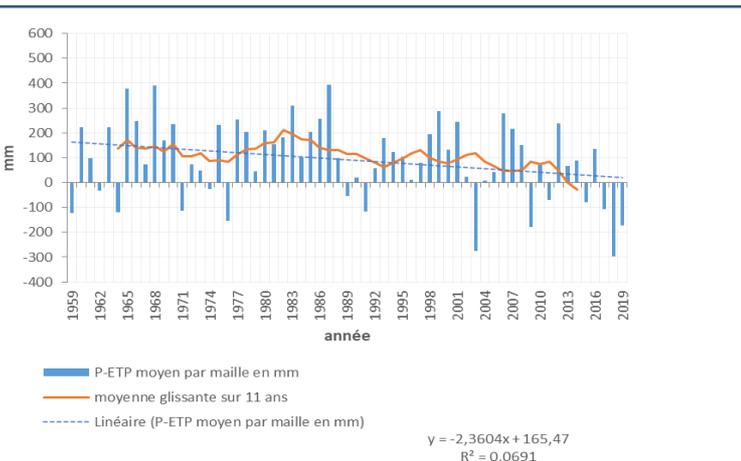
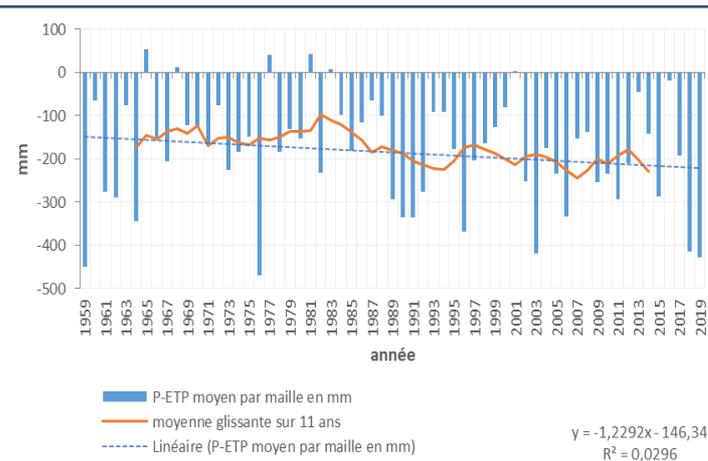
Département de Haute Saône

Département de Saône et Loire



Département de l'Yonne

Département du Territoire de Belfort





## Déficit hydrique - Cumul des précipitations – ETP du 01/04 au 15/09



On distingue parmi les 8 départements étudiés 3 catégories :

- La Saône-et-Loire, l'Yonne, la Nièvre et la Côte d'Or présentent un déficit hydrique quasi systématique depuis les années 1960.

- Tandis que le Doubs, le Jura et le Territoire de Belfort présentent un bilan hydrique majoritairement excédentaire depuis les années 1960. A noter que pour le Territoire de Belfort, la moyenne glissante sur 11 ans devient négative à partir des années 2010. **Attention, ce dernier point semble indiquer un durcissement du déficit hydrique pour les années à venir.**

- et enfin, la Haute Saône qui présente un bilan hydrique relativement équilibré sur la période complète 1959-2019.

Les tendances (ajustements linéaires) sont négatives pour tous les départements.

A noter un déficit hydrique plus marqué pour la Haute Saône à partir des années 1990.

La variabilité inter annuelle est extrêmement importante ( $R^2 < 0.1$ ) pour tous les départements.

Sur la période étudiée (1959 à 2015), la tendance (ajustement linéaire) s'établit à :

- **16,6 mm** par décennie pour la Côte d'Or,
- **15 mm** par décennie pour la Saône et Loire ;
- **15,5 mm** par décennie pour la Nièvre;
- **12,3 mm** par décennie pour l'Yonne ;
- **18,7 mm** par décennie pour la Haute Saône ;
- **14 mm** par décennie pour le Doubs ;
- **11,3 mm** par décennie pour le Jura ;
- **23,6 mm** par décennie pour le Territoire de Belfort ;

Nous observons donc, pour toute la région, une variation tendancielle de faible ampleur au regard des variations inter annuelles.

On rappelle que le déficit hydrique climatique (pluie – ETP), s'il est une estimation de l'aridité du climat sur une période donnée, ne constitue pas une quantification du besoin en eau des plantes. Cette dernière nécessite le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR). Cela implique un paramétrage précis de la réserve utile des sols et des dynamiques de croissance foliaire des plantes.

### A RETENIR

Le déficit hydrique estival (pluie – ETP) du 1<sup>er</sup> avril au 15 septembre en Bourgogne-Franche-Comté s'établit de façon hétérogène sur le territoire et évolue diversement.

Malgré des évolutions de précipitations légèrement positives, ce déficit hydrique climatique nous a permis de mettre en évidence la pression qui s'exerce sur la disponibilité de l'eau pour les cultures.

# 3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Evolution des stades phénologiques de la vigne

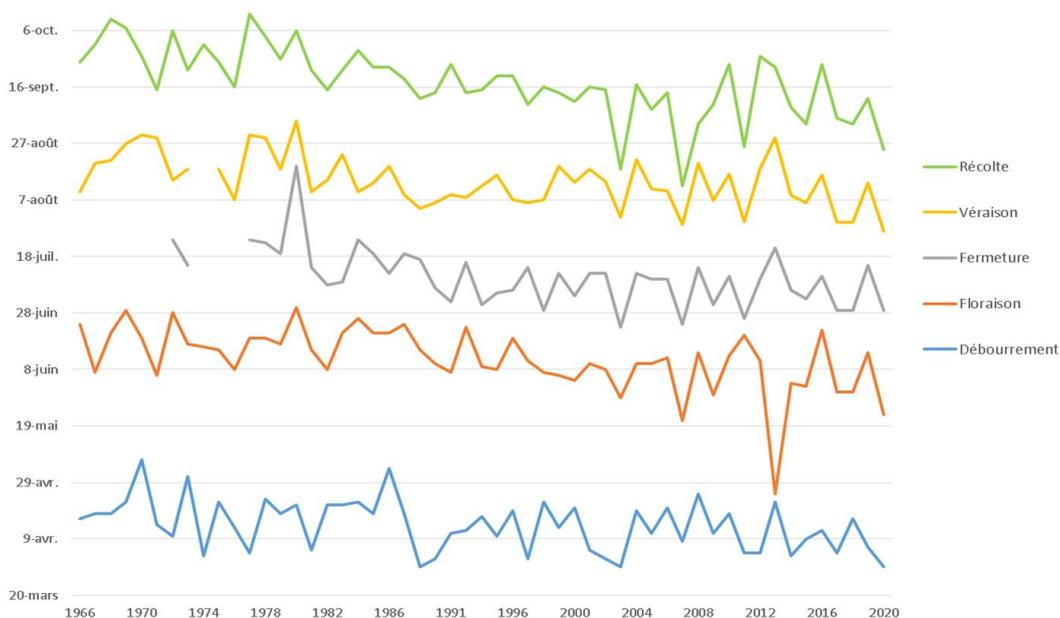
### 🔑 Nature et source des données

Observations sur réseau viticole de Bourgogne  
Données fournies par le Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne

### 🕒 Indicateur 1

Date de début de vendanges dans le vignoble de Bourgogne, date de début véraison, de fermeture de la grappe, de début floraison et débourrement : 1966 à 2020

### 📈 Evolution observée



Évolution des stades phénologiques

Stade	Avant 1987	Après 1988	Ecart en jours
<b>Débourrement</b> 	▶ 19 avril	▶ 12 avril	▶ - 7 jours
<b>Floraison</b> 	▶ 19 juin	▶ 8 juin	▶ - 11 jours
<b>Fermeture</b> 	▶ 20 juillet	▶ 8 juillet	▶ - 12 jours
<b>Véraison</b> 	▶ 21 août	▶ 12 août	▶ - 9 jours
<b>Récolte</b> 	▶ 28 septembre	▶ 13 septembre	▶ - 15 jours

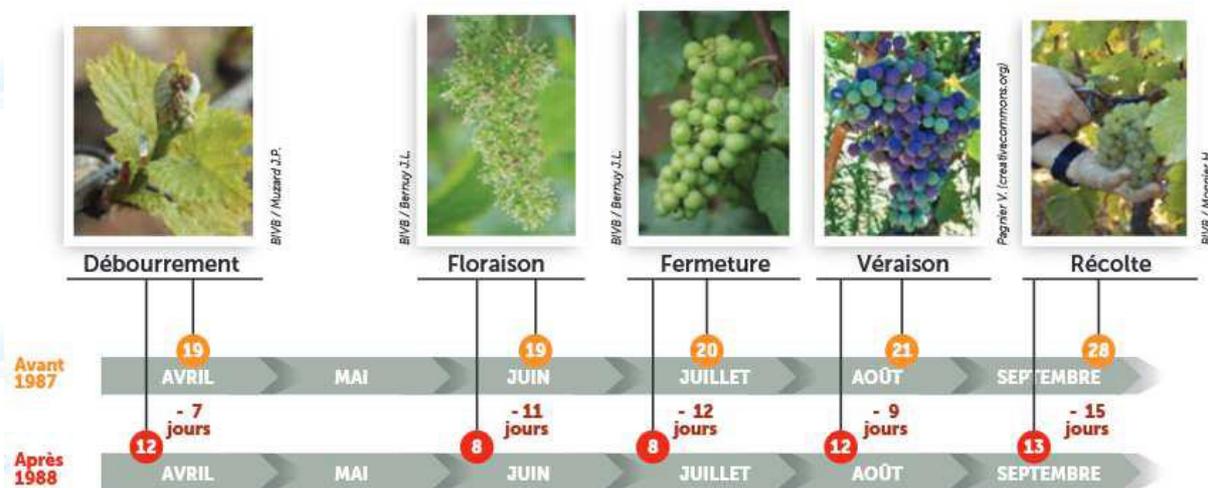
# 3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Evolution des stades phénologiques de la vigne



Source : Bureau interprofessionnel des vins de Bourgogne (BIVB)

### Analyse

Dans le vignoble bourguignon, l'observatoire du millésime du BIVB suit depuis 1988 la date des principaux stades phénologiques (débourrement, floraison, fermeture de la grappe, véraison et récolte), l'évolution des données météorologiques ainsi que la composition physico-chimique des baies et des moûts. Les dates des principaux stades phénologiques depuis 1966 montrent une grande variabilité inter annuelle.

Cependant, on observe une rupture avec une précocité des différents stades depuis 1987/1988 (voir figure). La floraison a eu lieu, en moyenne, avec 11 jours d'avance après 1988 (en comparaison à avant 1987). Les vendanges se font de plus en plus tôt ; il a été observé en moyenne **15 jours d'avance sur cette dernière**. Du fait de l'avancée de la véraison et de l'augmentation de la température moyenne, la maturation se déroule donc plus tôt en saison et les raisins subissent des températures plus élevées pendant cette période. Les conditions de la maturation, moment-clef pour la typicité du vin sont modifiées. Ces résultats sont corroborés par une étude réalisée en 2010 à partir des données thermiques pour deux sites en Côte et en Hautes-Côtes de Beaune (Savigny-lès-Beaune et La Rochepot). Les résultats montrent également un « double effet » du réchauffement climatique lors de la maturation, lié à l'augmentation des températures et au décalage temporel de cette période, qui se place de plus en plus souvent en août.

# 3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Evolution de l'acidité totale et du sucre

### 🔑 Nature et source des données

Observations sur le réseau viticole de Bourgogne  
Données fournies par le Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne.

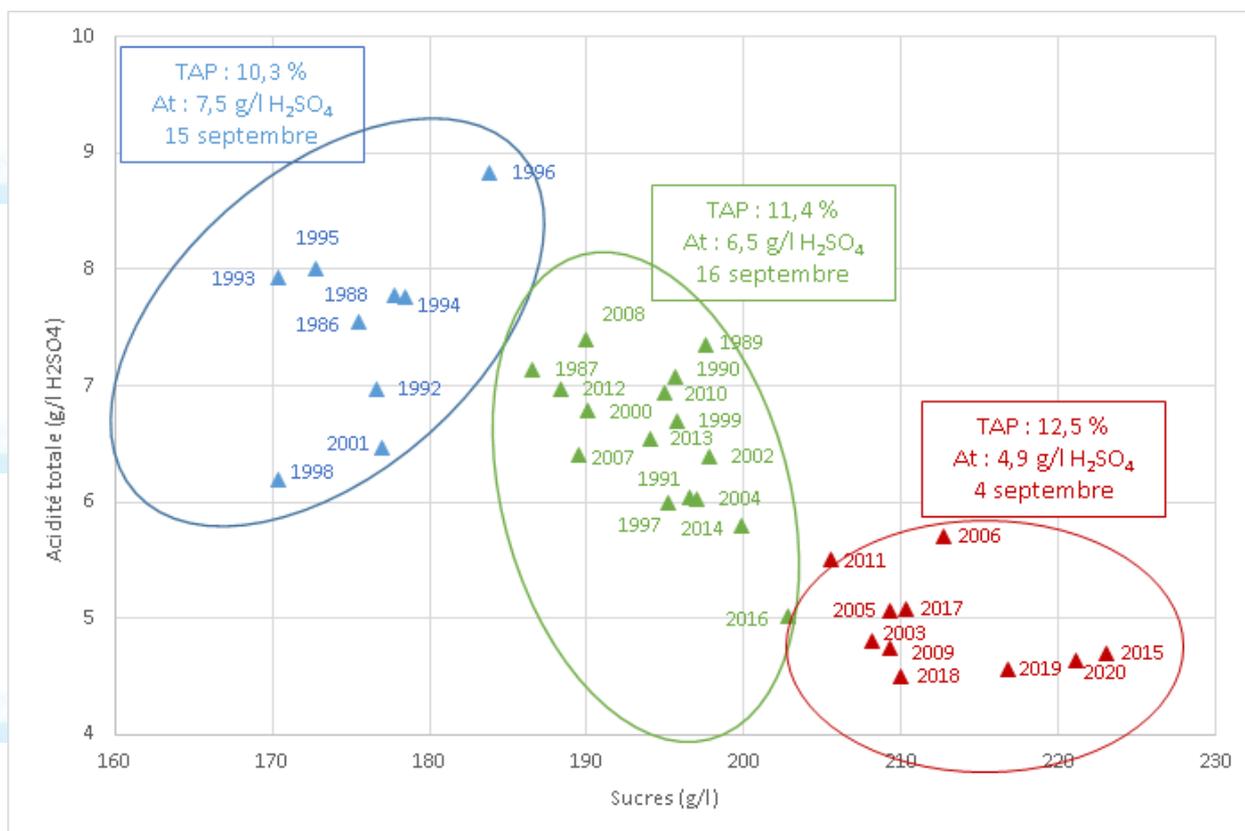


### Indicateur

Variation de la quantité de sucre et de l'acidité totale dans les moûts : 1986 à 2020 – Pinot noir et Chardonnay



### Évolution observée





## Evolution de l'acidité totale et du sucre



Les changements climatiques impactent la composition des moûts : dans le vignoble bourguignon, le suivi de la teneur en sucres des baies de raisin (et donc le titre alcoométrique potentiel) et de l'acidité totale, année après année par le BIVB, montre une grande hétérogénéité. Cependant, il est possible, par analyse statistique, d'établir 3 groupes de millésimes qui illustrent bien l'évolution du climat. Le premier groupe (voir figure page précédente) est représenté par une forte acidité et une teneur en sucres moindre et correspond aux millésimes des années 90 (groupe bleu). Les millésimes les plus récents sont, à contrario, plus riches en sucres avec une acidité plus faible (groupe rouge). La bibliographie corrobore ces observations et indique par ailleurs que l'effet de la contrainte hydrique sur la teneur en sucres du raisin dépend de son intensité. Les raisins sont plus sucrés si la vigne subit une contrainte hydrique modérée et moins sucrés si la contrainte hydrique est forte, à cause d'une diminution de la photosynthèse. Dans ce dernier cas, les anthocyanes, pigments contenus dans les pellicules du raisin noir et qui lui donnent sa couleur, sont aussi affectées, entraînant une baisse de coloration de vins rouges.

L'augmentation de la contrainte hydrique aura également un effet sur le profil aromatique du raisin. Le changement climatique s'accompagne d'une augmentation du rayonnement solaire incident et de la modification du spectre de rayonnement, avec en particulier une augmentation de la composante UV-B. Cette évolution a des conséquences positives sur la teneur en composés phénoliques du raisin, mais elle peut modifier la composition des arômes et précurseurs d'arômes et influencer négativement la qualité organoleptique.



## Impact sur l'état hydrique de la vigne – méthode du $\delta^{13}C$

### 🔑 Nature et source des données

Mesure effectuée sur les moûts des parcelles de référence du BIVB en fin de maturité (quelques jours avant la récolte effective des parcelles) sur les millésimes 2011, 2012, 2016, 2017, 2018, 2019 et 2020.

Données fournies par le BIVB – source « Les cahiers du Pôle Technique et Qualité – Les effets du changement climatique en Bourgogne – février 2021 »

### 🕒 Indicateur

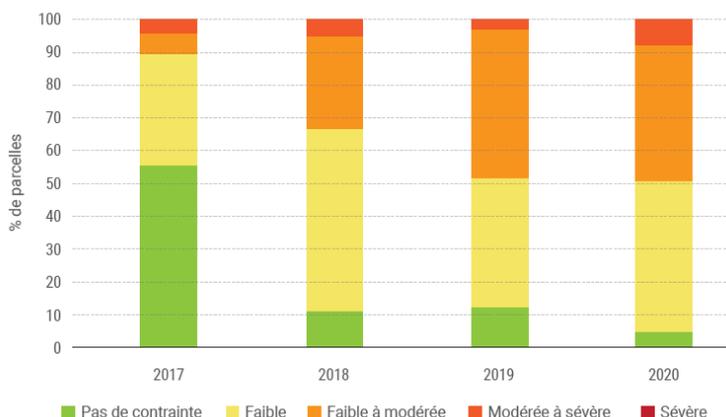
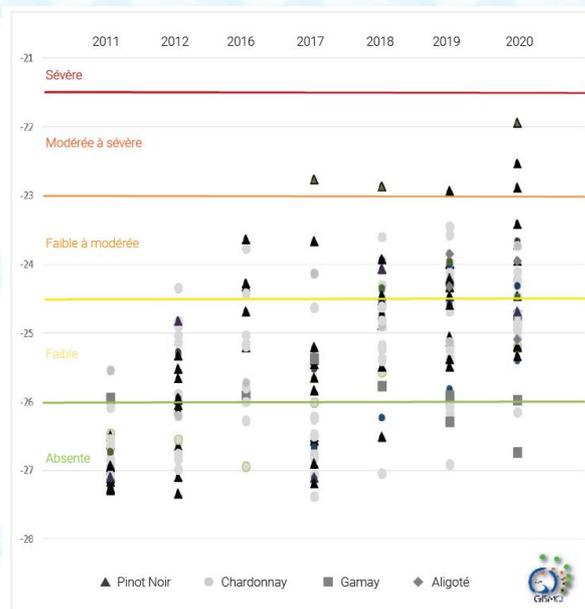
La manière dont les plantes modifient l'efficacité de leur utilisation de l'eau en réponse à la sécheresse est une autre indication utile de leur tolérance à la sécheresse. La mesure du rapport isotopique entre carbone C13 et carbone C12 (appelé  $\delta^{13}C$  - delta C13) dans le moût de raisins permet de connaître très précisément quel a été le régime hydrique de la vigne pendant la période de maturation. Cette mesure est précieuse pour apprécier le potentiel de chaque parcelle et comprendre le fonctionnement des différents types de sol.

### 📈 Évolution observée et analyse

Le graphique ci-contre présente l'ensemble des résultats pour toutes les parcelles et les millésimes concernés. Aucune parcelle n'a subi de contrainte sévère au cours de différents millésimes analysés, sur la base de l'échelle de contrainte bordelaise. Toutefois, sur les quatre derniers, des contraintes ont eu lieu sur un certain nombre de parcelles.

Le graphique ci-dessous montre la répartition des parcelles (en %) en fonction du type de contrainte.

C'est sans conteste les trois derniers millésimes qui présentent les plus forts pourcentages de parcelles ayant subi une contrainte hydrique et 2020 est en tête du trio, avec 95 % de parcelles concernées, avec des niveaux de contraintes allant de « faible » à « modérée et sévère ».



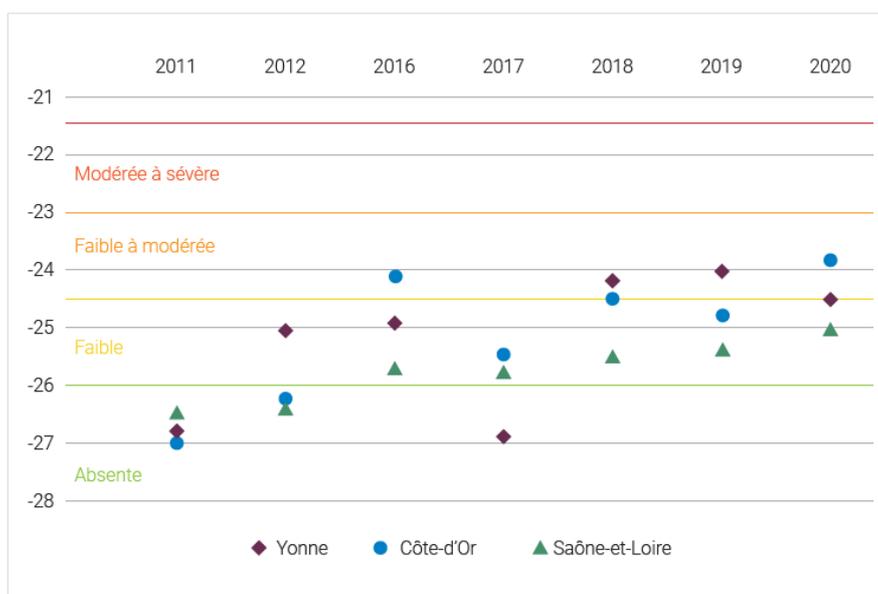


## Impact sur l'état hydrique de la vigne – méthode du $\delta^{13}C$

### Évolution observée et analyse

#### Contraintes hydriques moyennes par année et par département :

Les contraintes hydriques moyennes sont assez variables selon les millésimes, et plus particulièrement sur les plus récents. La Saône-et-Loire ne connaît en moyenne que des contraintes faibles depuis 2016 mais celles-ci sont néanmoins en augmentation ces dernières années. Dans l'Yonne et en Côte-d'Or, les niveaux de contraintes ont pu arriver à un stade modéré. Toutefois, les moyennes départementales masquent la variabilité potentielle des situations.



# 3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Evolution des rendements en blé tendre d'hiver

### 🔑 Nature et source des données

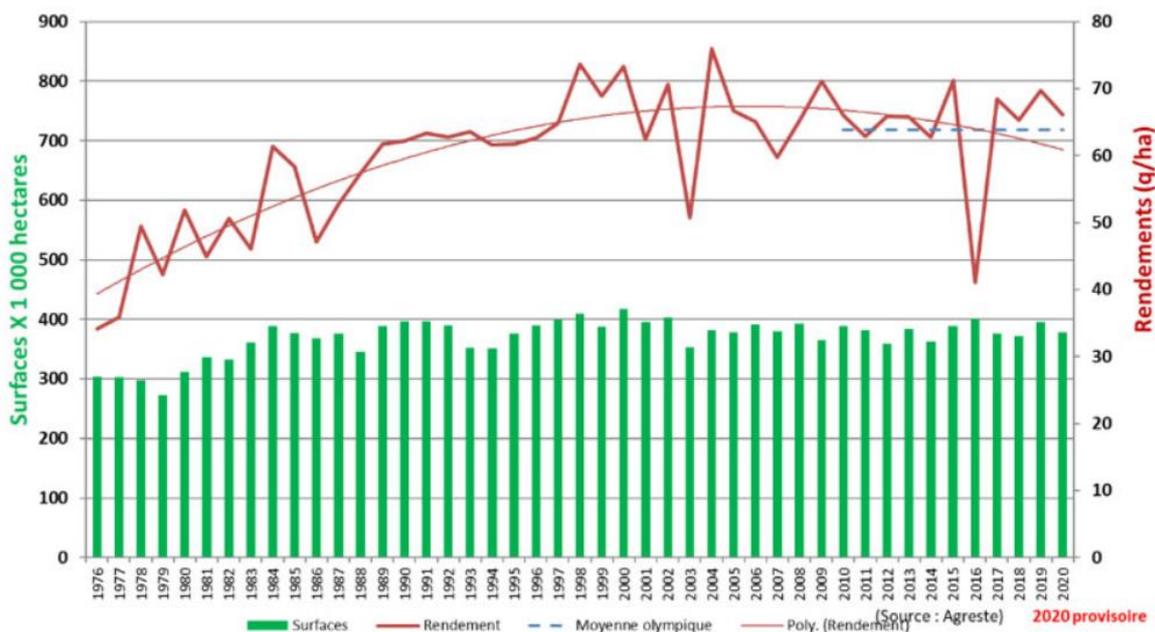
Données fournies par la DRAAF (source Agreste) – mars 2020

### 🕒 Indicateur

Evolution des rendements régionaux en blé tendre d'hiver de 1976 à 2020 en Bourgogne-Franche-Comté.

### 📈 Évolution observée

La sole en céréales occupe de l'ordre de 30 % de la Superficie Agricole Utile régionale. En 2019, le blé tendre avec 387000 ha représente 50 % de la sole en céréales, les orges 30 % (237 000 ha) et le maïs grain 10 % (76 000 ha). La Bourgogne-Franche-Comté est la 1<sup>ère</sup> région productrice d'avoine, avec 13 % de la production nationale et demeure au 3<sup>ème</sup> rang pour la production d'orges d'hiver. Toutes céréales confondues, ce sont 5,1 millions de tonnes de céréales qui ont été produites en 2019, ce qui place la région au 6<sup>ème</sup> rang national. L'Yonne et la Côte-d'Or sont les deux premiers départements céréaliers de la région avec respectivement 31 % et 25 % de la production.



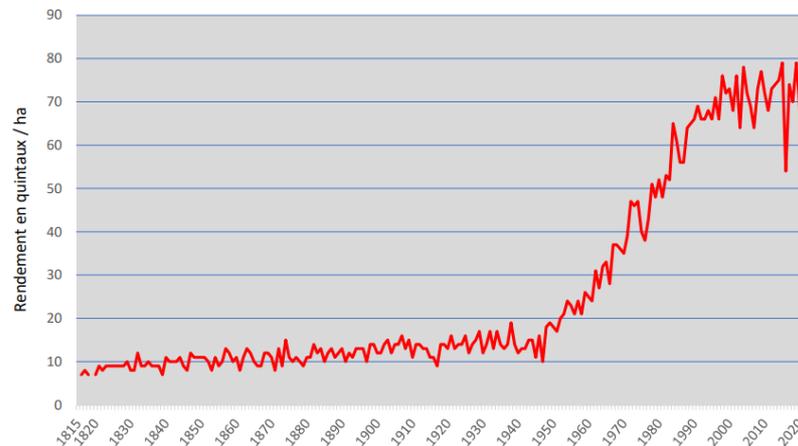
Evolution des rendements régionaux en blé tendre d'hiver de 1976 à 2020 en Bourgogne-Franche-Comté



## Evolution des rendements en blé tendre d'hiver



### Evolution du rendement moyen annuel du blé France entière de 1815 à 2020



Sources: Statistiques Ministère de l'agriculture 1913, Tableaux rétrospectifs.  
GNIS - Unigrains - FranceAgriMer



D'après l'Académie d'agriculture de France, à l'échelle nationale, « entre 1815 et 1940, le rendement moyen national du blé montre une progression régulière mais modeste, passant de 8 - 10 q/ha avant 1850 à 12 - 14 q/ha avant 1945. Entre 1945 et 1995 environ, le rendement moyen des blés français a connu près d'un demi-siècle de hausse continue, passant de 14 - 15 q/ha à 70 q/ha. On peut rattacher cette progression considérable à la génétique qui bénéficie d'un emploi cohérent des fertilisants, des produits de protection (herbicides, fongicides et régulateurs en particulier) et du perfectionnement des méthodes de travail du sol, de semis ou de moisson. Le ralentissement de cette progression, voire ses irrégularités constatées depuis lors, semblent reliés à une certaine désintensification résultant d'une économie d'intrants (réduction de 15-20 % des apports azotés, des fongicides, moindre travail du sol...) et du changement climatique (fortes températures au remplissage du grain...) »<sup>1</sup>.

L'essentiel de cette progression est attribuable à la mécanisation des tâches, à l'amélioration des machines, à l'introduction de variétés sélectionnées, d'engrais et d'amendements minéraux.

**En Bourgogne-Franche-Comté**, on observe que depuis les années 1976 et jusqu'à la fin des années 1990, les rendements régionaux en blé tendre ont augmenté de façon régulière.

A la fin des années 1990, on constate une forte variabilité annuelle des rendements, avec des corrélations claires avec des accidents climatiques comme en 2003 et 2016 (années de fortes canicules). Il ressort globalement une tendance à la stagnation des rendements sur la région, voire un début de régression.

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 et que cette modération de la fertilisation azotée a induit une limitation du rendement de -0,15 q/ha/an sur cette période.



## Evolution des rendements en blé tendre d'hiver



### Analyse

En outre, il apparaît que les raccourcissements de rotations culturales et le remplacement des légumineuses par le colza se sont traduits par une baisse des rendements du blé tendre de - 0,35 q/ha/an.

La majorité de la perte de rendement peut être reprochée aux changements du climat (Brisson & Levrault, 2010). Deux facteurs climatiques sont à l'origine de cette stagnation de rendement : l'augmentation de l'échaudage et l'augmentation de la période de stress hydrique pendant l'élongation de la tige et le remplissage des grains (Gate et al. 2009). L'occurrence accrue de ces accidents physiologiques d'origine climatique a induit une limitation du rendement comprise entre -0,2 et -0,5 q/ha/an.

Les résultats climatiques, obtenus précédemment, ont montré une augmentation significative des journées estivales (+ 3 à + 6,4 jours par décennie depuis 1959), une augmentation des jours échaudants printaniers (+ 1,29 à + 2,87 jours par décennie depuis 1959) (voir « Nombre de jours estivaux » et « Nombre de jours échaudants au printemps »), une augmentation de l'ETP et l'augmentation du déficit hydrique sont les prémices d'une tendance à l'accroissement des sécheresses printanières et estivales dans notre région.

En matière d'adaptation au changement climatique pour les céréales à paille, deux leviers d'actions sont soulignés par les experts :

- L'esquive des accidents d'échaudage de fin de cycle par avancement de la phase sensible. Cette esquive peut être obtenue par un avancement des dates de semis et le recours à des variétés plus précoces. Toutefois, l'avancement des dates de semis et le choix de variétés plus précoces peuvent générer des risques supplémentaires pour la culture (mauvaise levée, gel épi 1 cm, gel à la méiose<sup>3</sup>), et l'avancement des dates de semis peut induire un accroissement des risques parasitaires.
- La tolérance aux stress thermique et hydrique, qui relève du domaine de la génétique.

Ils s'ajoutent aux leviers majeurs de politiques globales de préservation de la ressource en eau et de gestion durable des sols qui concernent l'ensemble des activités humaines.



### 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.

BRISSON N. et al 2010 – Why are wheat yields stagnating in Europe ? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research 119/1: 201-212.

GATE Ph., BRISSON N. et GOUACHE D.– « Les causes du plafonnement du rendement du blé en France : d'abord une origine climatique », Académie d'Agriculture de France – 2010. Séance du 5 mai. <sup>3</sup>Méiose : phase du cycle de croissance du blé tendre pendant laquelle la fertilité des épis se met notamment en place, et particulièrement sensible au froid.

<sup>1</sup>Evolution du rendement moyen du blé – France entière de 1815 à 2018. [https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/publications/encyclopedie/repere\\_france\\_rendement\\_moyen\\_du\\_ble\\_tendre\\_1815-2018\\_vf.pdf](https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/publications/encyclopedie/repere_france_rendement_moyen_du_ble_tendre_1815-2018_vf.pdf)

# 3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



## Impact sur la pousse de l'herbe

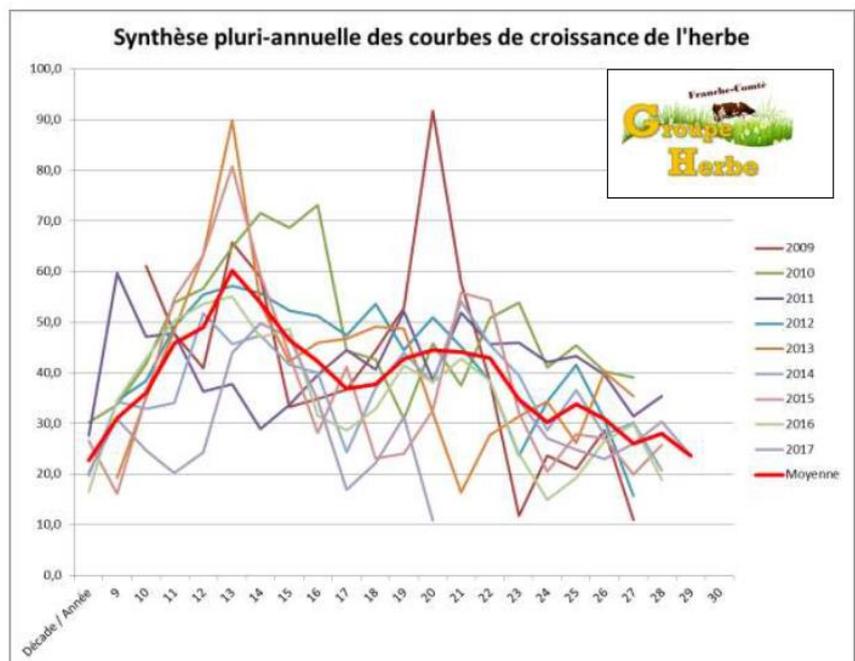
### 🔑 Nature et source des données

Données de moyennes fournies par le groupe régional Herbe de Franche-Comté.

### 🕒 Indicateur

Evolution de la pousse de l'herbe de 2009 à 2017

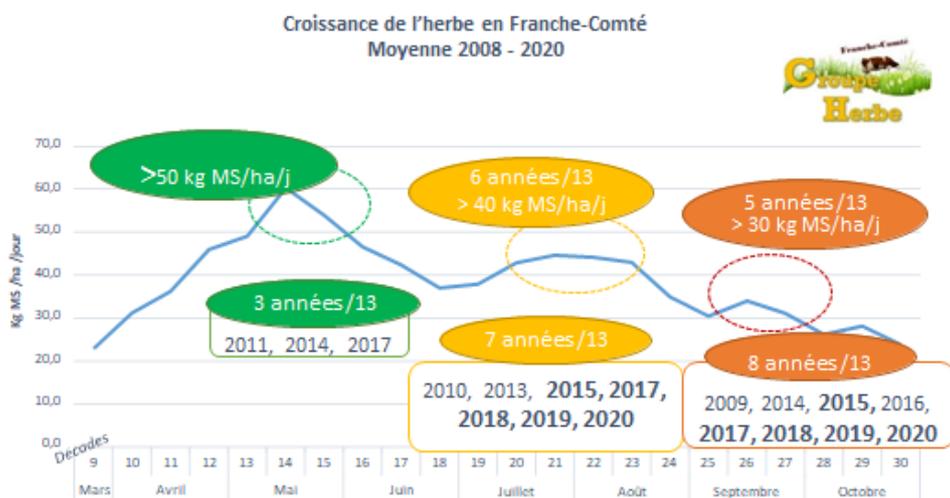
### 📈 Evolution observée



### 📈 Analyse

## • Croissance de l'herbe en Franche-Comté...

- Historique depuis 2008





## Impact sur la pousse de l'herbe



Une courbe de croissance représente sur une échelle temporelle (correspondant en général à une saison de pâturage) les niveaux de croissances de l'herbe mesurée sur les parcelles de référence. Cette croissance est exprimée en Kg de matière sèche produite par hectare et par jour. Les courbes présentées ci-après sont issues de 13 années de mesures (2008-2020). Elles représentent donc des valeurs moyennes.

Mise en évidence de 3 périodes :

- Pâturage de printemps + coupe (en vert)
- Pâturage d'été + coupe (en jaune)
- Pâturage d'automne + coupe (en orange)

On observe :

- Au printemps, 3 années sur 13 ont une croissance inférieure à la moyenne de 50 kg MS/ha/jour (en 2011, 2014 et 2017)
- En été, 7 années sur 13 ont une croissance inférieure à la moyenne de 40 kg MS/ha/jour (en 2010, 2013, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020)
- A l'automne, 8 années sur 13 ont une croissance inférieure à la moyenne de 30 kg MS/ha/jour (en 2009, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020)

L'augmentation de la température impacte le bilan fourrager sur la période estivale qui a pour conséquence :

- La nécessité d'un complément à l'auge au mieux au 15 juillet voire au 1<sup>er</sup> juillet pour les années très sèches.
- L'absence de report de stock.

Le printemps reste une période majeure pour assurer le stock fourrager destiné normalement au 6 mois du cheptel en bâtiment et qui peut être également utilisé comme affouragement pendant l'été.

D'après les travaux de N. Brisson et al (2010) le réchauffement climatique devrait permettre un allongement de la période de production et donc une exploitation plus tard en fin d'année à condition que les parcelles soient praticables. Or en Franche-Comté, les observations sur les dernières années montrent que la croissance de l'herbe sur la période automnale est inférieure à la moyenne.

Les systèmes d'élevage, basés sur l'exploitation de l'herbe, directement dépendants des effets du climat qui déterminent à la fois la croissance de l'herbe et la constitution des stocks fourragers (Lemaire et Pflimlin, 2007), devraient nécessairement adapter non seulement la conduite des prairies (fertilisation notamment) mais aussi l'exploitation, à travers une gestion différente de la production, avec probablement plus de reports et une plus grande diversification de la production fourragère (autres espèces herbacées, légumineuses, sorgho...), afin d'assurer une production suffisante compte tenu des incertitudes climatiques. L'extension de la période de production en hiver et au début du printemps aboutirait probablement à une révision des calendriers de mise à l'herbe et de gestion de la reproduction du troupeau.



### **Pour en savoir plus**

Groupe Herbe Franche-Comté ; Bien conduire le pâturage pour optimiser la valorisation de l'herbe ; Recueil de connaissances et de références–Tome1 ; mars 2017.

F. RUGET et al. (2012). Fourrages 210. Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. AFPF. 87-98

## 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 8 km x 8 km. Elle permet notamment d'étudier l'évolution de l'humidité du sol et des pluies efficaces (infiltration + ruissellement) à l'échelle de territoires.

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

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

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

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

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

**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.



