



CLIMAT
AGROCLIMAT
IMPACTS
ADAPTATIONS | AGRICOLES
ATTENUATIONS



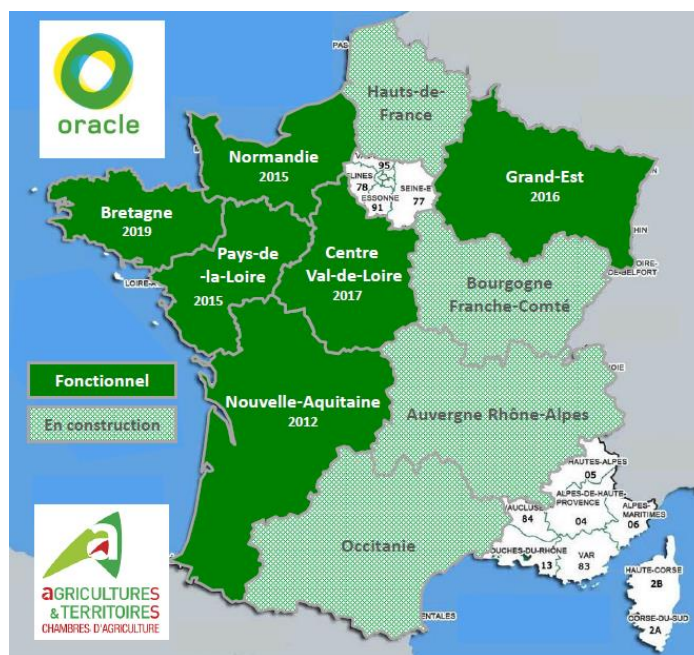
oracle

Occitanie



Qu'est-ce qu'ORACLE ?

ORACLE est un **O**bservatoire **R**égional sur l'**A**griculture et le **C**hangement **c**limatique sur la région Occitanie. Il permet d'établir un constat objectif, avec des données fiables, du changement climatique et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale et de déceler quelles adaptations de l'agriculture se mettent en place pour les accompagner. Cet observatoire, porté par les Chambres Régionales d'Agriculture, est mis en place dans plusieurs régions en France comme le montre la carte ci-dessous.



Cet observatoire s'appuie sur des indicateurs qui sont mis à jour chaque année autour de 5 thèmes :

- **Indicateurs climatiques** : visent à objectiver la perception du phénomène en région.
- **Indicateurs agro-climatiques** : offrent une grille de relecture adaptée aux enjeux agricoles.
- **Indicateurs d'impacts** : cherchent à identifier si l'agriculture régionale subit déjà des effets perceptibles du changement climatique.
- **Indicateurs d'adaptation** : visent à préciser si les agriculteurs ou les filières mettent déjà en place des modes productifs intégrant cette évolution du climat.
- **Indicateurs d'atténuation** : analysent quel potentiel de réduction des GES ou d'augmentation du stockage de carbone l'agriculture régionale opère.



ORACLE en Occitanie

À l'échelle régionale, les acteurs agricoles ont besoin de disposer d'indicateurs clés pour mieux comprendre et analyser les effets du changement climatique sur leurs systèmes de production, et faire les adaptations nécessaires. ORACLE Occitanie 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, etc.

Avec le soutien financier de

- ADEME DR Occitanie
- CRA Occitanie

Comité de pilotage

ADEME DR Occitanie	IDELE
Agence de l'eau	IFV
AREC Occitanie	INRAE
Arterris	Météo France
Arvalis	SUD EXPE
CRA Occitanie	Terres Inovia
CDA	UT2J
CEFEL	VIVEA
DRAAF	

Direction éditoriale et expertises agronomiques

CRA Occitanie

Données et expertises climatiques

Météo France



Documents téléchargeables sur : <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/>

Contact

Julie Bodeau – Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie

Julie.bodeau@occitanie.chambagri.fr



Sommaire par thématique

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Température moyenne annuelle
Température moyenne saisonnière
Nombre de jours estivaux par an
Nombre de jours de gel par an
Cumul annuel des précipitations
Cumul saisonnier des précipitations
Cumul saisonnier et annuel de l'ETP moyen

2 AGRO CLIMAT

Indice de fraîcheur des nuits du 1er août au 30 septembre
Nombre de jours de gel en mars impactant l'arboriculture
Nombre de jours de gel en avril impactant la vigne
Cumul de chaleur pour la vigne du 1er avril au 30 septembre
Nombre de jours échaudants au printemps
Nombre de jours échaudants estivaux pour la pomme
Nombre de jours échaudants pour les céréales à paille
Nombre de jours échaudants estivaux pour le maïs grain
Nombre de jours échaudants estivaux pour le maïs semence
Nombre de jours inférieurs à 10°C pour le potentiel de lever du maïs
Disponibilité thermique du maïs semence
Nombre de jours chauds impactant le confort thermique des bovins
Nombre de jours échaudants pour la vigne (entre mars et septembre)
Cumul de chaleur pour les cultures dérobées
Date de mise à l'herbe
Cumul des pluies estivales du 1er juillet au 30 septembre
Rechargement hivernal
Nombre maximal de jours secs consécutifs d'avril à octobre
Stress hydrique estival
Stress hydrique pour la vigne
Date de première fauche



3 IMPACTS AGRICOLES

Rendement du blé tendre

Rendement du blé dur

Rendement du maïs grain

Rendement des fourrages

Rendement de la vigne

Date de franchissement des 14 degrés alcooliques sur le Grenache Noir

Evolution de la date des vendanges

Caractéristiques des vins rouges du Languedoc-Roussillon

Evolution des aléas climatiques

4 ADAPTATIONS

Irrigation du tournesol

Irrigation de la vigne

5 ATTENUATIONS

Méthanisation agricole

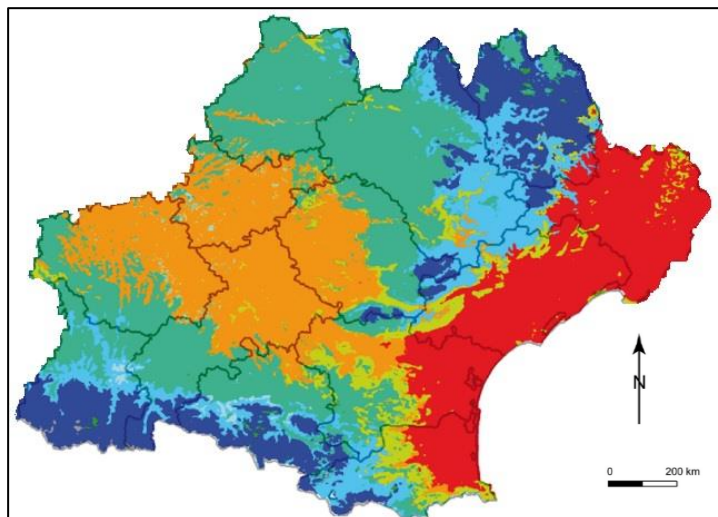
Surfaces en légumineuses

Surfaces en oléagineux



Le climat en Occitanie

Typologie climatique du territoire Occitanie



Source : *Les types de climats en France, une construction spatiale*, CNRS, INRA, 2010

- Type 1 : Les climats de montagne
- Type 2 : Le climat semi-continental et le climat des marges montagnardes
- Type 3 : Le climat océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord
- Type 4 : Le climat océanique altéré
- Type 5 : Le climat océanique franc
- Type 6 : Le climat méditerranéen altéré
- Type 7 : Le climat du Bassin du Sud-Ouest
- Type 8 : Le climat méditerranéen franc

Avec plus de 2000 heures d'ensoleillement par an, la région Occitanie est une des régions les plus ensoleillées de France. Elle est à cheval sur trois grands domaines climatiques :

- Le littoral languedocien est soumis au **climat méditerranéen franc**. Il est caractérisé par un ensoleillement de plus de 2500 heures par an, une forte sécheresse estivale et d'abondantes précipitations automnales. Les étés sont chauds (25 à 60 jours supérieurs à 30°C) et les gelées peu fréquentes (15 à 25 jours de gelées en plaine par an). A l'automne (en général), le Languedoc-Roussillon et la Lozère sont soumis à des épisodes cévenoles. L'air humide venant de Méditerranée se retrouve bloqué par le relief des Cévennes et provoque une série d'orages diluviens, l'air chaud revenant sans cesse au contact de l'air froid en altitude. Les situations orageuses de type cévenol peuvent donner l'équivalent de plusieurs mois de pluie en quelques jours.



- **Le Climat du Bassin Sud-Ouest** qui concerne le bassin moyen de la Garonne, est caractérisé par un ensoleillement annuel proche de 2000 heures. Située à mi-chemin entre l'Atlantique et la Méditerranée, cette zone est balayée par 2 vents dominants : l'Autan avec ses rafales de sud-est qui dessèchent les cultures et le vent d'ouest porteur de pluie. Les étés plutôt chauds et secs sont inégalement arrosés par des orages. En moyenne, Toulouse bénéficie de 28 jours supérieurs à 30°C et de 31 jours de gel par an.
- **Le Climat de montagne et marge montagnarde**, présent en Occitanie dans les Pyrénées et le sud-ouest du Massif Central (Lozère, Aveyron, est du Lot) se manifeste par une diminution assez régulière des températures avec l'altitude et une augmentation des précipitations (qui tombent sous forme de neige selon la nature des perturbations, l'orientation des pentes, l'exposition ou l'altitude).

Le climat passé en Occitanie

Le changement climatique se traduit principalement par une hausse des températures, marquée surtout depuis les années 1980. Sur la période 1959-2009, on observe une augmentation des températures annuelles de 0.3°C par décennie en moyenne sur la région.

À l'échelle saisonnière, ce sont le printemps et l'été qui se réchauffent le plus, avec des hausses de 0.3°C à 0,5°C par décennie. En automne et en hiver, les tendances sont également en hausse mais avec des valeurs moins fortes, d'environ 0,1°C à 0.3°C par décennie.

En cohérence avec cette augmentation des températures, le nombre de journées chaudes (températures maximales supérieures ou égales à 25°C) augmente de 3 à 6 jours par décennies (en dehors du relief et du littoral méditerranéen) et le nombre de jours de gel diminue légèrement.

L'évolution des précipitations est moins visible car la variabilité d'une année sur l'autre est importante. Sur la période 1959-2009 en Occitanie, la tendance annuelle de la pluviométrie est à la baisse, une baisse peu marquée.

Faute d'un accroissement du cumul de pluie, l'augmentation de la température favorise l'augmentation de phénomènes comme la sécheresse et le déficit en eau dans le sol, essentiellement par effet d'évaporation.

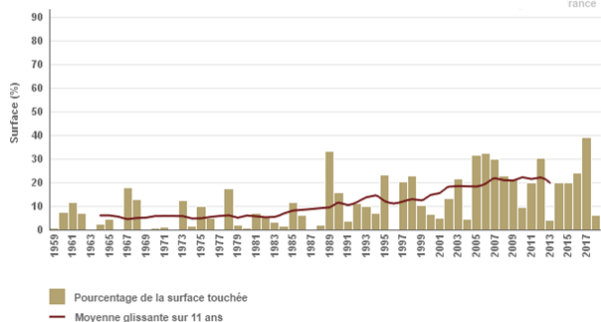
La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 en Occitanie montre un assèchement de l'ordre de 6 % à 7% sur l'année, à l'exception de l'automne.

L'analyse du pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse des sols depuis 1959 permet d'identifier les années ayant connu les événements les plus sévères comme 2017 et

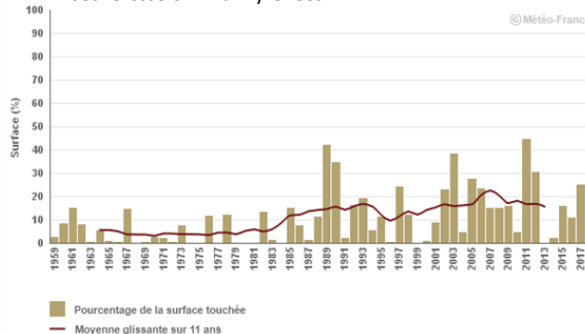


1989 en Languedoc Roussillon et 2011 et 1989 en Midi-Pyrénées. L'évolution de la moyenne décennale montre une forte augmentation de la surface des sécheresses passant de valeurs de l'ordre de 5 % dans les années 1960 à plus de 15 % ou 20 % de nos jours.

Pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse en Languedoc Roussillon

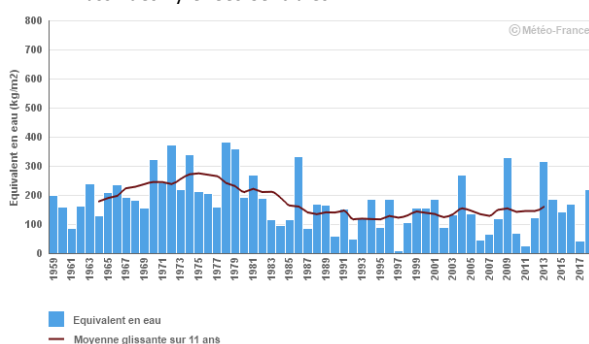


Pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse en Midi-Pyrénées

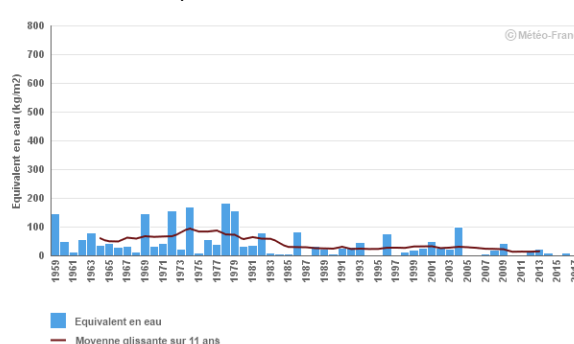


On constate également une durée d'enneigement qui diminue en moyenne montagne et une réduction du stock nival.

Equivalent en eau du manteau neigeux au 1^{er} mai
Massif des Pyrénées Centrales



Equivalent en eau du manteau neigeux au 1^{er} mai
Massif des Pyrénées Orientales



Depuis 1959, l'équivalent en eau du manteau neigeux au 1^{er} mai est très variable d'une année à l'autre. Cette quantité est restée en moyenne assez élevée jusqu'au début des années 1980, période à partir de laquelle elle a très souvent été en dessous de valeur normale. En moyenne elle a subi une réduction modérée de -8 kg/m^2 par décennie (soit -4% par décennie) sur les Pyrénées Centrales et de -11 kg/m^2 par décennie (soit -18% par décennie) sur les Pyrénées Orientales.

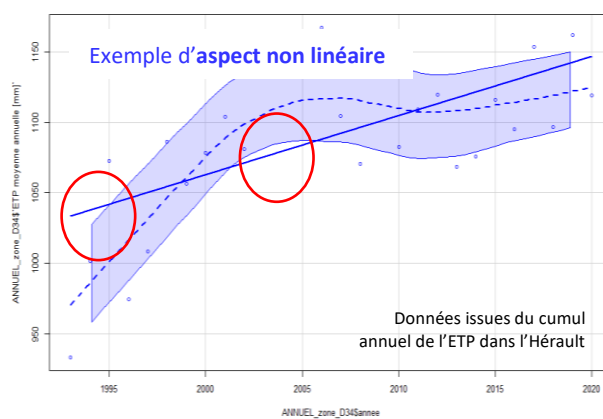
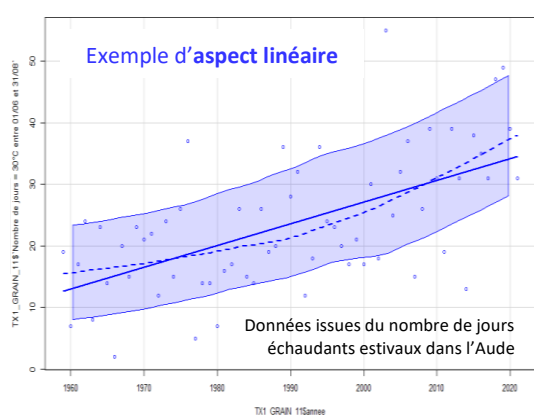


Traitement des données

Afin d'étudier l'effet du changement climatique sur les différents indicateurs, les données ont été traitées par régression via le logiciel R. On cherche à identifier l'existence ou non de tendance que l'on peut résumer par ces deux hypothèses (H) :

- H0 : la tendance est significative : il y a un effet significatif du changement climatique
- H1 : la tendance n'est pas significative : il n'y a pas d'effet significatif du changement climatique

Pour répondre à cette question, deux types de régressions ont été envisagées selon l'aspect des jeux de données.



Dans le cas où les données ont un aspect linéaire on optera pour une régression linéaire d'équation $y = ax + b$. Dans le cas où les données ne semblent pas linéaires, on pourra éventuellement opter pour une régression polynomiale du second degré de type $y = ax^2 + bx + c$. Le but étant de choisir un modèle qui représentera au mieux le jeu de données. A noter qu'il est toujours possible de vérifier a posteriori la qualité du modèle, soit en utilisant le R^2 qui plus il est proche de 1 et plus il atteste de la bonne qualité du modèle, soit en utilisant le test de Fisher, qui atteste d'une bonne qualité du modèle lorsque sa p-value est $< 0,05$.

Après avoir choisi le type de régression le plus adéquat, on peut répondre aux hypothèses initiales en exécutant le test t de Student. Il nous permet d'assurer avec une confiance de 95% que la tendance est significative si la p-value est $< 0,05$ ou au contraire que la tendance n'est pas significative si la p-value est $> 0,05$. Lorsque la tendance est significative, on peut en déterminer sa force selon sa p-value : $*** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05$: plus le nombre d'astérisque est important plus la force de la tendance l'est.

Afin d'avoir plus d'information sur le modèle et vérifier que le test de Student peut s'appliquer correctement, trois conditions doivent être vérifiées sur les résidus de la régression.

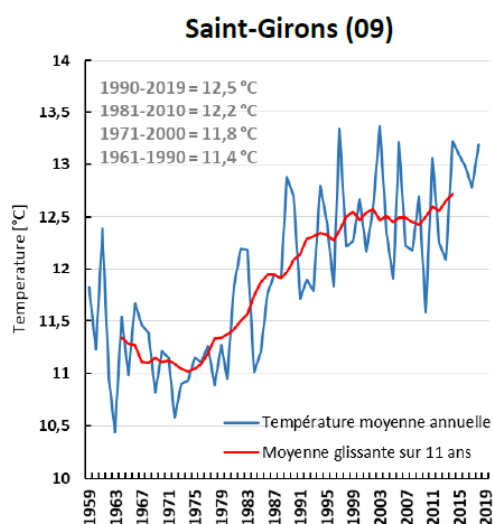
1. Leur normalité via un test de Shapiro-Wilk et un Q-q plot
2. Leur indépendance via un test de Durbin-Watson et un lag plot



3. La constance de la variance (homocédasticité) via le test de Breush-Pagan et un residuals vs fitted plot.

Si toutes les conditions sont respectées (p -value > 0.05), on peut conclure sur l'effet du changement climatique sur l'indicateur. En revanche, si au moins l'une d'entre elles n'est pas respectée, les conclusions devront être faites avec prudence. Dans ce cas de figure, on choisira d'exécuter en complément le test de tendance non-paramétrique de Mann-Kendall pour sécuriser les conclusions. Enfin, si le test de Mann-Kendall est en contradiction avec les résultats des régressions, aucune conclusion n'est alors faite, et on optera pour une simple description du comportement de l'indicateur.

Représentation graphique



Les données sont représentées sous forme de graphiques avec également la présence des **normales climatiques**. Elles correspondent aux valeurs moyennes sur 30 ans (valeur préconisée par l'Organisation Météorologique Mondiale) et permettent de mettre en évidence les éventuelles évolutions du climat en s'affranchissant de la variabilité interannuelle.

Dans ce livret, quatre normales ont été calculées : 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 et 1990-2019. Les comparer permet de suivre l'évolution du climat sur la fin du 20^{ème} siècle.

Est également représentée par une courbe rouge, la **moyenne glissante**. En supprimant les fluctuations, elle permet d'analyser les séries temporelles et d'identifier les tendances sur le long terme.

Pour les indicateurs climatiques et agro-climatiques, les données les plus récentes sont de couleurs plus claires parce qu'elles correspondent à des valeurs brutes et non SQR comme le reste de la série.



Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

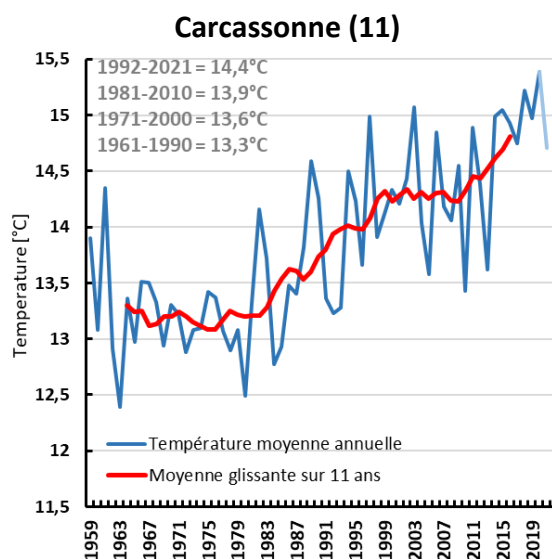
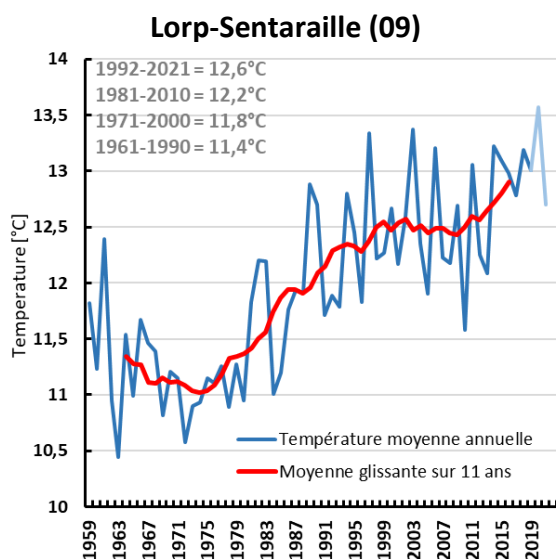
- Lorp-Sentaraille (09) : 1959 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1959 à 2021
- Auch (32) : 1959 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1959 à 2021
- Gourdon (46) : 1959 à 2021
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021
- Perpignan (66) : 1959 à 2021
- Lacaune (81) : 1961 à 2021
- Montauban (82) : 1959 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières
- Moyenne trentenaire des températures moyennes annuelles : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021

📈 Évolution observée

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



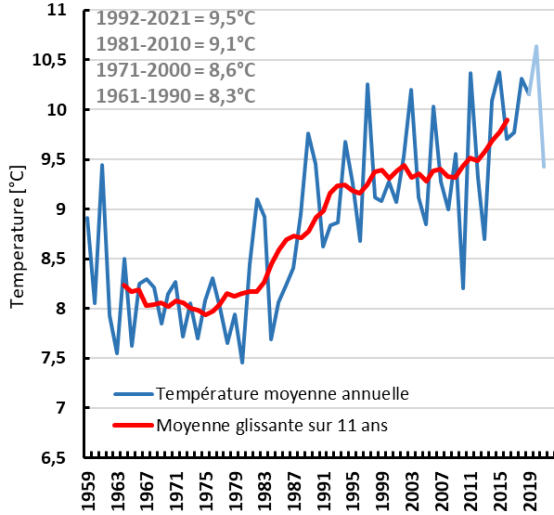
1

CHANGEMENT CLIMATIQUE

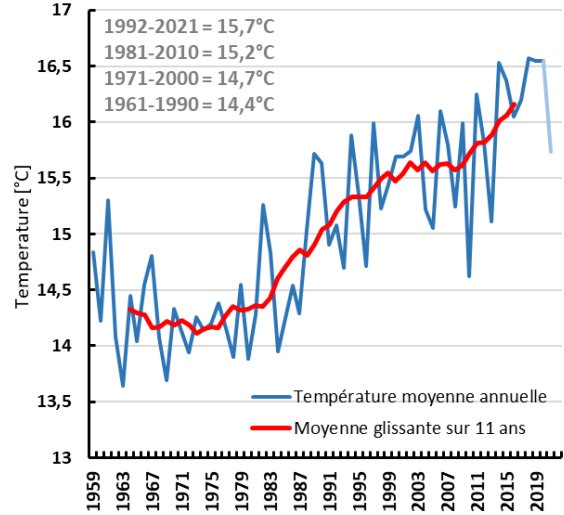


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

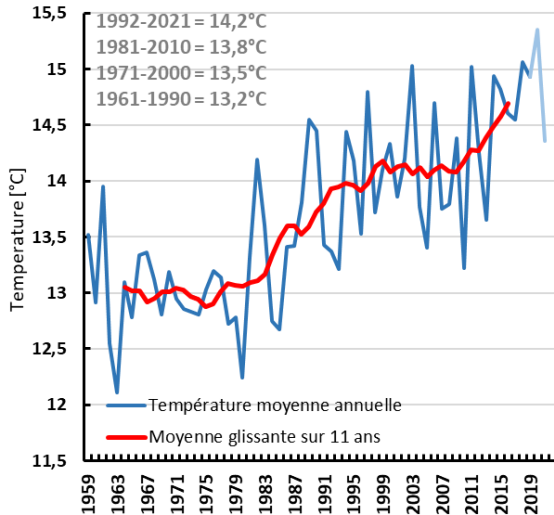
Salles-Curan (12)



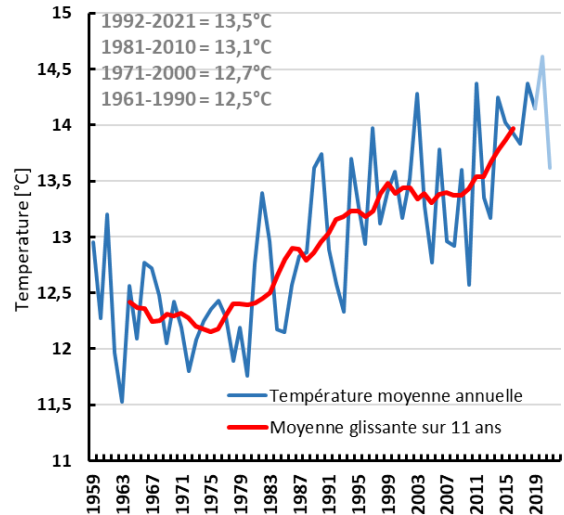
Nîmes-Courbessac (30)



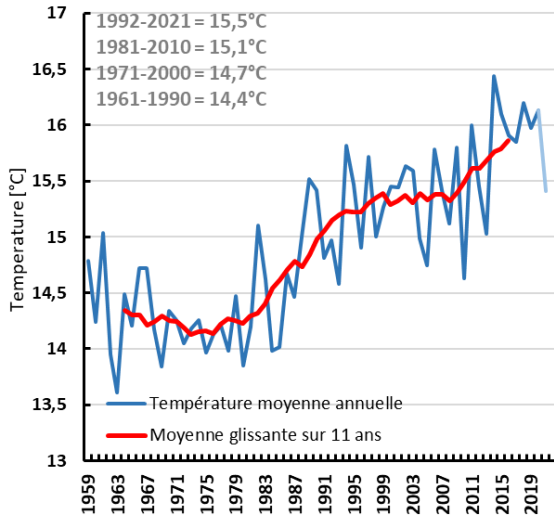
Toulouse-Blagnac (31)



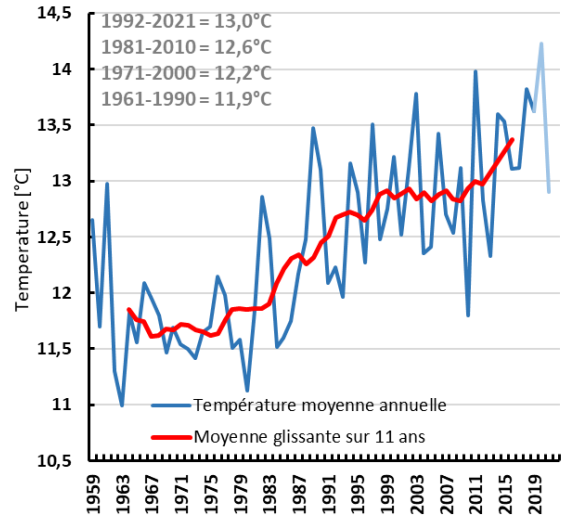
Auch (32)



Montpellier-Maugio (34)



Gourdon (46)

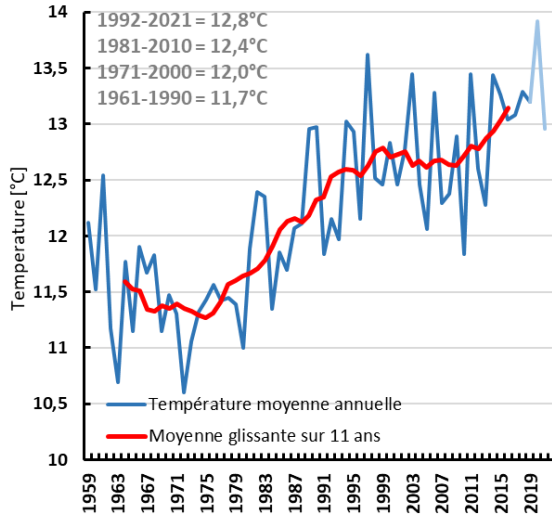


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

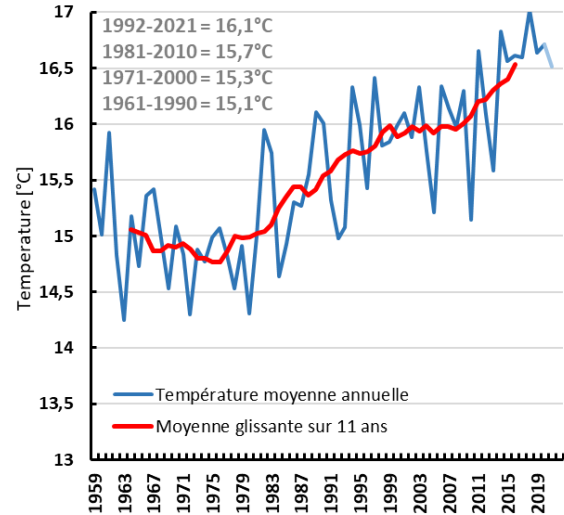


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

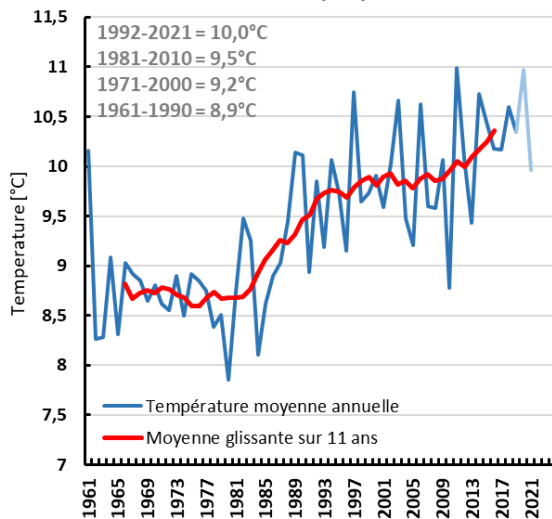
Tarbes-Ossun (65)



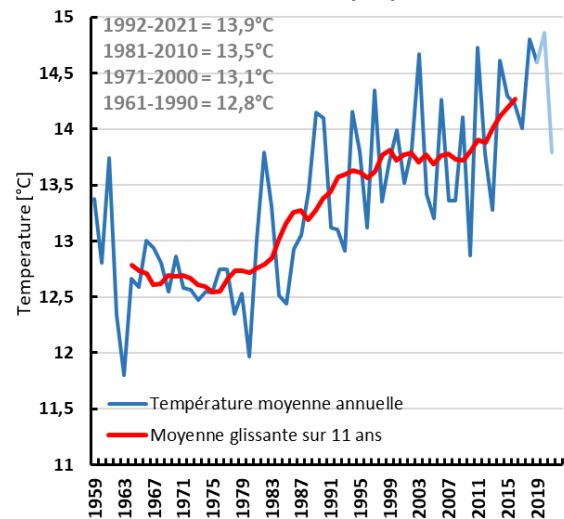
Perpignan (66)



Lacaune (81)



Montauban (82)



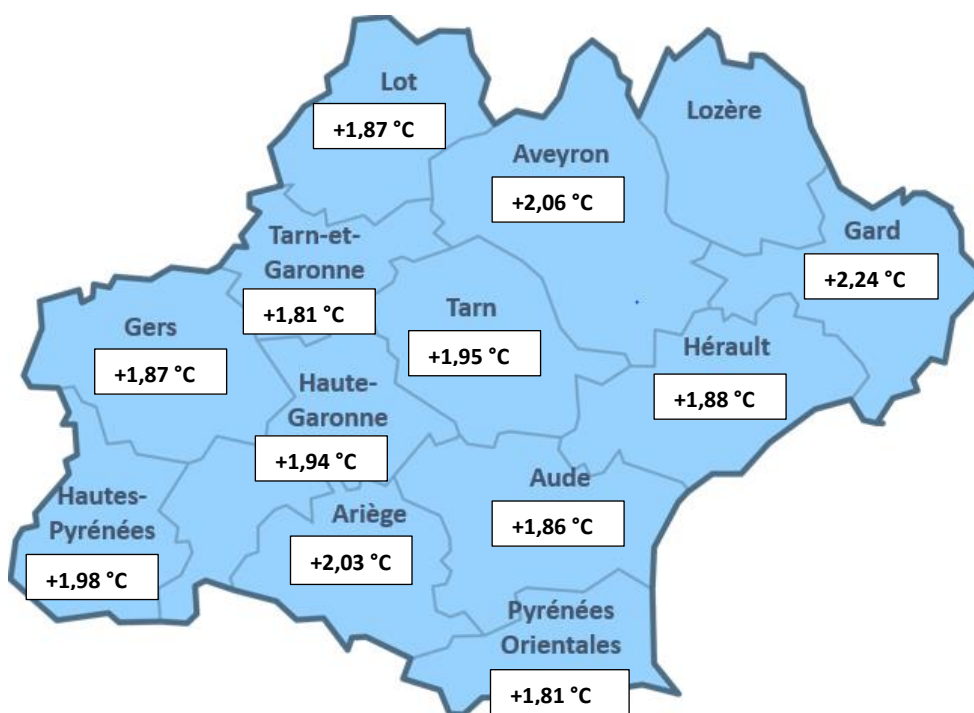


Analyse

L'évolution de la température moyenne observée en Région Occitanie depuis 1965 (1961 pour la station dans le Tarn) pour chaque station est significative, avec :

- + 0,34°C par décennie à Saint-Girons soit + 2,03°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Carcassonne soit + 1,86°C en 62 ans
- + 0,34°C par décennie à Salles-Curan soit + 2,06°C en 62 ans
- + 0,37°C par décennie à Nîmes-Courbessac soit + 2,24°C en 62 ans
- + 0,32°C par décennie à Toulouse-Blagnac soit + 1,94°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Auch soit + 1,87°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Montpellier-Maugio soit + 1,88°C en 62 ans
- + 0,31°C par décennie à Gourdon soit + 1,87°C en 62 ans
- + 0,33°C par décennie à Tarbes-Ossun soit + 1,98°C en 62 ans
- + 0,30°C par décennie à Perpignan soit + 1,81°C en 62 ans
- + 0,33°C par décennie à Lacaune soit + 1,95°C en 60 ans
- + 0,30°C par décennie à Montauban soit + 1,81°C en 62 ans

Evolution de la température moyenne annuelle en 62 ans





L'évolution de température moyenne annuelle observée en Occitanie depuis le milieu du XX^{ème} siècle est plus marquée que ce qui est observé au niveau national. Plusieurs éléments méritent d'être soulignés :

- Les fortes variations de température d'une année à l'autre (variabilité dite interannuelle) sont fréquemment supérieures à la variation tendancielle sur le long terme, perturbant ainsi la perception de la tendance ;
- L'accroissement sur un siècle (1901-2000) des températures moyennes en France est important (de 0,7 °C à plus de 1,1 °C), soit entre + 0,07 et 0,11 °C/10 ans. Sur la région Occitanie, la moyenne des 12 stations montre une augmentation de 1,94°C sur la période 1959 - 2021, soit **+ 0,32°C/10 ans**. Ce réchauffement s'accélère à partir du milieu du XX^{ème} siècle, et particulièrement à partir des années 1980 : accroissement 3 fois plus important entre 1959 - 2021 (= tendance régionale) par rapport à 1901 - 2000 (= tendance nationale).
- Ces évolutions se retrouvent dans la moyenne d'autres régions comme par exemple :
 - + 0,33 °C par décennie en Nouvelle Aquitaine (1959-2019) (ORACLE Nouvelle Aquitaine, 2020)
 - + 0,33 °C par décennie en Centre Val de Loire (1959-2020) (ORACLE Centre Val de Loire, 2022)
- L'accélération du réchauffement impacte fortement l'agriculture au travers notamment du raccourcissement des calendriers culturaux et de l'augmentation des stress thermiques des cultures. Le dernier rapport du GIEC confirme la très forte probabilité que ce réchauffement se poursuive.

A retenir

- ✓ L'augmentation tendancielle de la température est de + 0,32°C par décennie sur la période d'observation (1959 à 2021), soit + 1,94 °C en 62 ans.
- ✓ Depuis le milieu des années 1980, le réchauffement s'est accentué.
- ✓ Cet accroissement important des températures, de plus en plus rapide ces dernières décennies, impose au conseiller agricole de réactualiser les références climatiques utilisées (dates de semis, choix de variétés) pour mieux anticiper les conditions thermiques des prochaines années.
- ✓ La variabilité interannuelle reste présente ce qui impose une réactivité importante dans les choix qui sont faits et d'intégrer la notion de risque et de résilience des systèmes de cultures proposés.

Note statistique : sur ce jeu de données, deux tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire et polynomiale.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Pour en savoir plus

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



Températures moyennes saisonnières

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

Indicateur

- Lorp-Sentaraille (09) : 1959 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1959 à 2021
- Auch (32) : 1959 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1959 à 2021
- Gourdon (46) : 1959 à 2021
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021
- Perpignan (66) : 1959 à 2021
- Lacaune (81) : 1961 à 2021
- Montauban (82) : 1959 à 2021

Calcul de l'indicateur

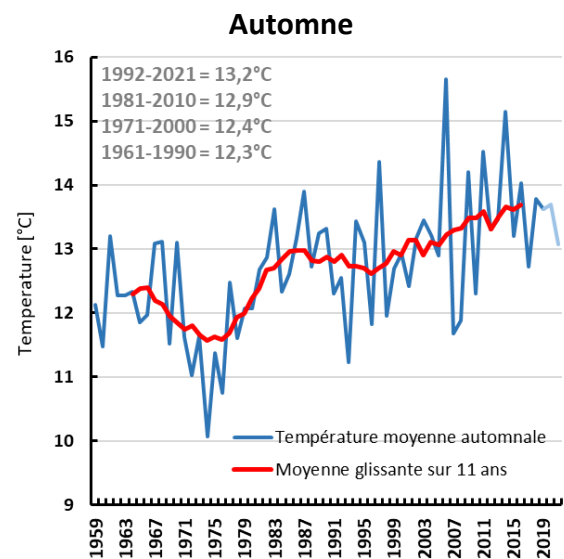
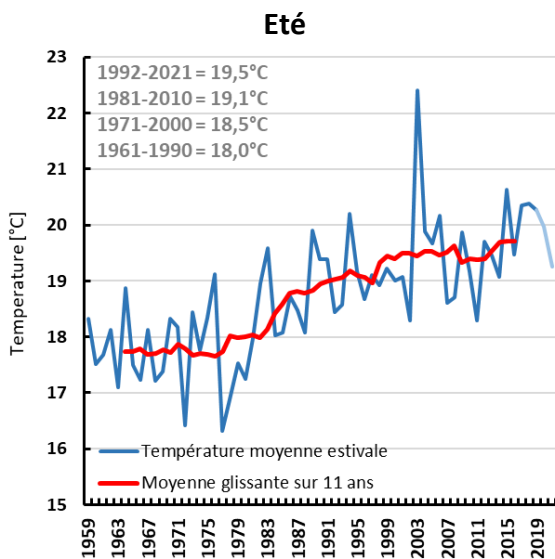
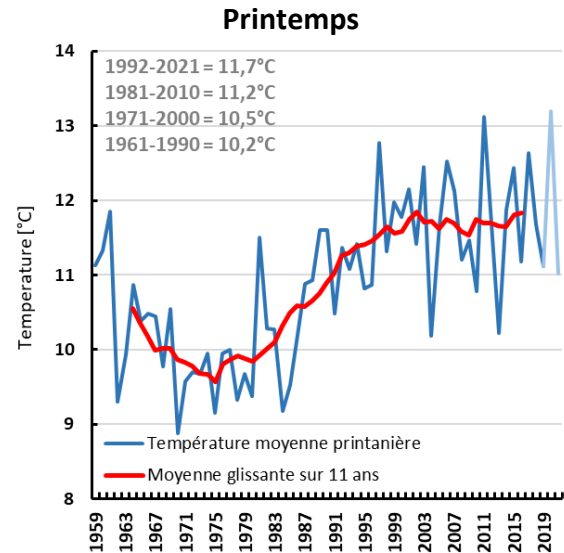
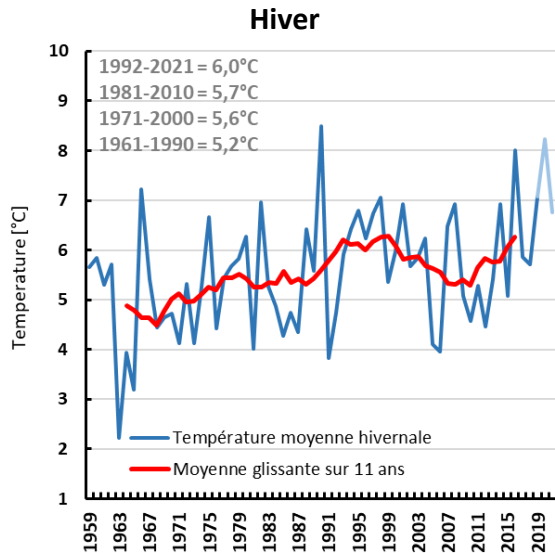
- Moyenne par saison des températures moyennes journalières (Hiver : décembre à février ; Printemps : mars à mai ; Été : juin à août ; Automne : septembre à novembre)
- Moyenne trentenaire des températures moyennes saisonnières : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992 - 2021

Évolution observée

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

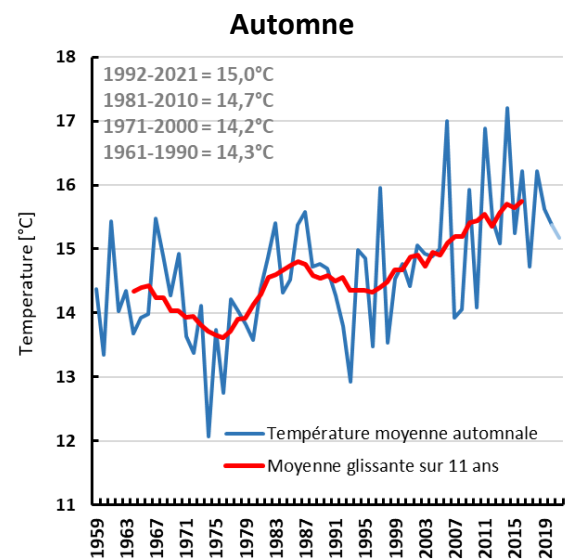
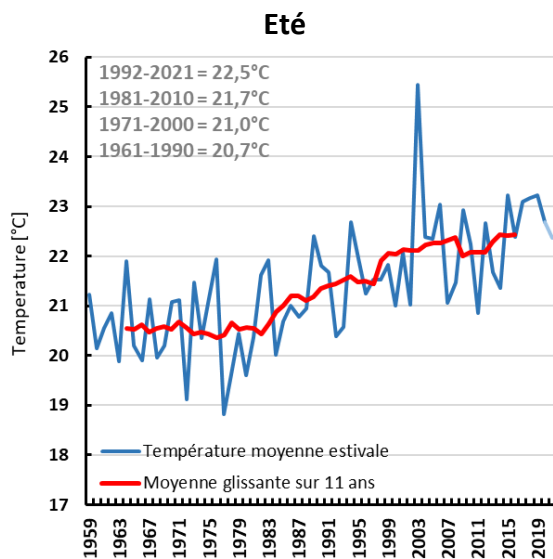
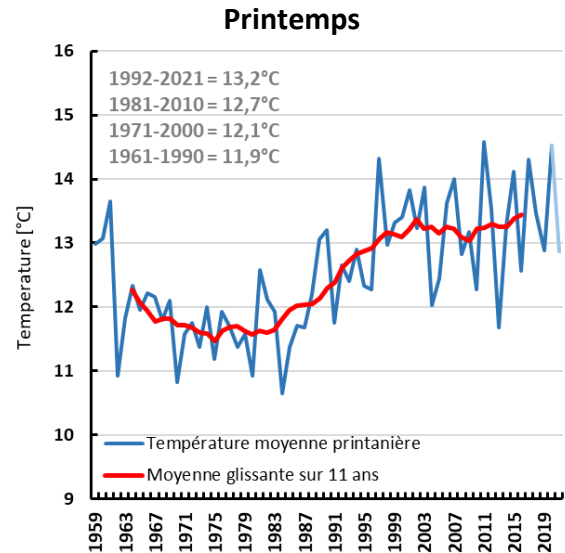
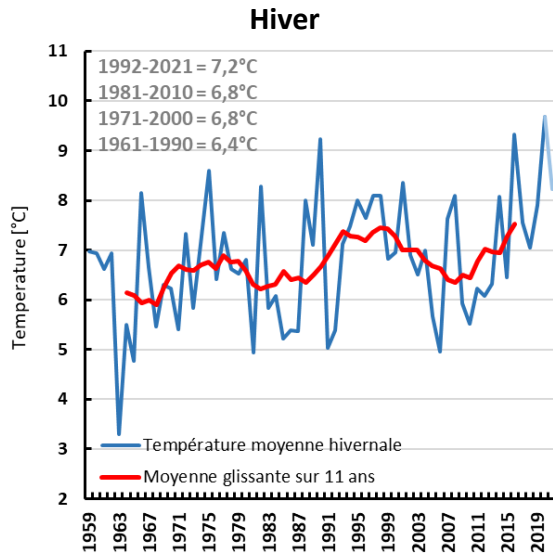


Lorp-Sentaraille (09)





Carcassonne (11)

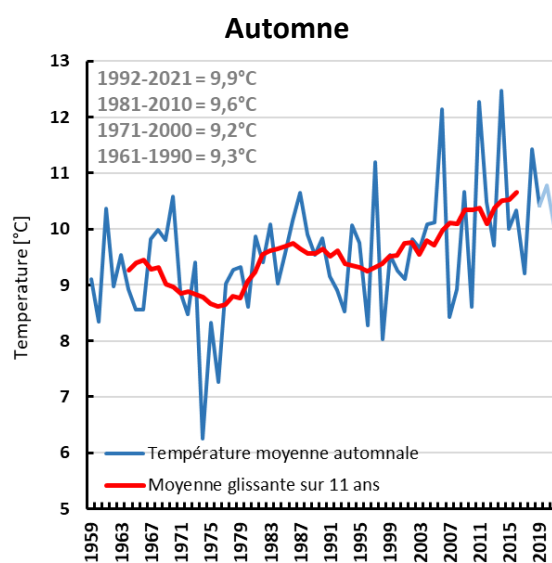
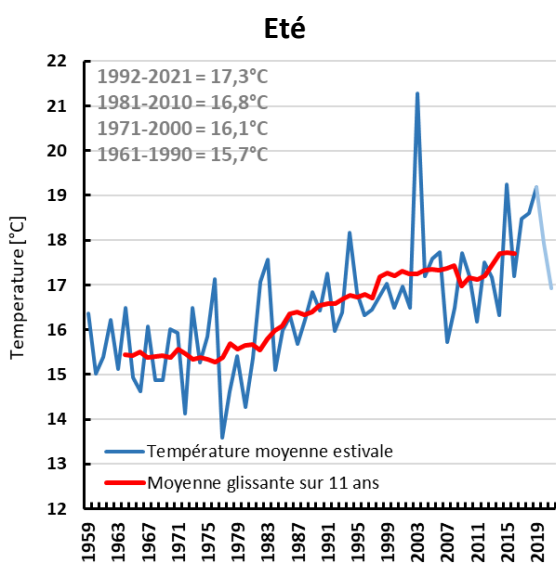
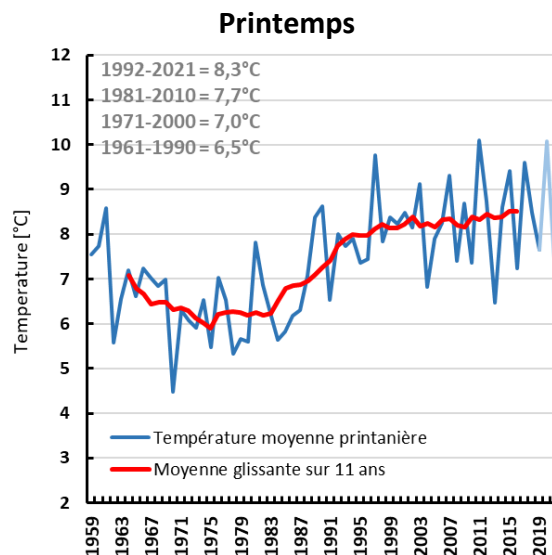
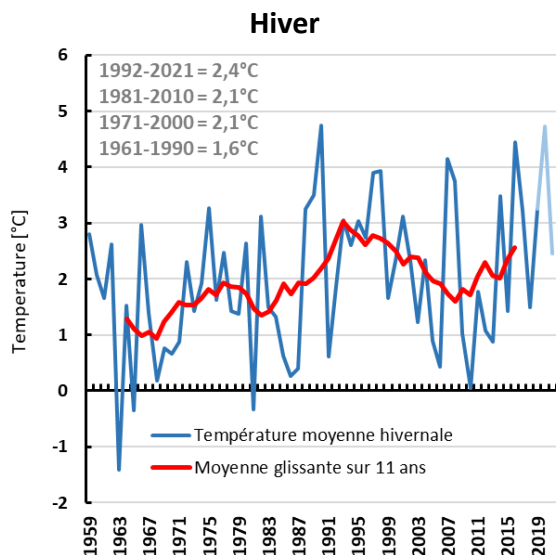


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

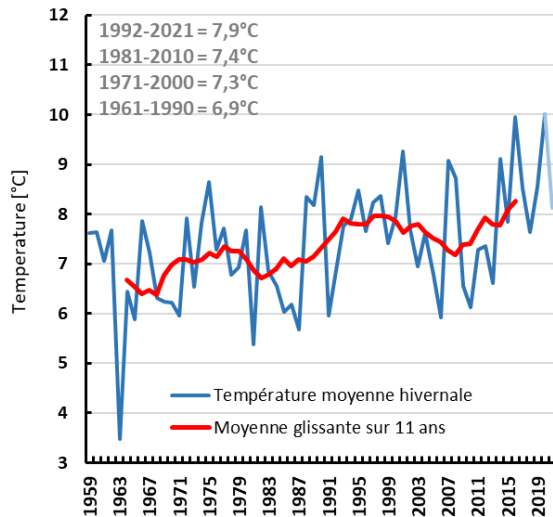
Salles-Curan (12)



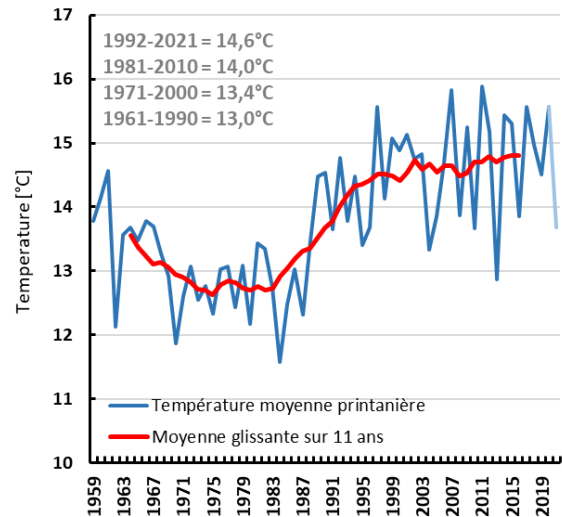


Nîmes-Courbessac (30)

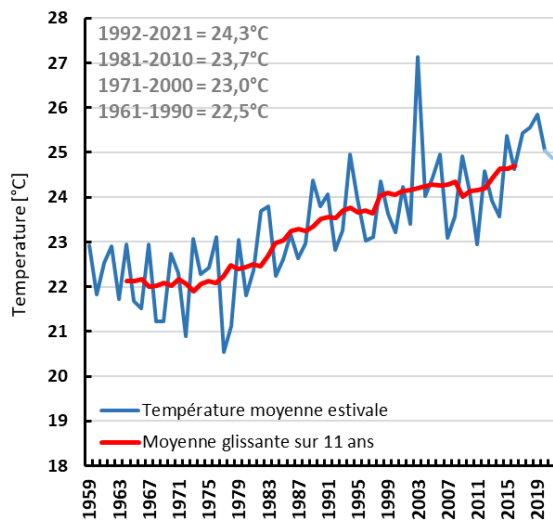
Hiver



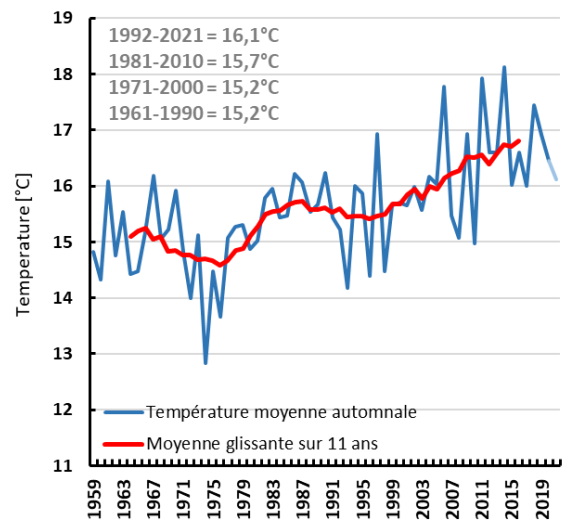
Printemps



Eté

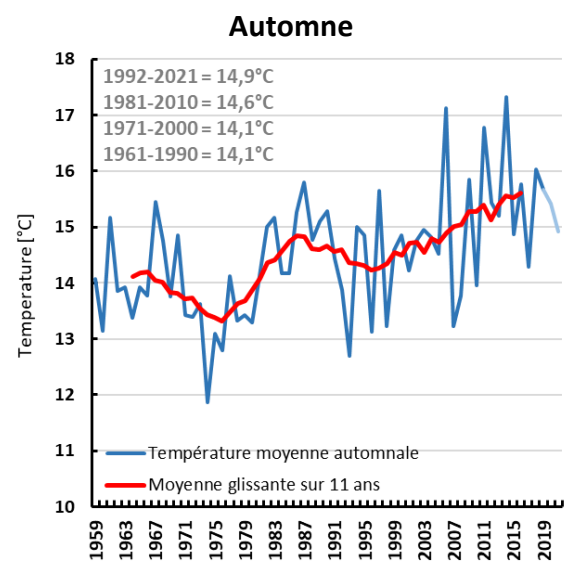
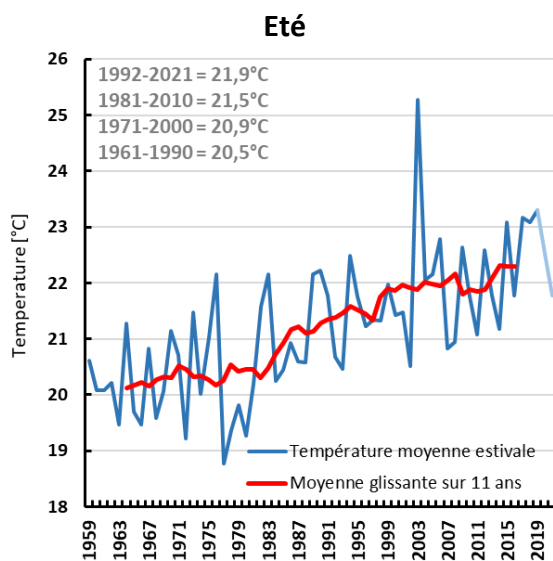
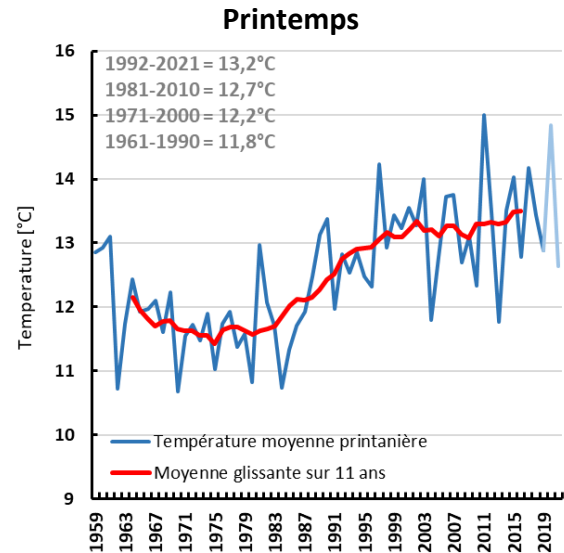
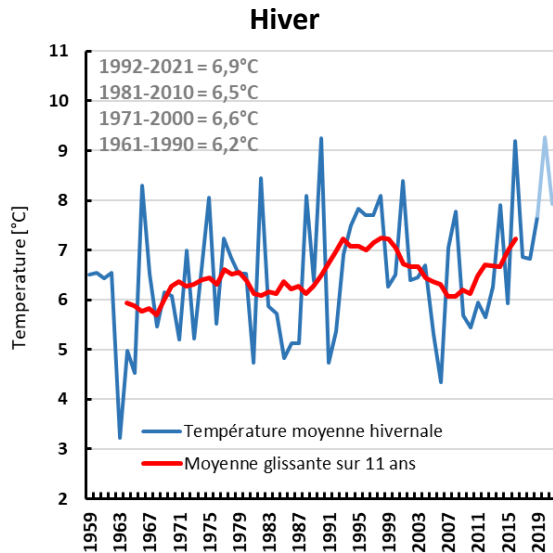


Automne





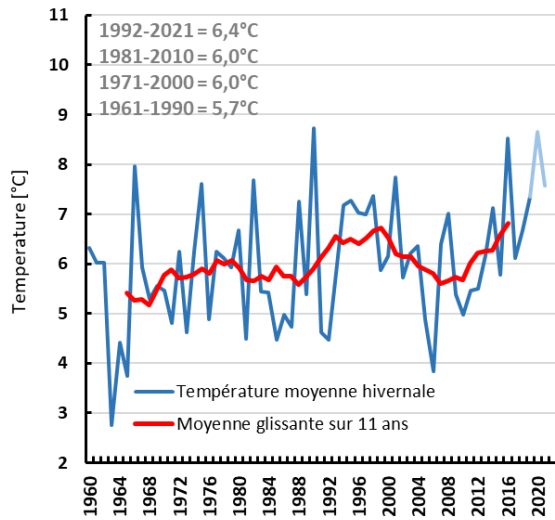
Toulouse-Blagnac (31)



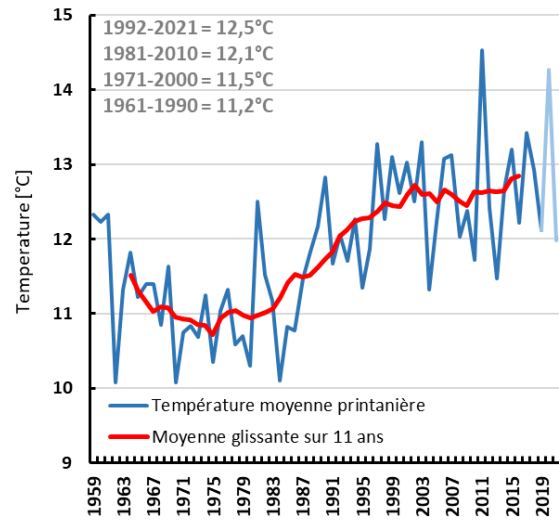


Auch (32)

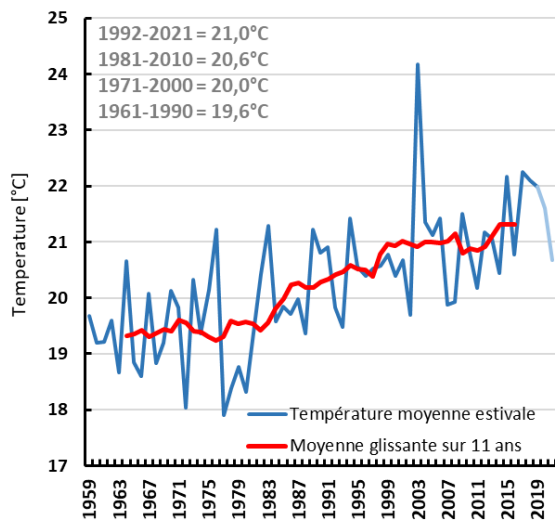
Hiver



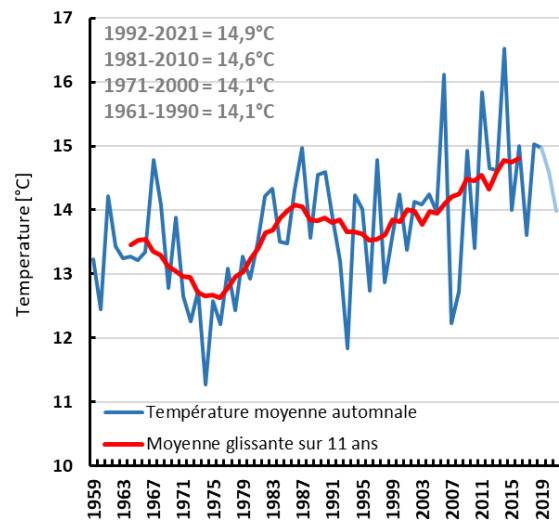
Printemps



Été

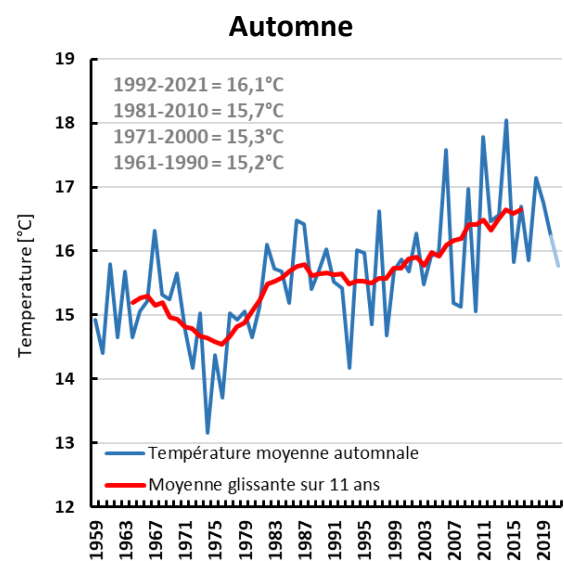
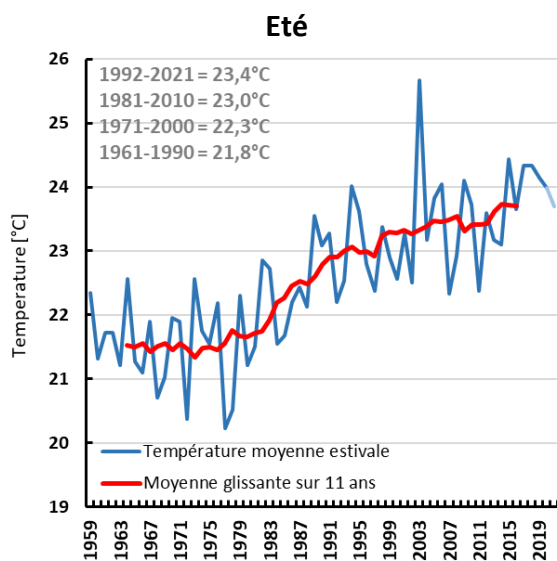
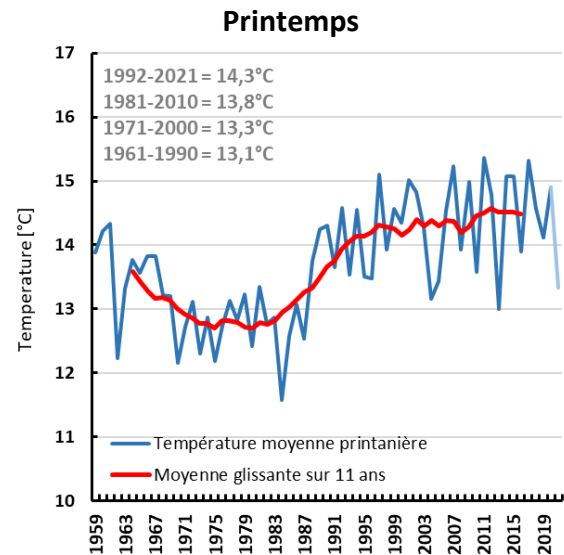
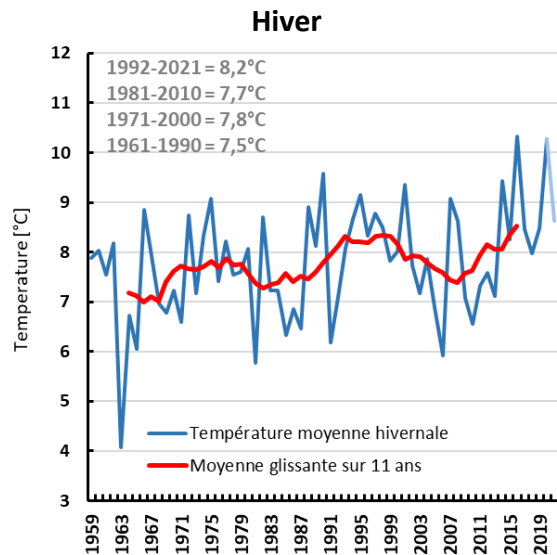


Automne



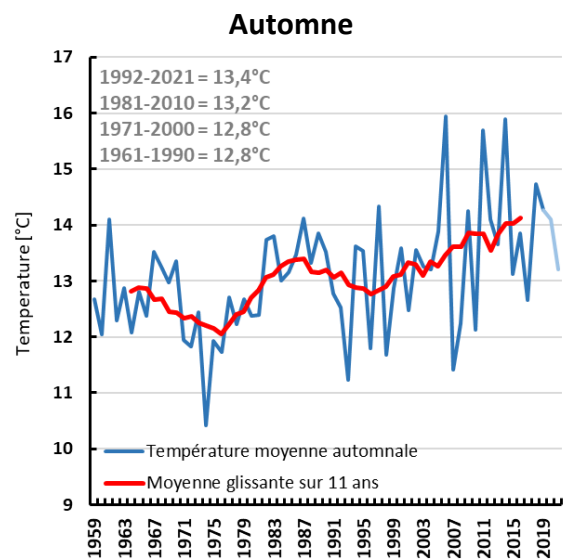
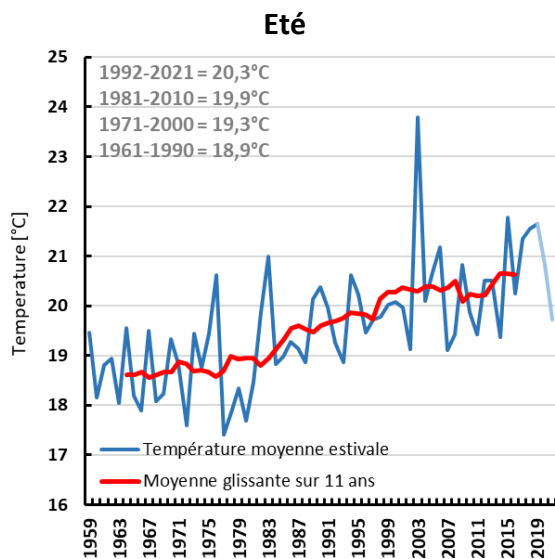
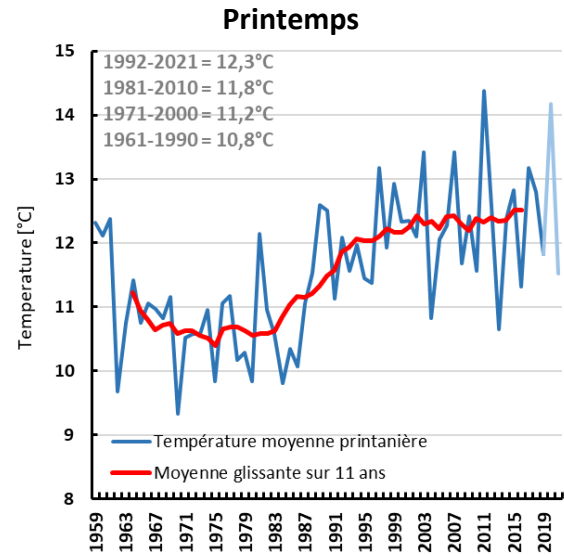
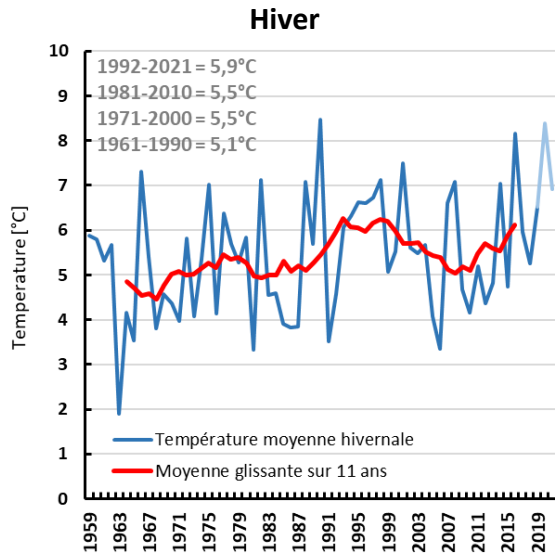


Montpellier-Maugio (34)





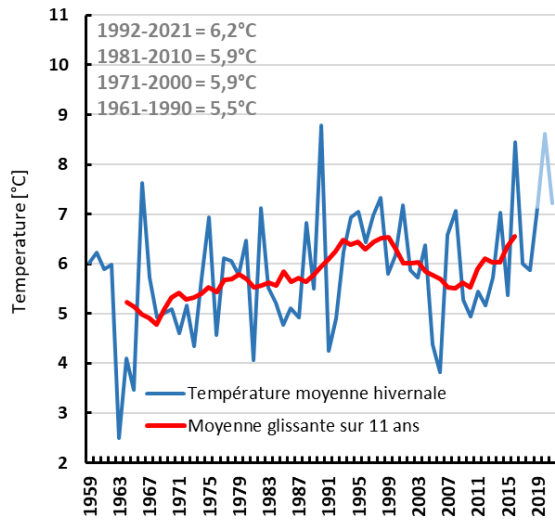
Gourdon (46)



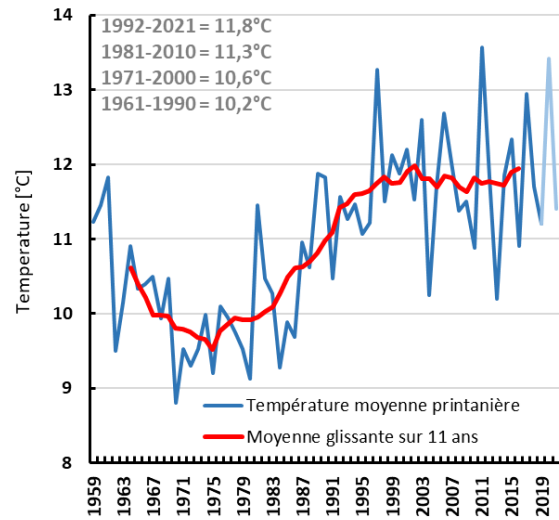


Tarbes-Ossun (65)

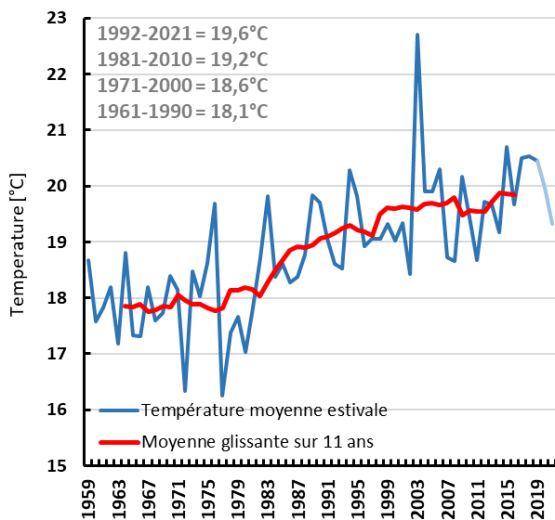
Hiver



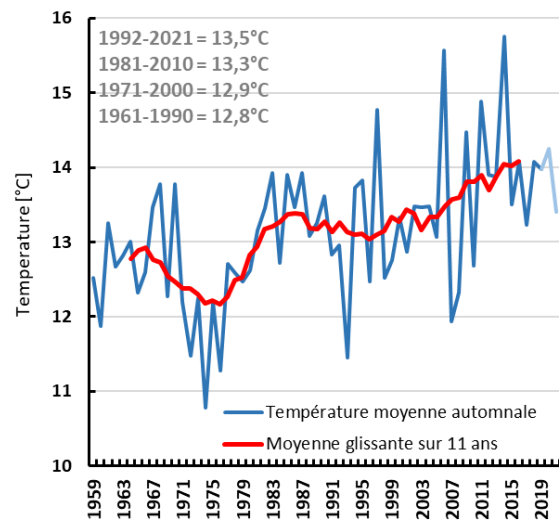
Printemps



Eté

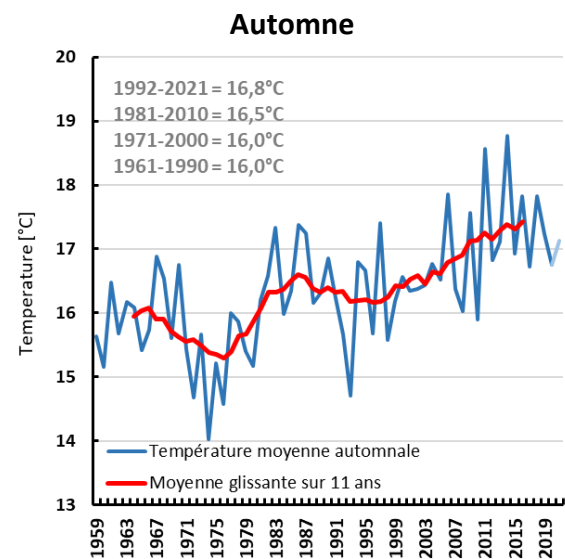
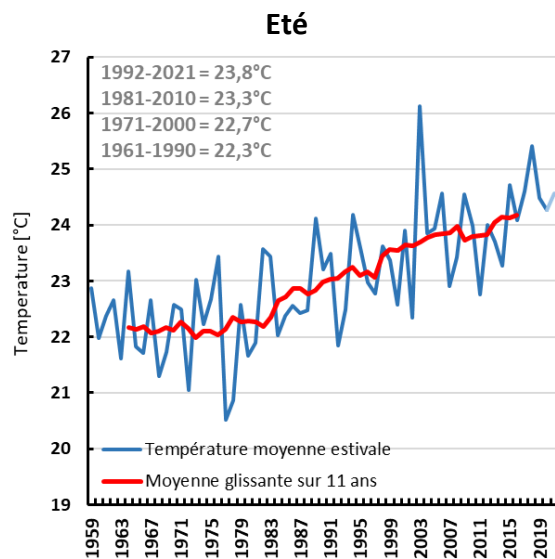
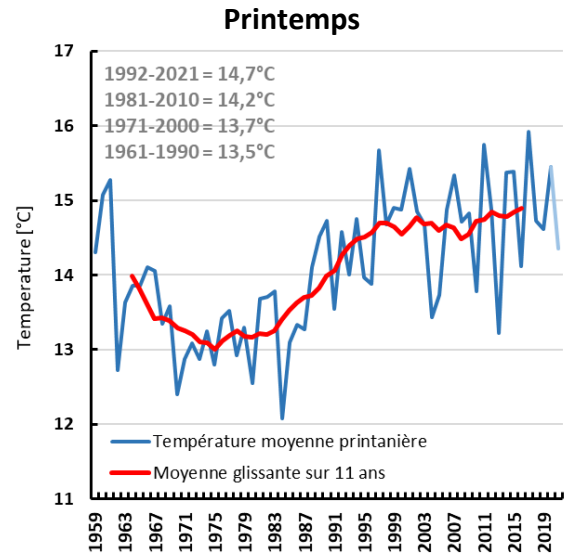
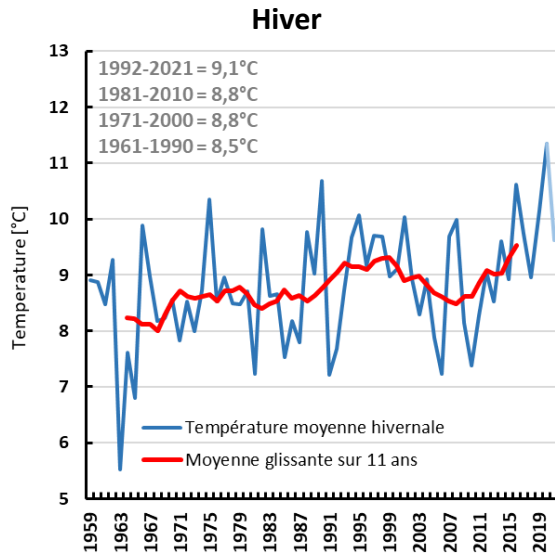


Automne





Perpignan (66)

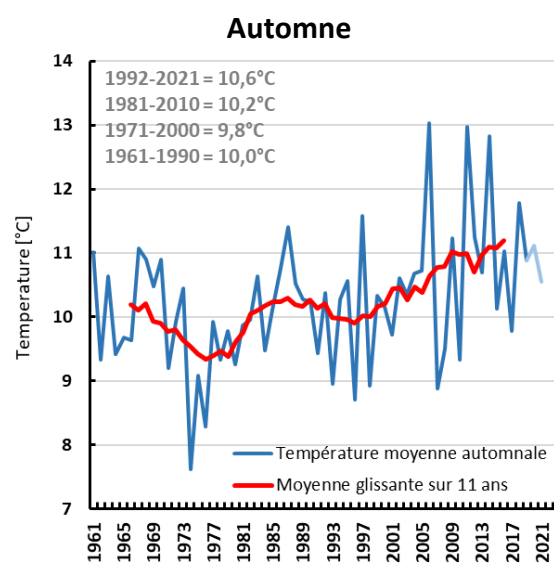
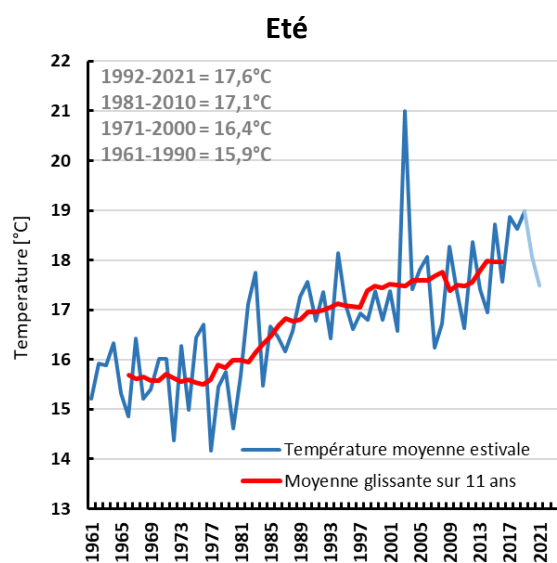
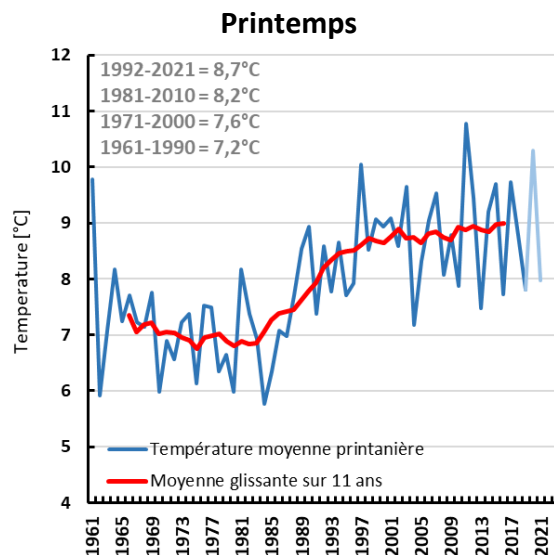
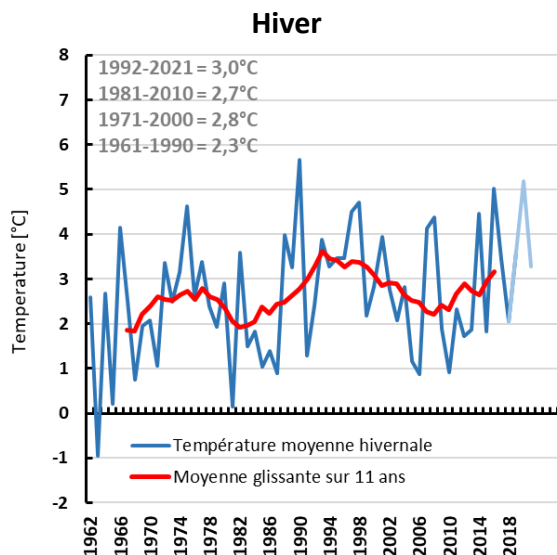


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



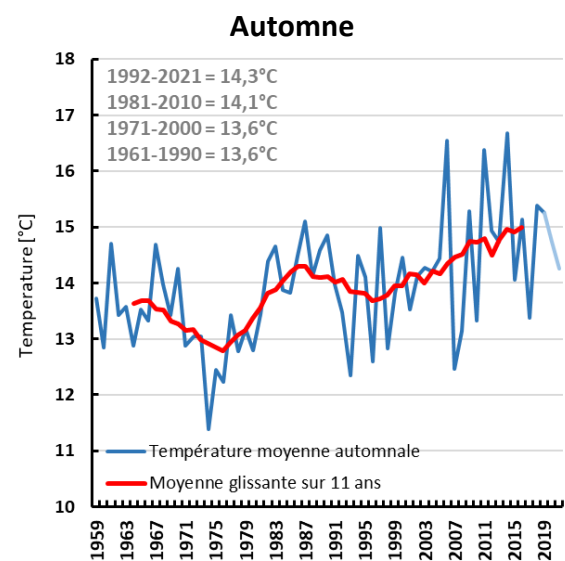
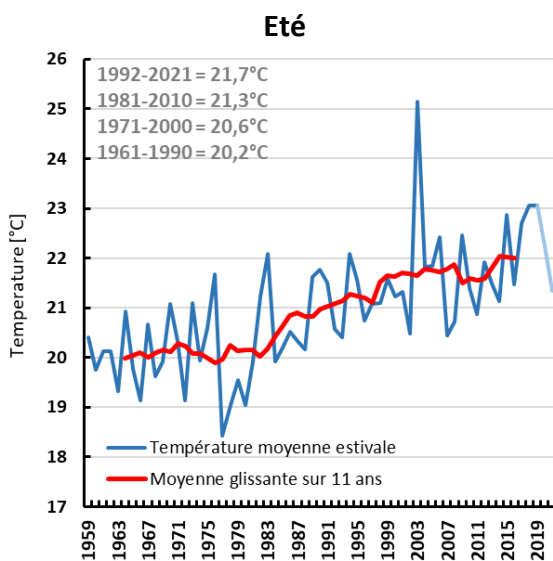
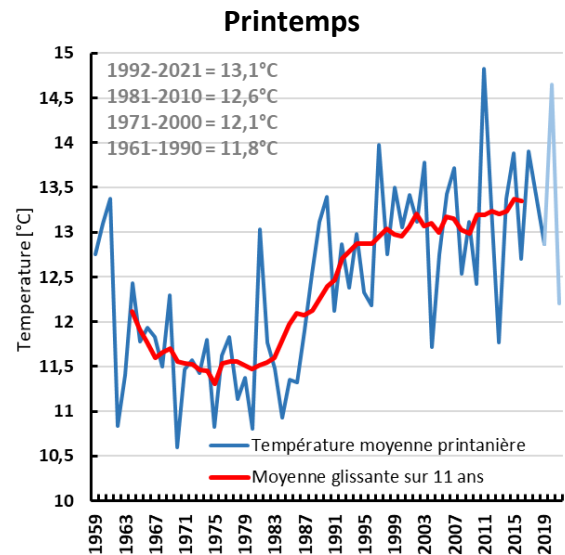
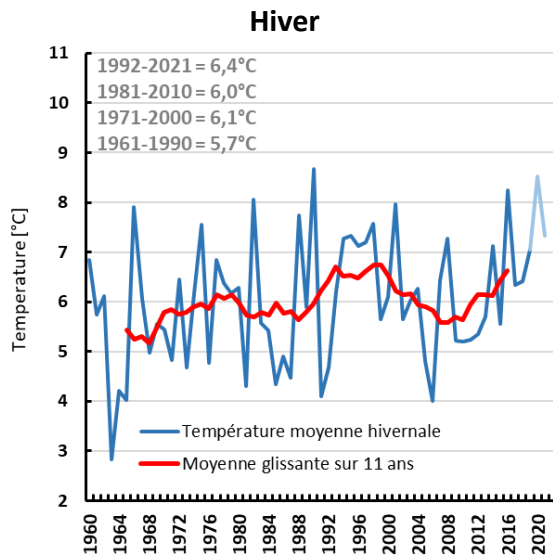
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Lacaune (81)





Montauban (82)





Analyse

Analyse de la tendance linéaire par décennie sur la période 1959 - 2021 des 12 stations départementales :

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Lorp-Sentaraille	+ 0,25 (S)	+ 0,36 (S)	+ 0,43 (S)	+ 0,30 (S)
Carcassonne	+ 0,22 (S)	+ 0,31 (S)	+ 0,42 (S)	+ 0,28 (S)
Salles-Curan	+ 0,22 (S)	+ 0,40 (S)	+ 0,47 (S)	+ 0,26 (S)
Nîmes-Courbessac	+ 0,27 (S)	+ 0,35 (S)	+ 0,54 (S)	+ 0,33 (S)
Toulouse-Blagnac	+ 0,21 (S)	+ 0,33 (S)	+ 0,44 (S)	+ 0,29 (S)
Auch	+ 0,23 (S)	+ 0,34 (S)	+ 0,41 (S)	+ 0,27 (S)
Montpellier-Maugio	+ 0,20 (S)	+ 0,28 (S)	+ 0,47 (S)	+ 0,30 (S)
Gourdon	+ 0,23 (S)	+ 0,34 (S)	+ 0,41 (S)	+ 0,25 (S)
Tarbes-Ossun	+ 0,24 (S)	+ 0,38 (S)	+ 0,43 (S)	+ 0,26 (S)
Perpignan	+ 0,20 (S)	+ 0,27 (S)	+ 0,43 (S)	+ 0,29 (S)
Lacaune	+ 0,22 (S)	+ 0,39 (S)	+ 0,51 (S)	+ 0,21 (S)
Montauban	+ 0,20 (S)	+ 0,32 (S)	+ 0,43 (S)	+ 0,27 (S)

Plusieurs éléments méritent d'être soulignés :

- L'évolution tendancielle des températures est plus importante en été et au printemps.
- Toutes les stations étudiées sont significatives.
- En moyenne sur les 12 stations de la région Occitanie, l'évolution tendancielle entre 1959 et 2021 est de 0,28°C par décennie en automne, de 0,34°C par décennie au printemps, de 0,22°C par décennie en hiver et de 0,45°C par décennie en été.

Note statistique : sur ce jeu de données, trois tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Nombre de jours estivaux annuel

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

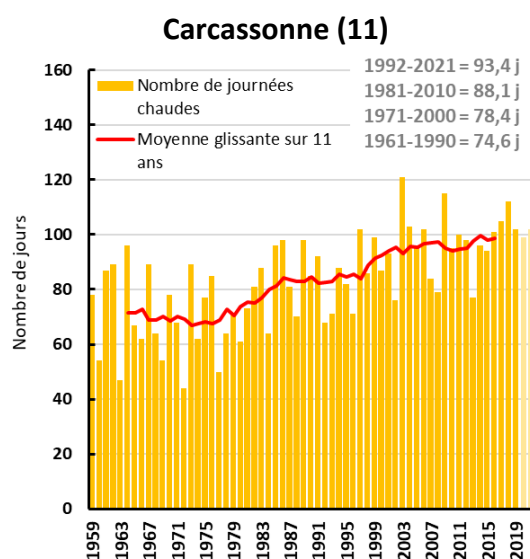
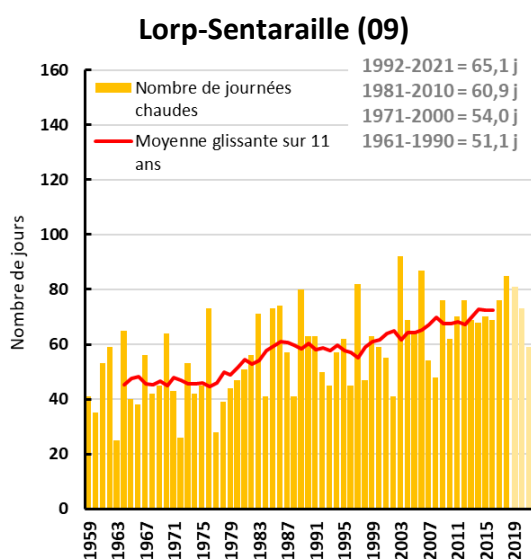
- Lorp-Sentaraille (09) : 1959 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1959 à 2021
- Auch (32) : 1985 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1959 à 2021
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021
- Perpignan (66) : 1973 à 2021
- Montauban (82) : 1963 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours pour chaque année où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C
- Moyenne trentenaire du nombre de jours estivaux annuels : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021 (sauf stations avec une profondeur de données différente)

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours chauds (supérieur ou égal à 25°C)



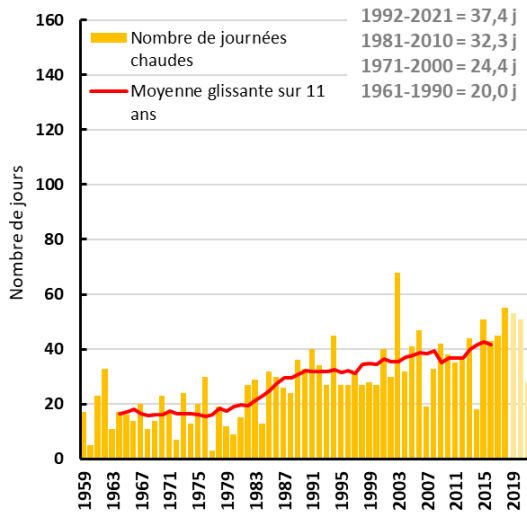
1

CHANGEMENT CLIMATIQUE

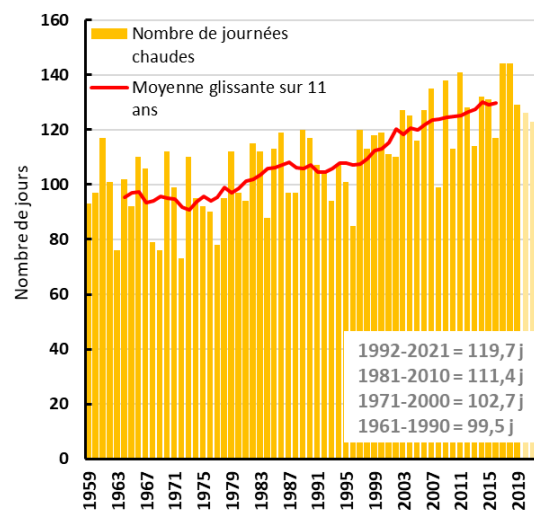


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

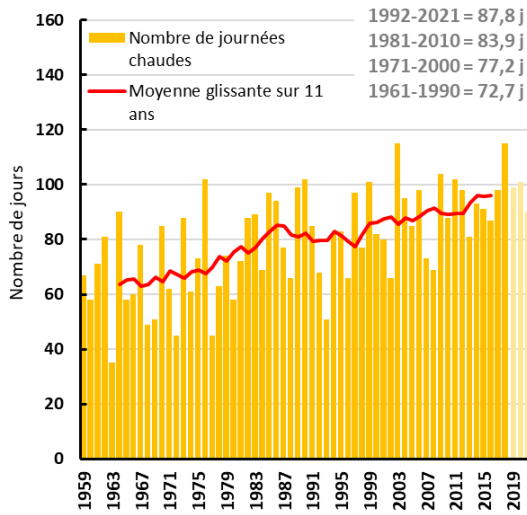
Salles-Curan (12)



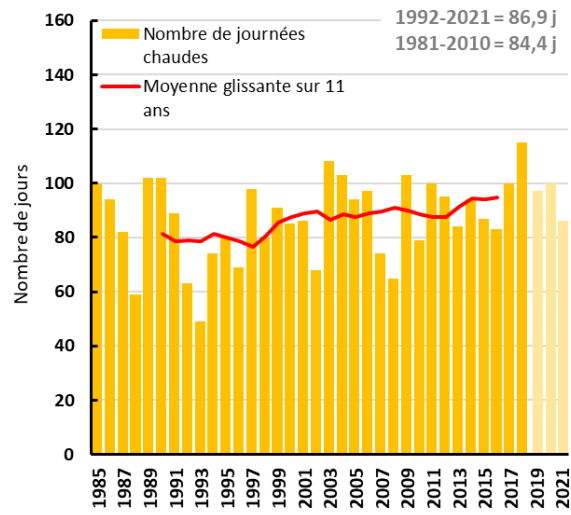
Nîmes-Courbessac (30)



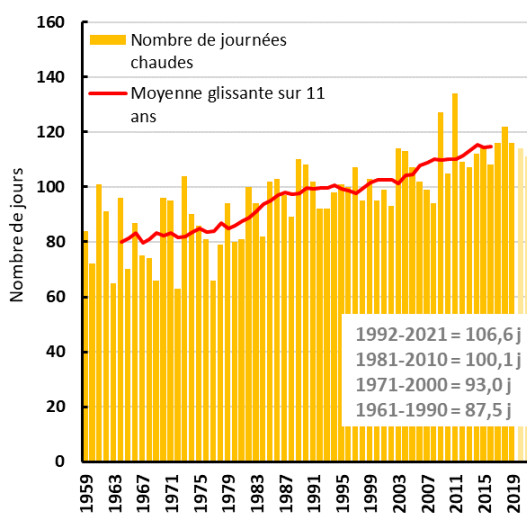
Toulouse-Blagnac (31)



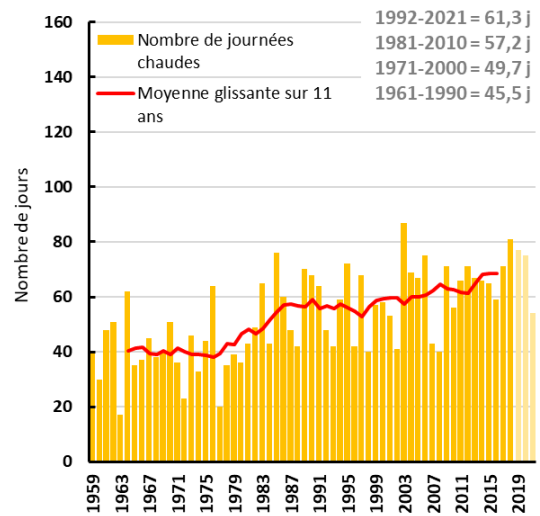
Auch (32)

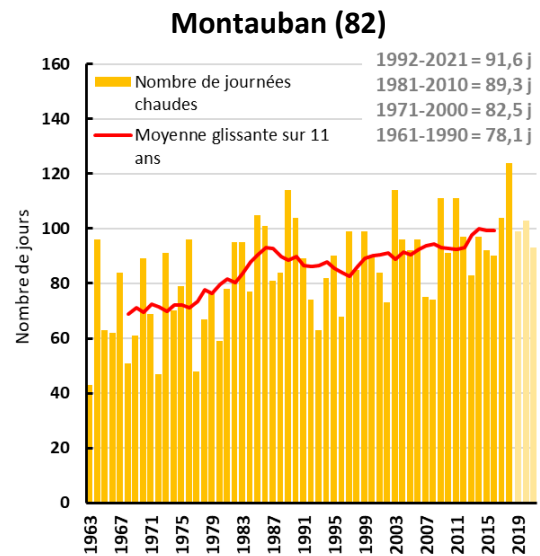
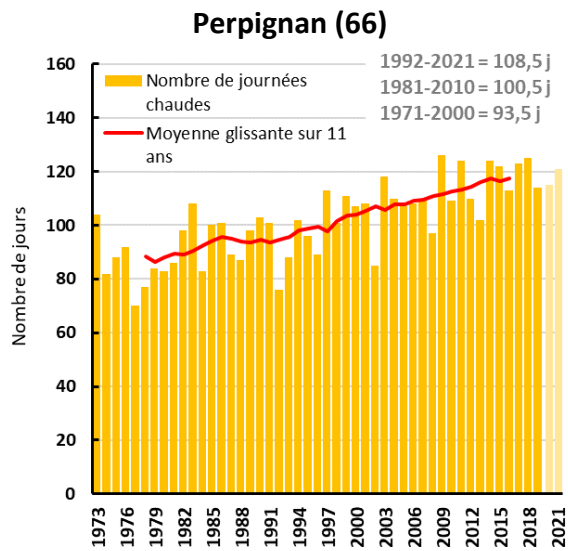


Montpellier-Maugio (34)



Tarbes-Ossun (65)





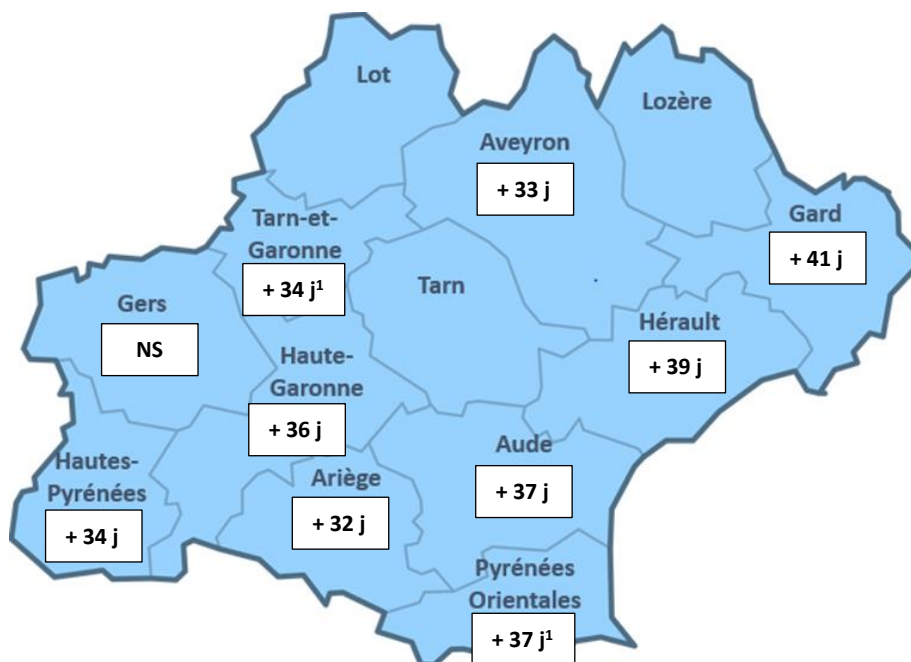
Analyse

L'évolution du nombre de jours estivaux ($\geq 25\text{ °C}$) observée en région Occitanie depuis 1959 (1963 pour la station du Tarn-et-Garonne, 1973 pour celle des Pyrénées Orientales et 1985 pour celle dans le Gers), pour chaque station est de :

- + 5,2 j par décennie à Lorp-Sentaraille soit + 32,1 j en 62 ans (S)
- + 6,0 j par décennie à Carcassonne soit + 37,4 j en 62 ans (S)
- + 5,3 j par décennie à Salles-Curan soit + 33,1 j en 62 ans (S)
- + 6,7 j par décennie à Nîmes-Courbessac soit + 41,3 j en 62 ans (S)
- + 5,9 j par décennie à Toulouse-Blagnac soit + 36,3 j en 62 ans (S)
- + 4,1 j par décennie à Auch soit + 14,6 j en 36 ans (NS)
- + 6,4 j par décennie à Montpellier- Maugio soit + 39,4 j en 62 ans (S)
- + 5,5 j par décennie à Tarbes-Ossun soit + 34,3 j en 62 ans (S)
- + 7,8 j par décennie à Perpignan soit + 37,4 j en 48 ans (S)
- + 5,9 j par décennie à Montauban soit + 34,5 j en 58 ans (S)



Evolution du nombre de jours estivaux ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) en 62 ans



¹ Evolution calculée sur une période inférieure à 62 ans

Pour l'ensemble des 10 stations, on observe une nette augmentation du nombre annuel de jours estivaux ($\geq 25^{\circ}\text{C}$), notamment sur le pourtour Méditerranéen. Cette augmentation est cohérente avec l'augmentation des températures moyennes annuelles.

On observe notamment que :

- Sur les stations ayant une profondeur de données de 62 ans, le nombre de journées estivales a été multiplié par 1,5 (moyenne de 7 stations), entre 1959 et 2021, voire par 2 pour Salles-Curan (12).
- En moyenne sur les 9 stations (hormis les valeurs non significatives de la station d'Auch), le nombre de jours estivaux a augmenté de + 6,1 jours par décennie soit une augmentation de 8 %. Cette évolution est plus marquée que dans d'autres régions. Par exemple :
 - + 4,5 j par décennie en Bourgogne-Franche-Comté (ORACLE Bourgogne-Franche-Comté, 2022)
 - + 5,4 j par décennie en Centre Val de Loire (ORACLE Centre Val de Loire, 2022)
- La variabilité interannuelle ne semble pas évoluer fortement entre le début et la fin de la période d'observation.

Ces résultats donnent des valeurs annuelles et ne permettent pas de connaître la répartition au sein de l'année des augmentations observées. Pour cela, il faudrait examiner mois par mois l'évolution du nombre de jours estivaux afin de préciser comment la distribution intra annuelle des épisodes chauds s'est modifiée.



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

- Si les jours d'échauffement thermique deviennent de plus en plus nombreux au printemps et en été, cela impactera les cultures (céréales à paille en particulier) mais cet impact dépendra également de l'avancement des calendriers culturaux (esquive) lié à l'augmentation de la température.
- L'augmentation du nombre de jours chauds à l'automne affecte la viticulture lors des vendanges avec une température élevée des raisins, ce qui peut favoriser une fermentation non désirée une fois le raisin en cuve.
- L'augmentation du nombre de jours chauds accroît l'évapotranspiration en raison de la relation étroite entre température et évapotranspiration potentielle.

En élevage, l'augmentation du nombre de jours chauds va venir impacter le confort thermique des animaux ainsi que la production de lait (Yano *et al.*, 2014).

A retenir

- ✓ Le nombre de jours estivaux a fortement augmenté en Occitanie au cours des 60 dernières années avec + 6,1 jours par décennie sur la moyenne des stations (soit une augmentation de 8%).
- ✓ Les incidences de ces jours estivaux sur l'agriculture régionale sont multiples, mais nécessitent un examen détaillé de la répartition saisonnière des augmentations observées.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés : régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

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.

Yano, M., Shimadzu, H., & Endo, T. (2014). Modelling temperature effects on milk production: a study on Holstein cows at a Japanese farm. SpringerPlus, 3(1), 129. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-129>

Nombre de jours de gel annuel

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

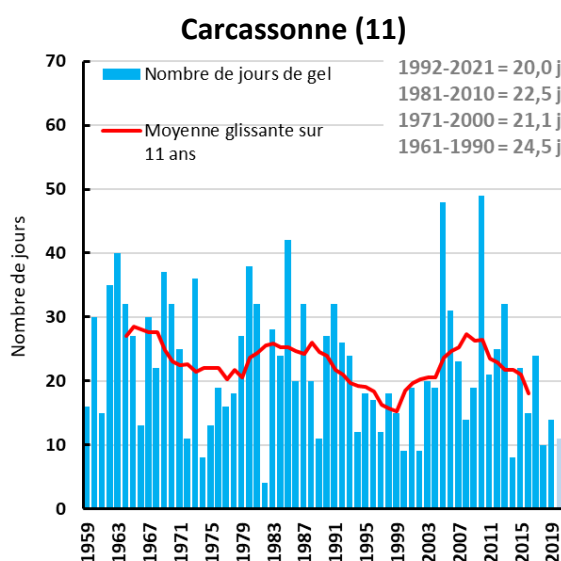
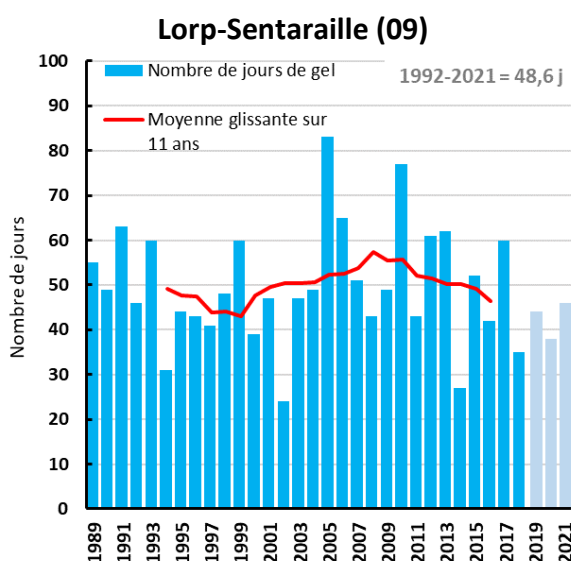
- Lorp-Sentaraille (09) : 1989 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1973 à 2021
- Auch (32) : 1985 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1975 à 2021
- Gourdon (46) : 1962 à 2021
- Perpignan (66) : 1959 à 2021
- Montauban (82) : 1963 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours pour chaque année où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C
- Moyenne trentenaire du nombre de jours de gel annuels : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021 (sauf stations avec une profondeur de données différente)

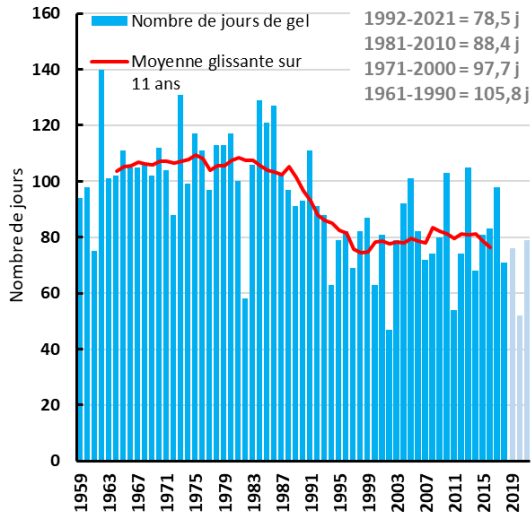
📈 Évolution observée

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

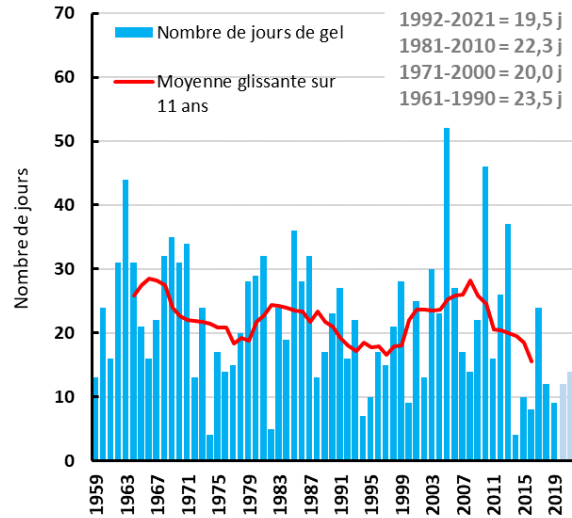




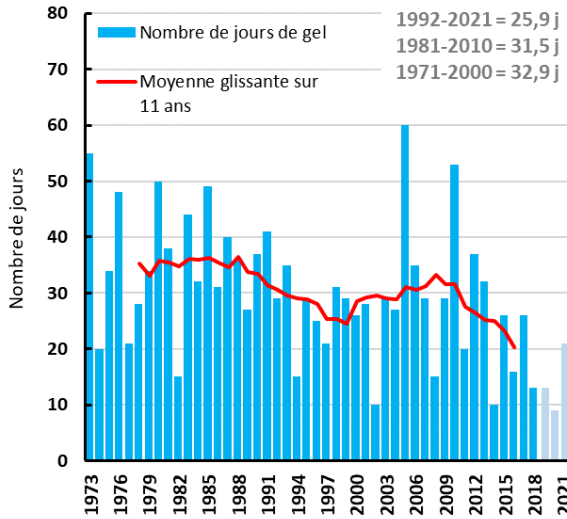
Salles-Curan (12)



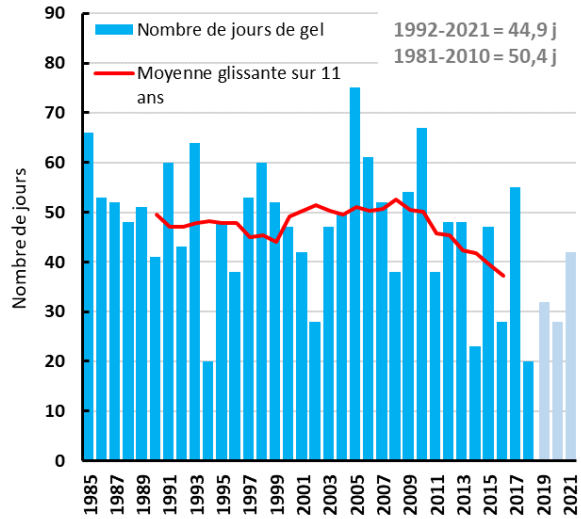
Nîmes-Courbessac (30)



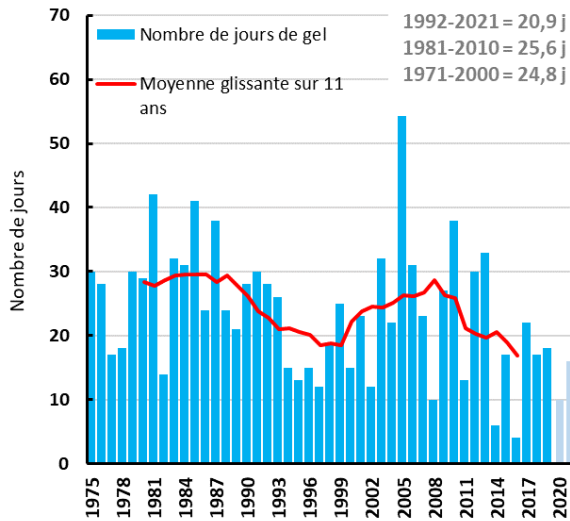
Toulouse-Blagnac (31)



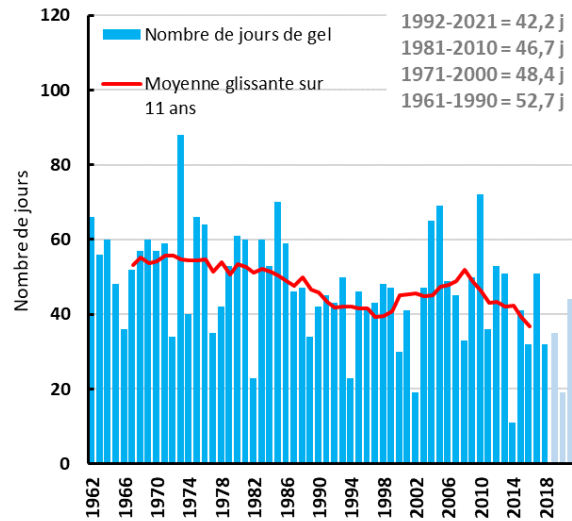
Auch (32)



Montpellier-Maugio (34)



Gourdon (46)

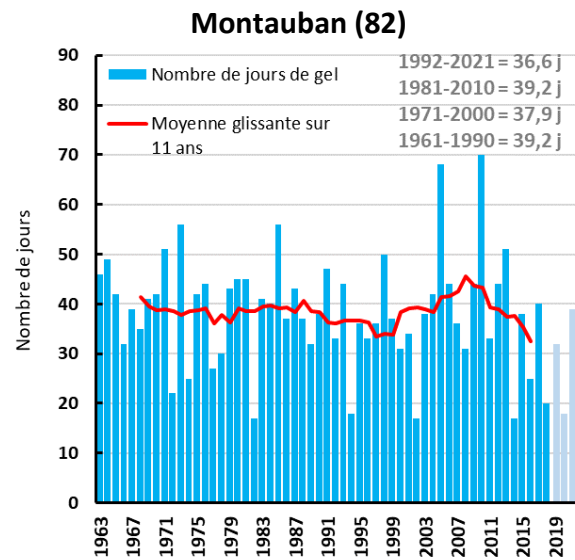
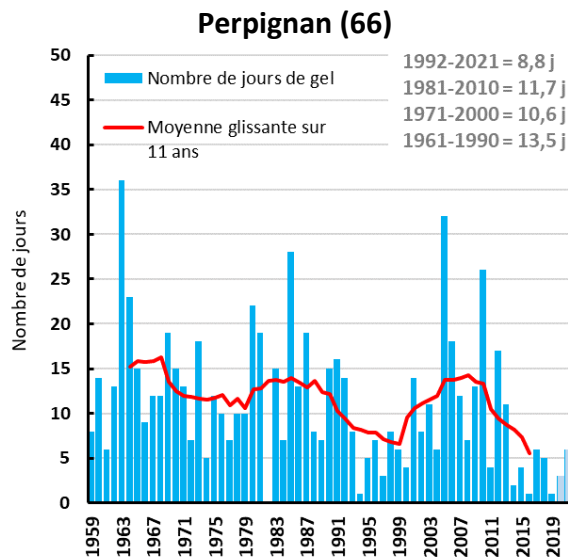


1

CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

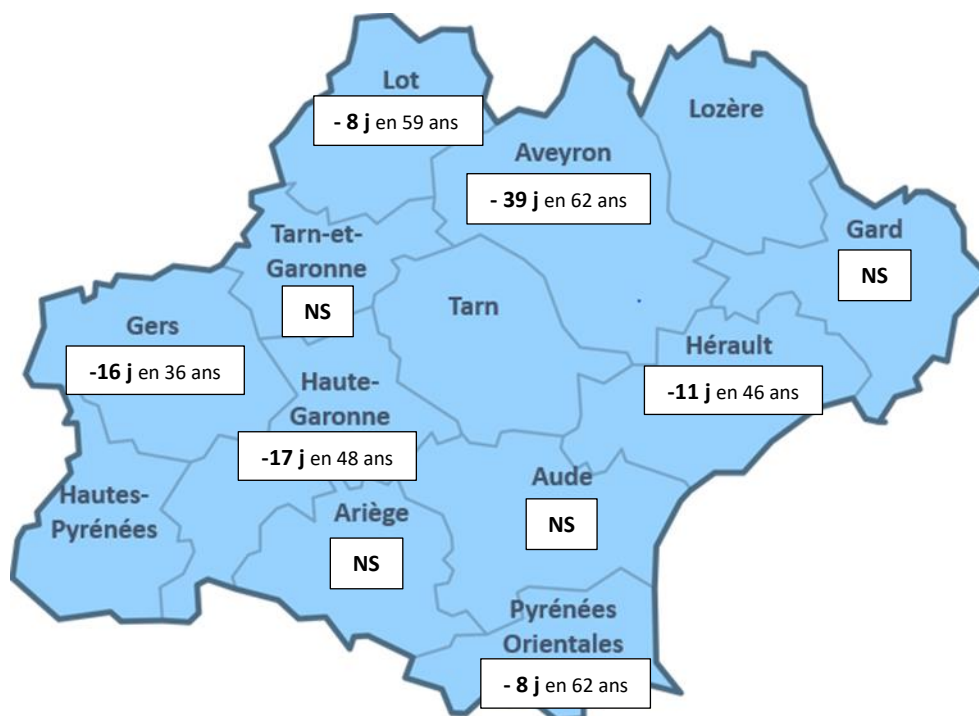


L'évolution du nombre de jours de gel observée en région Occitanie pour chaque station est de :

- - 0,8 j par décennie à Lorp-Sentaraille soit - 2,4 j en 32 ans (NS)
- - 1,2 j par décennie à Carcassonne soit - 7,2 j en 62 ans (NS)
- - 6,4 j par décennie à Salles-Curan soit - 39,4 j en 62 ans (S)
- - 1,1 j par décennie à Nîmes-Courbessac soit - 6,8 j en 62 ans (NS)
- - 3,6 j par décennie à Toulouse-Blagnac soit - 17,4 j en 48 ans (S)
- - 4,4 j par décennie à Auch soit - 15,7 j en 36 ans (S)
- - 2,4 j par décennie à Montpellier-Maugio soit - 11,1 j en 46 ans (S)
- - 3,3 j par décennie à Gourdon soit - 19,2 j en 59 ans (S)
- - 1,3 j par décennie à Perpignan soit - 7,9 j en 62 ans (S)
- - 0,9 j par décennie à Montauban soit - 5,3 j en 58 ans (NS)



Evolution du nombre de jours de gel



Pour les dix stations étudiées, l'évolution du nombre annuel de jours de gel est à la baisse. On observe notamment que :

- Quatre stations sur dix ne donnent pas un résultat significatif.
- En moyenne sur les 6 stations significatives, le nombre de jours de gel a diminué de 3,6 jours par décennie. Cette évolution se retrouve dans d'autres régions avec par exemple :
 - - 2,7 j par décennie en Nouvelle Aquitaine (ORACLE Nouvelle Aquitaine, 2020)
 - - 3,8 j par décennie en Bourgogne-Franche-Comté (ORACLE Bourgogne-Franche-Comté, 2022)
- La variabilité interannuelle évolue peu entre le début et la fin de la période d'observation.
- Ces graphiques ne permettent pas de préciser si la réduction du nombre de jours de gel porte sur une période particulière de la saison froide : fin d'automne, hiver, ou début de printemps. Pour cela, il faudrait dénombrer les jours de gel par mois.

Pour l'agriculture régionale, la diminution du nombre annuel de jours de gel entraîne des répercussions sur de multiples processus de la production végétale, par exemple :

- L'impact de la durée et la levée de dormance sur la qualité de la floraison chez les espèces fruitières (Luedeling et al., 2011) mais également maraîchère.



- L'impact sur la qualité de la pré-floraison chez le tournesol (George, 2018), le développement végétatif automnal chez le colza (Lardon, 1995).

On sait également que cette baisse de fréquence des épisodes froids a des incidences sur les cycles de reproduction et de croissance de certains parasites, bien que ces effets soient plus difficiles à documenter que les effets directs du froid sur la croissance et le développement des végétaux.

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

A retenir

- ✓ Le nombre de jours de gel a diminué en moyenne de 3,6 jours par décennie sur les stations présentant une tendance significative en Occitanie au cours des 62 dernières années.
- ✓ La réduction du nombre de jours froids n'est pas forcément synonyme de réduction de risque de gel printanier pour les cultures sensibles car l'avancement phénologique des plantes découlant du réchauffement climatique peut faire évoluer les dates des périodes à risque. De plus, la variabilité interannuelle reste présente. Les impacts de cette réduction du nombre de jours froids sur les productions agricoles doivent être étudiés au cas par cas.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés : régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

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.

George, M. B. (2018). Molecular aspects of temperature regulation of To cite this version : HAL Id : tel-01884405 Université Pierre et Marie Curie.

Luedeling, E., Girvetz, E. H., Semenov, M. A., & Brown, P. H. (2011). Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. PLoS ONE, 6(5).

Yano, M., Shimadzu, H., & Endo, T. (2014). Modelling temperature effects on milk production: a study on Holstein cows at a Japanese farm. SpringerPlus, 3(1), 129.



Cumul annuel des précipitations

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

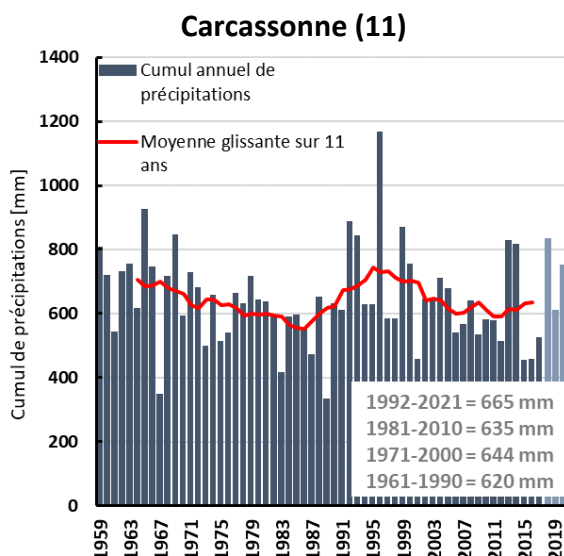
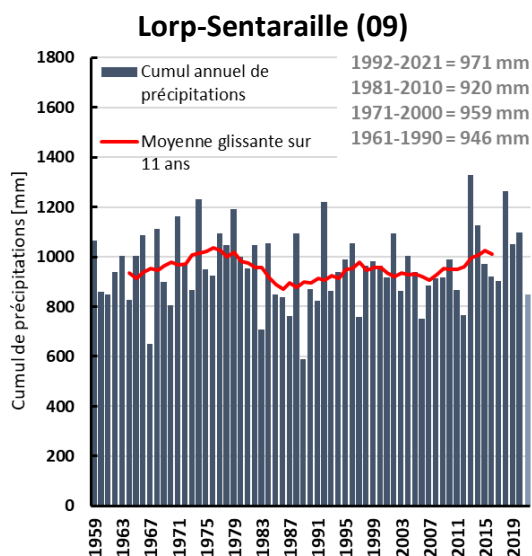
- Lorp-Sentaraille (09) : 1959 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Espalion (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1959 à 2021
- Auch (32) : 1959 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1959 à 2021
- Anglars-Juillac (46) : 1959 à 2021
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021
- Perpignan (66) : 1959 à 2021
- Lavaur (81) : 1959 à 2021
- Montauban (82) : 1959 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Cumul annuel des pluies journalières
- Moyenne trentenaire du cumul annuel des pluies journalières : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021

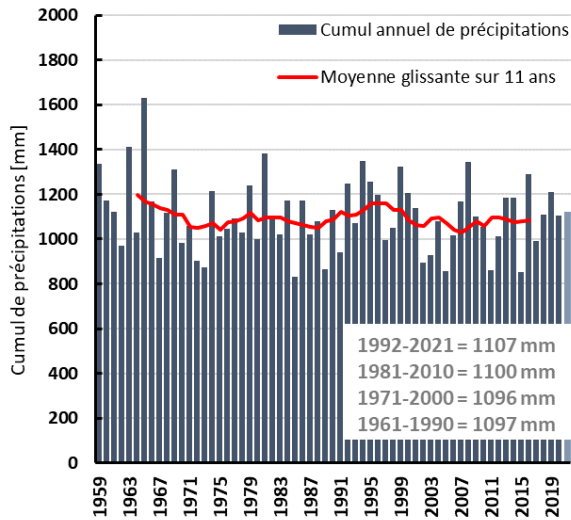
📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Cumul des précipitations (mm)

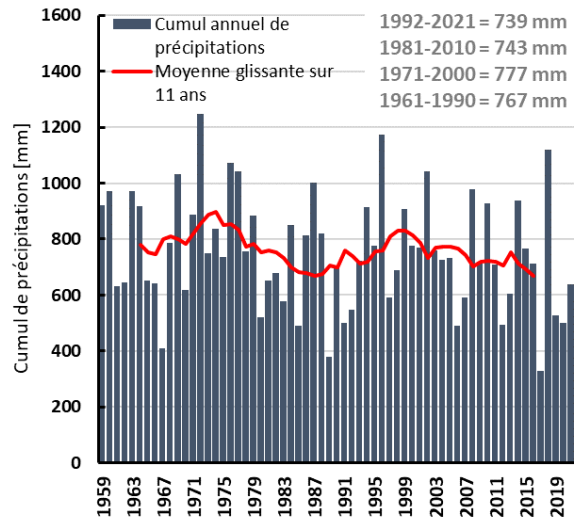




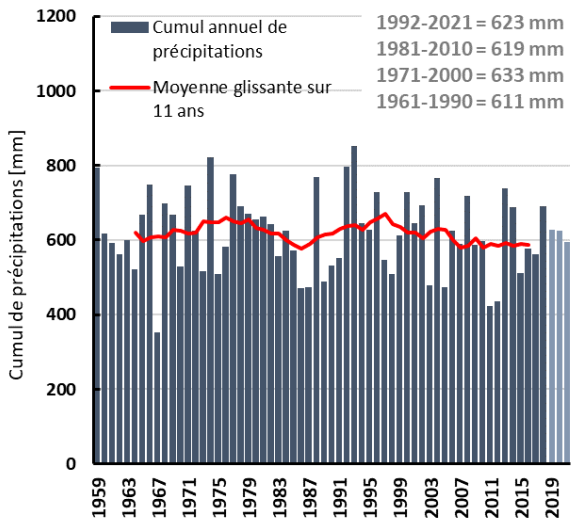
Espalion (12)



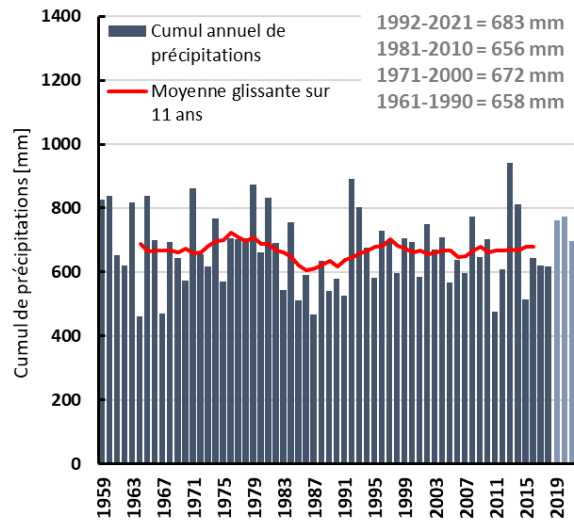
Nîmes-Courbessac (30)



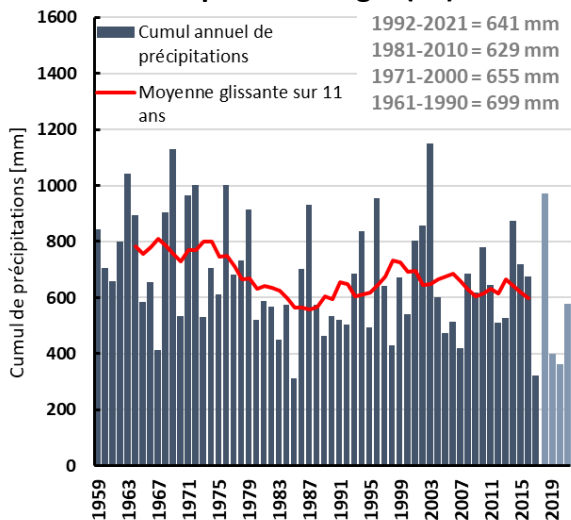
Toulouse-Blagnac (31)



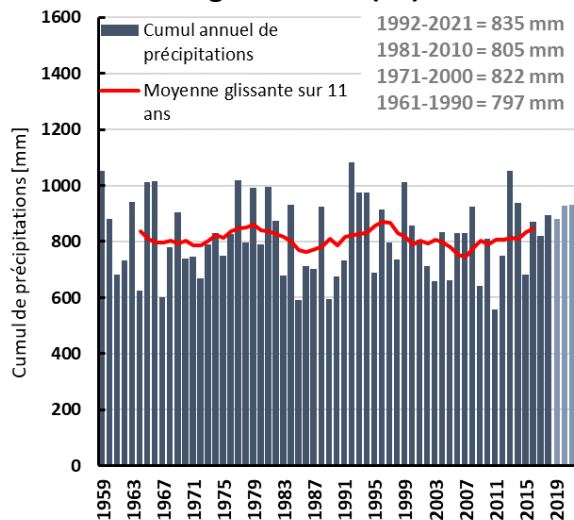
Auch (32)



Montpellier-Maugio (34)



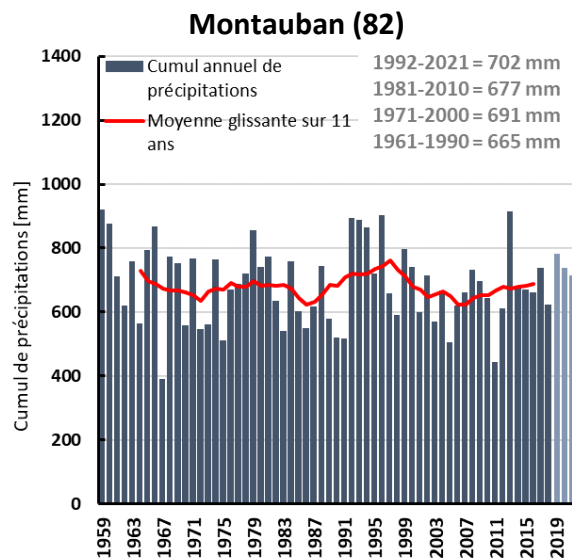
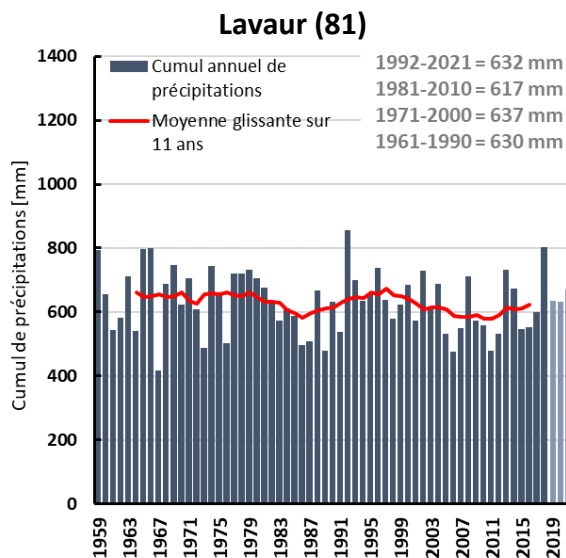
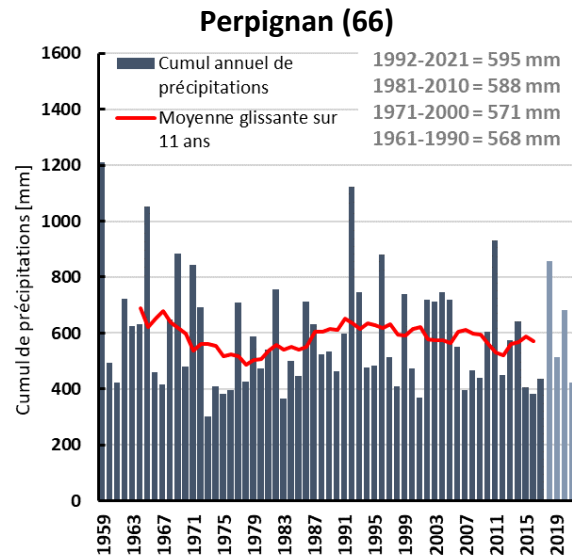
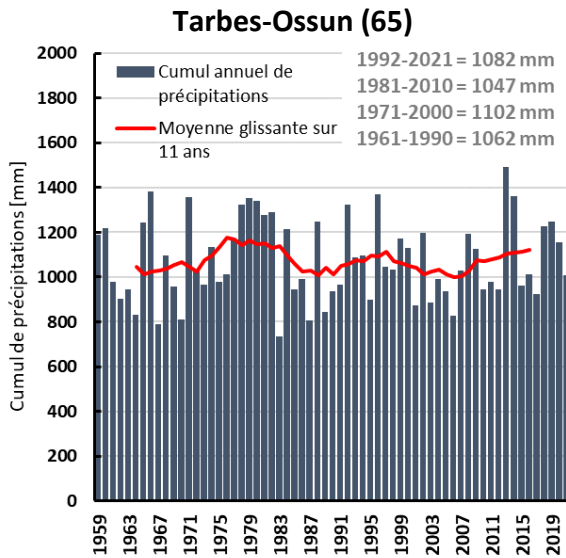
Anglars-Juillac (46)



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique



Analyse

Les analyses statistiques des données du cumul annuel de précipitations sur les 60 dernières années se sont révélées non significatives sur 11 stations ($P > 0,05$), ce qui signifie que ces départements ont un cumul annuel relativement constant depuis 60 ans. Seule la station de Montpellier-Maugio est significative ($P < 0,05$). On constate cependant une légère baisse du cumul annuel des précipitations sur 9 des 12 stations sur la période concernée.

- + 1,68 mm par décennie à Lorp-Sentaraille soit + 29,05 mm en 62 ans (NS)
- - 6,13 mm par décennie à Carcassonne soit - 38,04 mm en 62 ans (NS)
- - 10,42 mm par décennie à Espalion soit - 64,61 mm en 62 ans (NS)
- - 20,74 mm par décennie à Nîmes-Courbessac soit - 128,56 mm en 62 ans (NS)

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

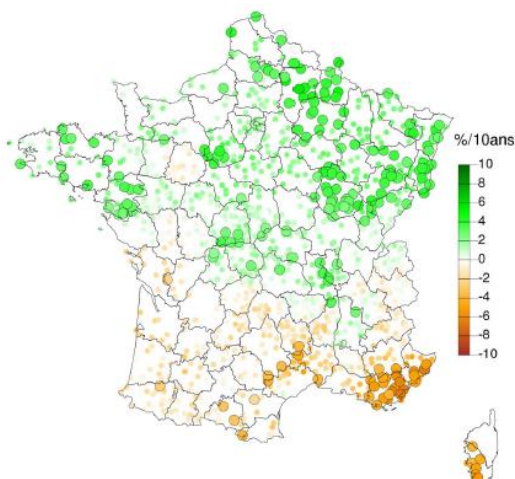
- - 5,03 mm par décennie à Toulouse-Blagnac soit - 31,21 mm en 62 ans (NS)
- - 3,24 mm par décennie à Auch soit - 20,09 mm en 62 ans (NS)
- - 30,51 mm par décennie à Montpellier- Maugio soit - 189,18 mm en 62 ans (S)
- + 1,23 mm par décennie à Anglars-Juillac soit + 7,61 mm en 62 ans (NS)
- + 2,32 mm par décennie à Tarbes-Ossun soit + 14,37 mm en 62 ans (NS)
- - 12,68 mm par décennie à Perpignan soit - 78,60 mm en 62 ans (NS)
- - 7,30 mm par décennie à Lavaur soit - 45,29 mm en 62 ans (NS)
- - 4,29 mm par décennie à Montauban soit - 26,61 mm en 62 ans (NS)

On observe de fortes variations des précipitations inter annuelles et pluri-annuelle pouvant atteindre plus de 500 mm entre deux années consécutives sur certaines stations (exemple à Carcassonne avec 1169 mm l'année 1996 et 584 mm l'année 1997 soit une différence de 585 mm). Cette variation annuelle, nettement supérieure à la variation tendancielle sur la période d'étude, perturbe la perception d'une tendance éventuelle.

L'évolution tendancielle des précipitations depuis 1959 présente une variabilité spatiale importante entre les stations des différents départements.

Une étude montre que les 2/3 Nord du pays présentent une hausse des cumuls mais non significative alors que la partie Sud de la France présente des baisses, mais non significatives.

Tendances du cumul annuel de précipitations (%/10ans) sur 1959 à 2009



Source Météo France, 2014

« Les résultats sur les longues séries françaises de cumuls de précipitations sont beaucoup plus difficiles à mettre en évidence que ceux concernant les températures : la répartition des



postes n'est pas homogène, les tendances sont en général non significatives et de l'ordre de l'amplitude des ruptures pouvant subsister dans chaque série » (Moisselin et al., 2002).

A retenir

- ✓ On n'observe pas de tendance statistiquement significative du cumul annuel des pluies en région Occitanie (sauf pour la station Montpellier-Maugio qui est légèrement significative), ce qui signifie une situation assez stable sur les 60 dernières années.
- ✓ 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.

Note statistique : sur ce jeu de données, deux tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour en savoir plus

Moisselin J.M, Schneider M., Canellas M., Mestre O. (2002) : Les changements climatiques en France au XXeme siecle : etude des longues series homogeneisees de temperature et de precipitations, La Meteorologie n° 38, 45-56.

Soubeyroux J.-M., Neppel L., Veysseire J.-M., Tramblay Y., Carreau J., and Gouget V. (2015) : Evolution des précipitations extrêmes en France en contexte de changement climatique, La Houille Blanche, 1 27-33.



Cumul saisonnier des précipitations

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

Indicateur

- Lorp-Sentaraille (09) : 1959 à 2021
- Carcassonne (11) : 1959 à 2021
- Espalion (12) : 1959 à 2021
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2021
- Toulouse-Blagnac (31) : 1959 à 2021
- Auch (32) : 1959 à 2021
- Montpellier-Maugio (34) : 1959 à 2021
- Anglars-Juillac (46) : 1959 à 2021
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021
- Perpignan (66) : 1959 à 2021
- Lavaur (81) : 1959 à 2021
- Montauban (82) : 1959 à 2021

Calcul de l'indicateur

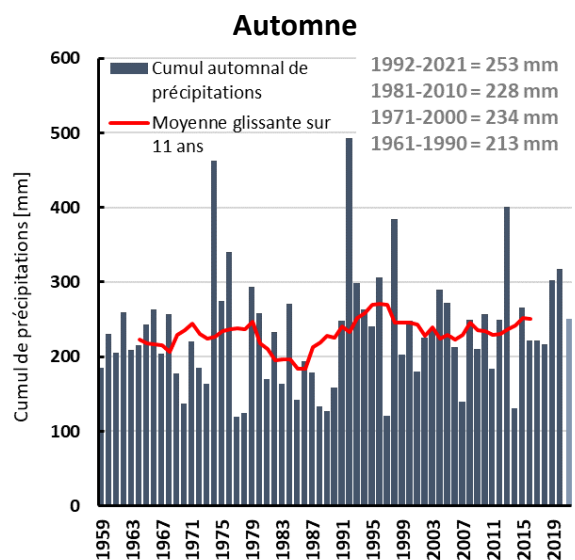
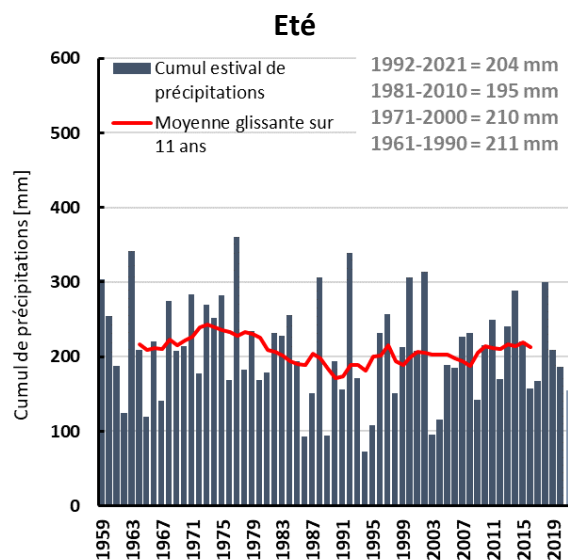
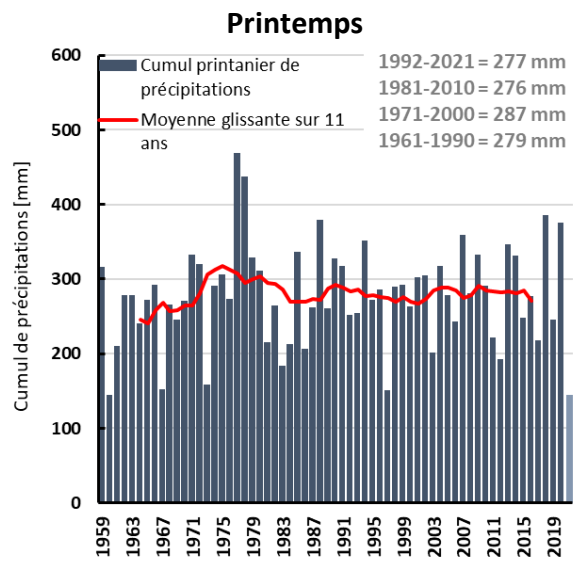
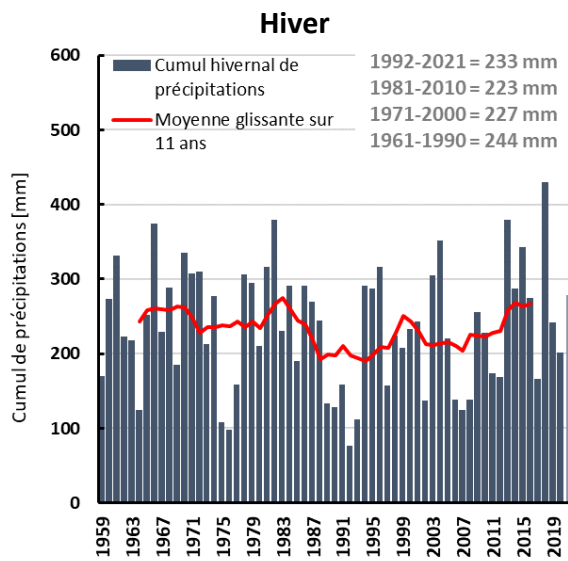
- Cumul sur 3 mois des pluies journalières (Hiver : décembre à février ; Printemps : mars à mai ; Eté : juin à août ; Automne : septembre à novembre)
- Moyenne trentenaire du cumul saisonnier des pluies journalières : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1990-2021

Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Cumul de précipitations (mm)



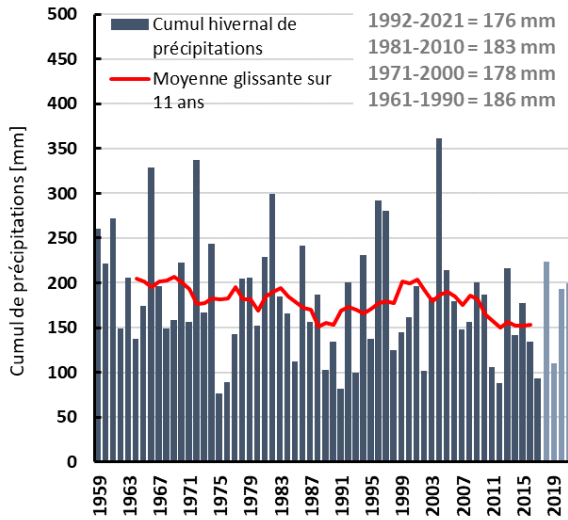
Lorp-Sentaraille (09)



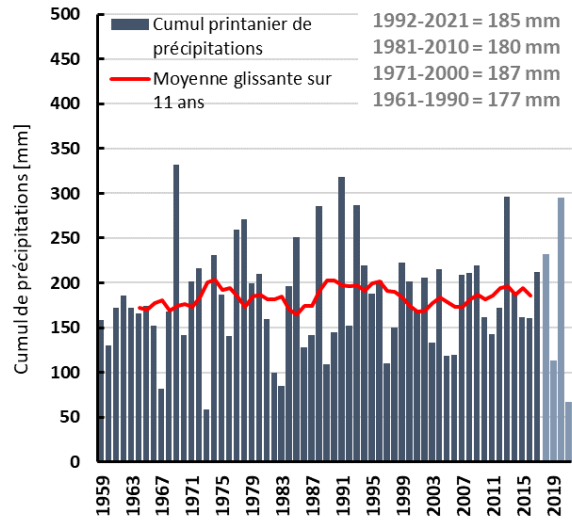


Carcassonne (11)

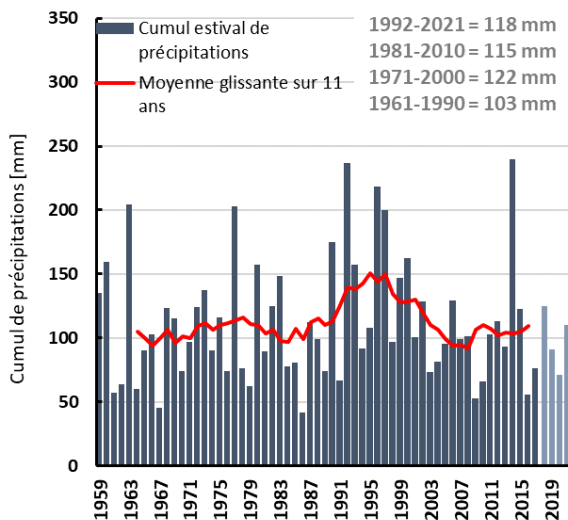
Hiver



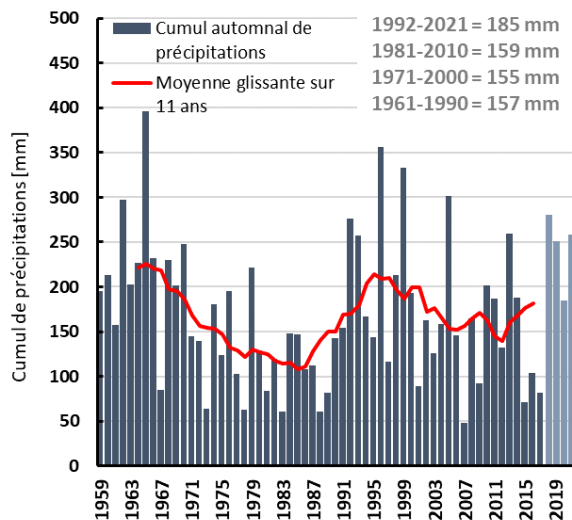
Printemps



Eté



Automne

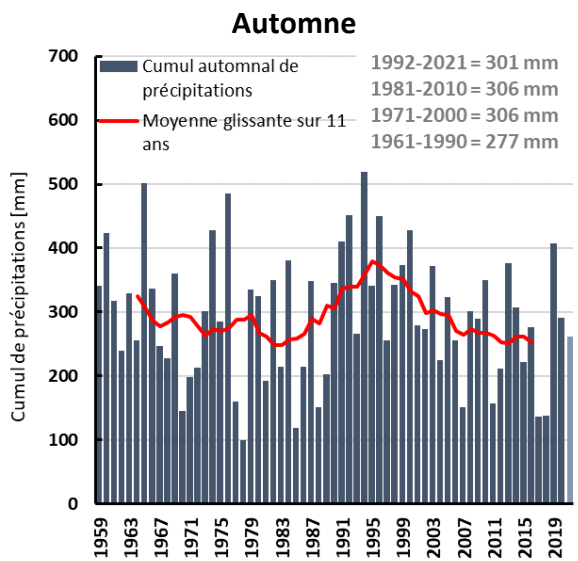
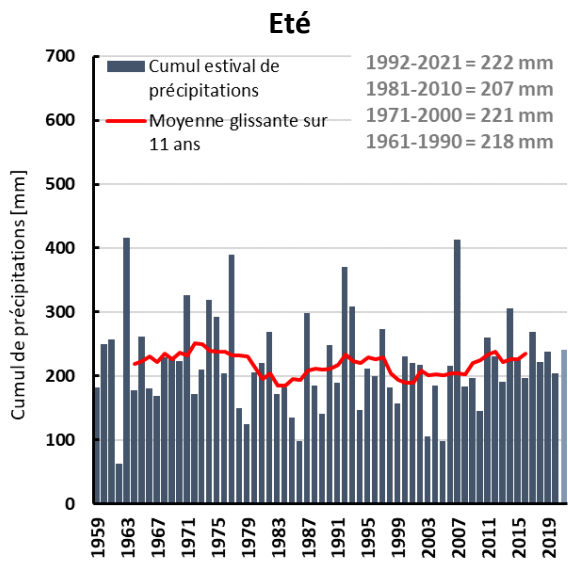
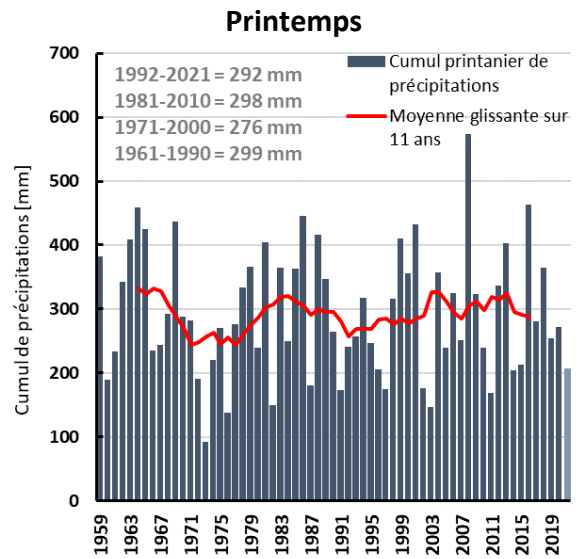
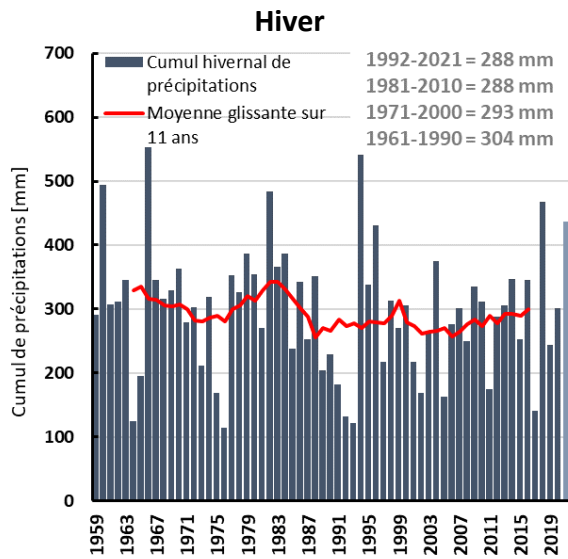


1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Espalion (12)



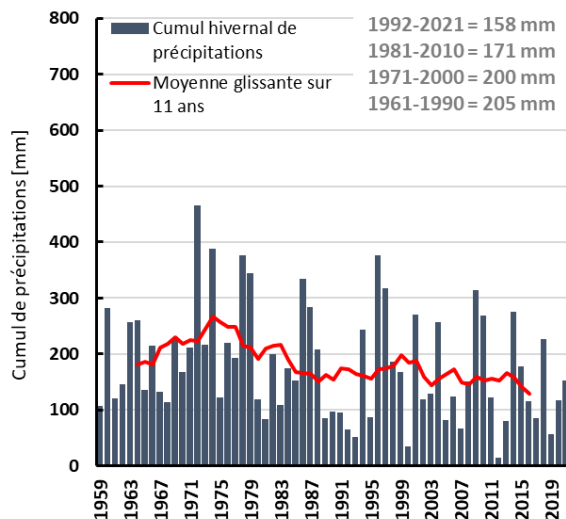
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



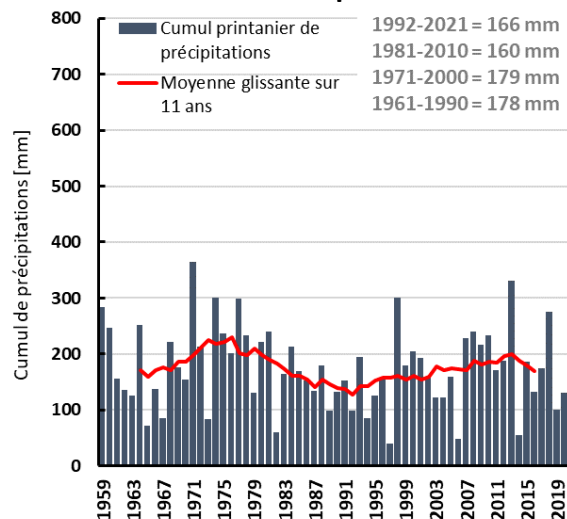
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Nîmes-Courbessac (30)

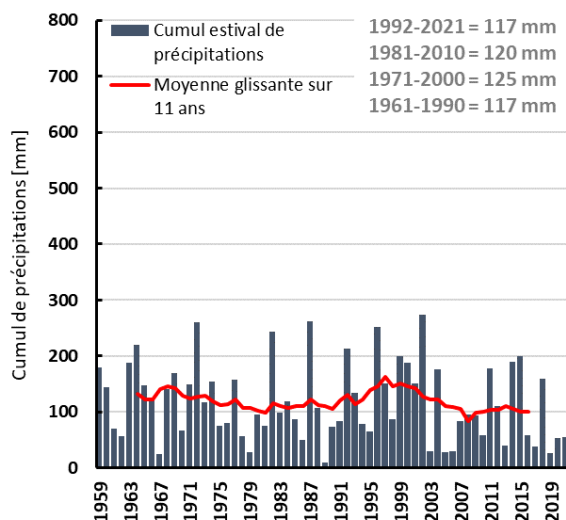
Hiver



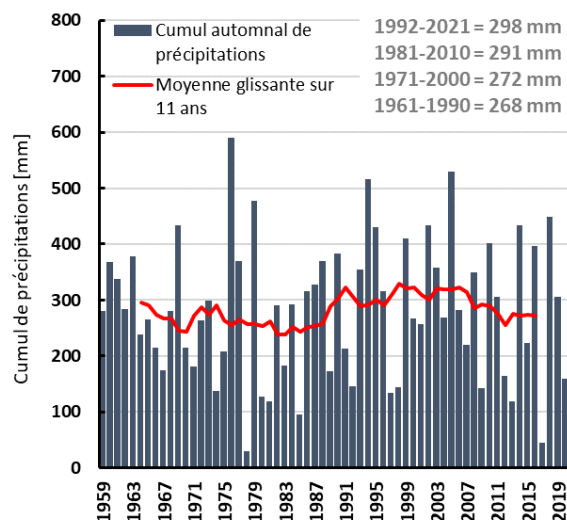
Printemps



Eté



Automne



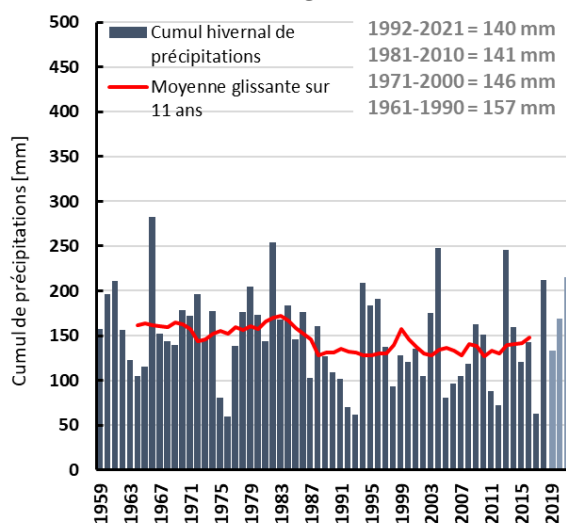
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



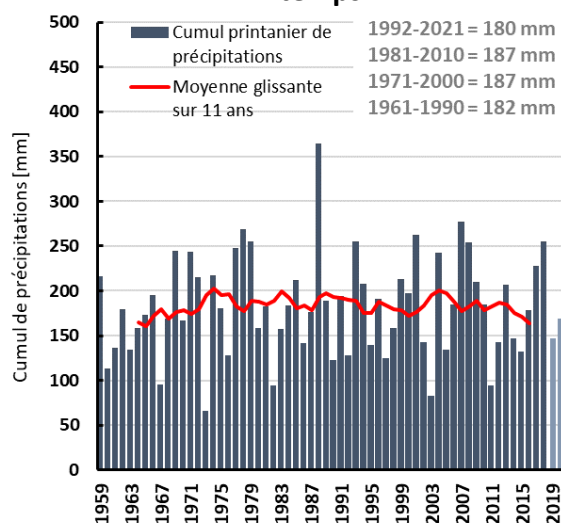
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Toulouse-Blagnac (31)

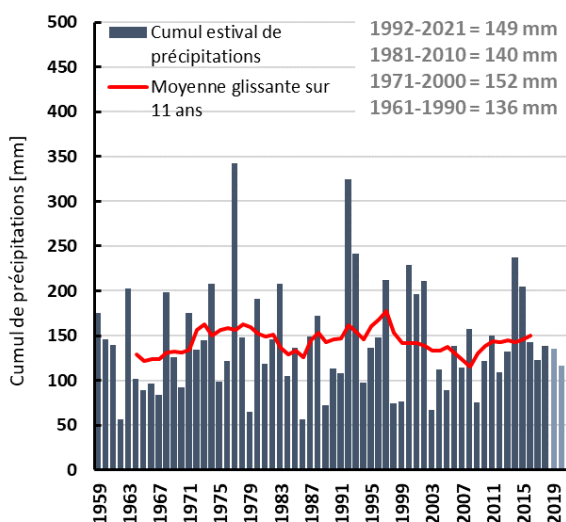
Hiver



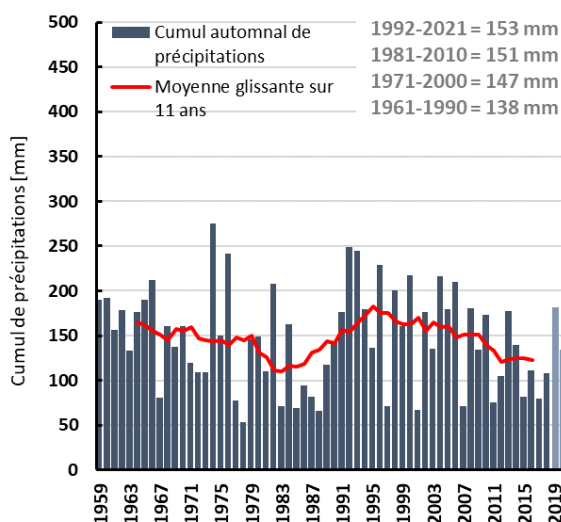
Printemps



Eté



Automne



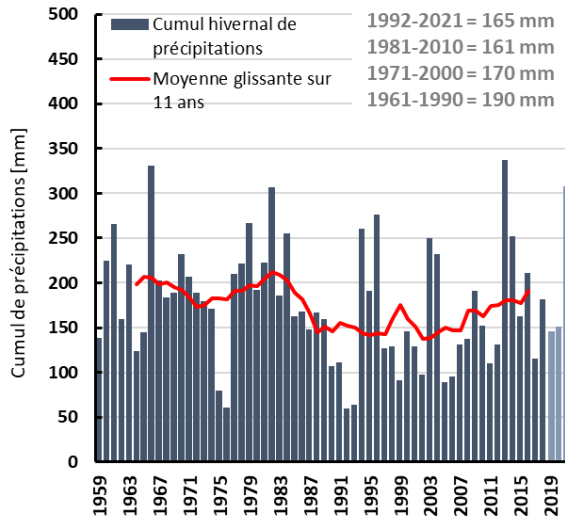
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



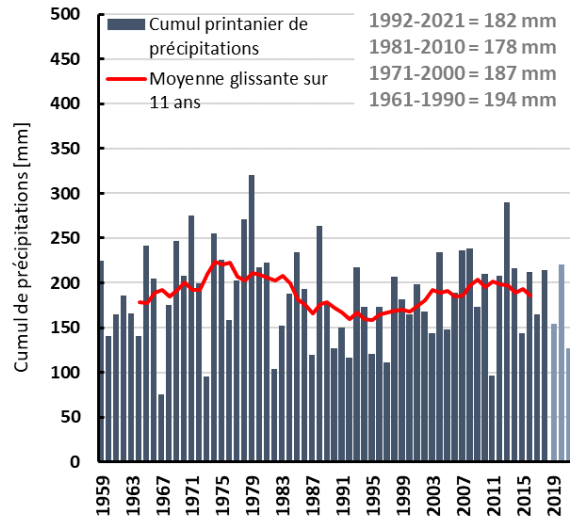
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Auch (32)

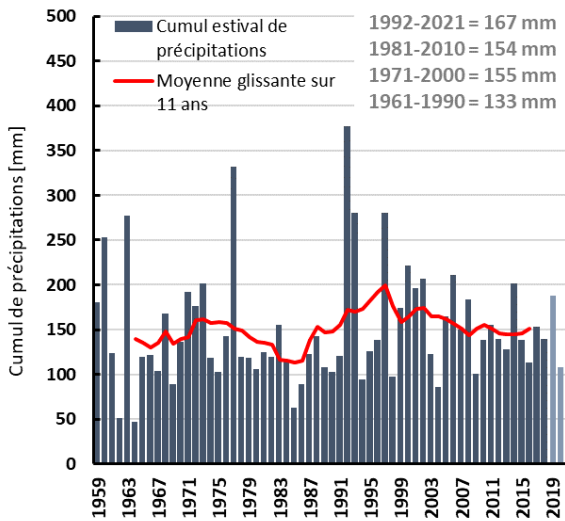
Hiver



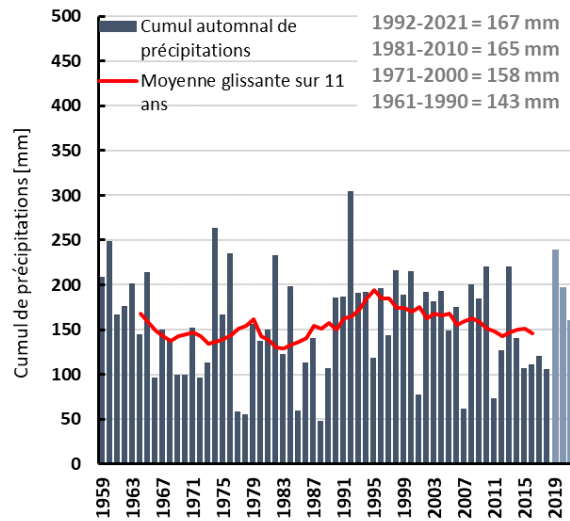
Printemps



Eté



Automne



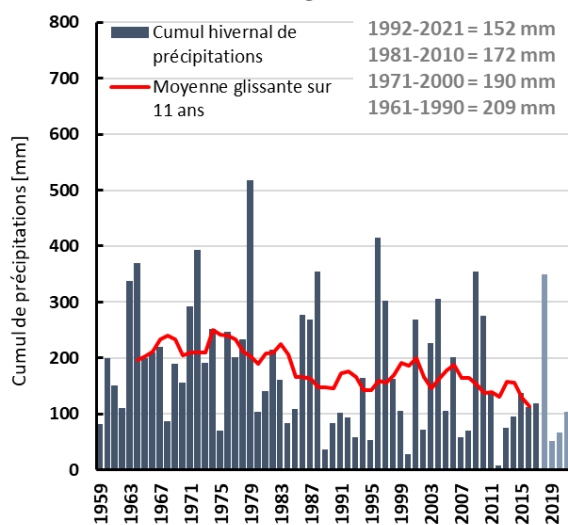
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



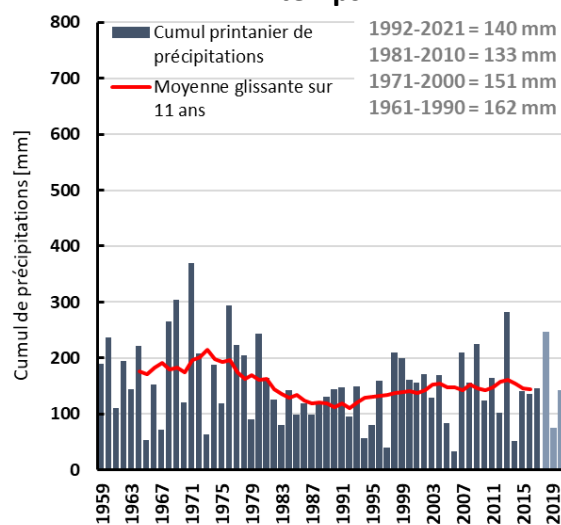
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Montpellier-Maugio (34)

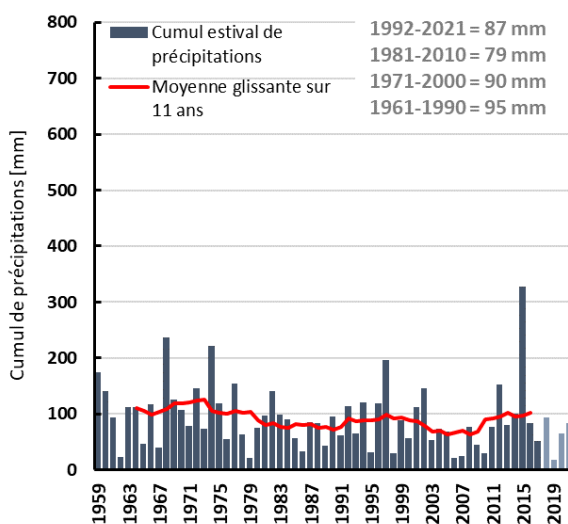
Hiver



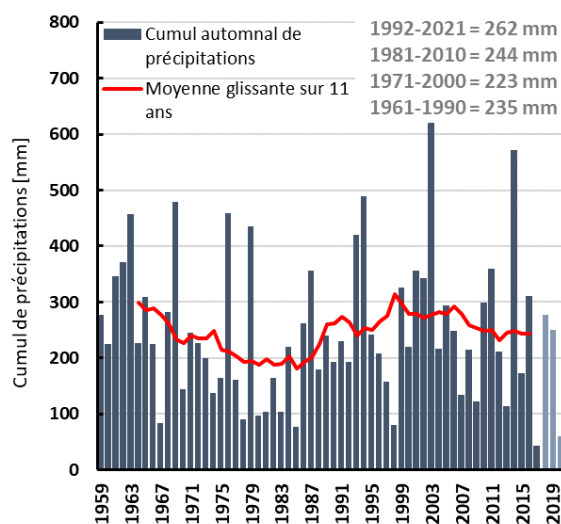
Printemps



Eté



Automne



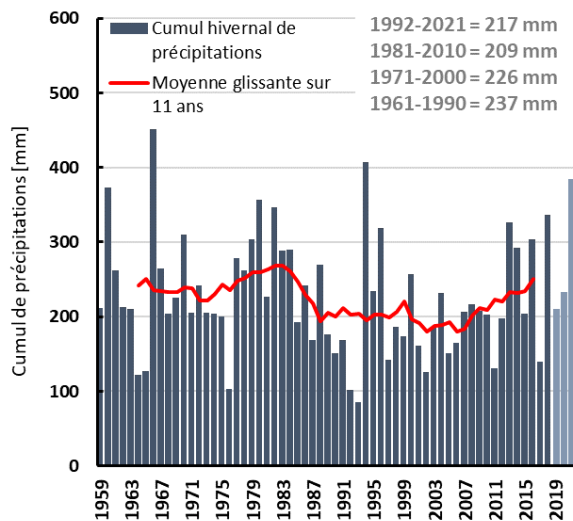
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



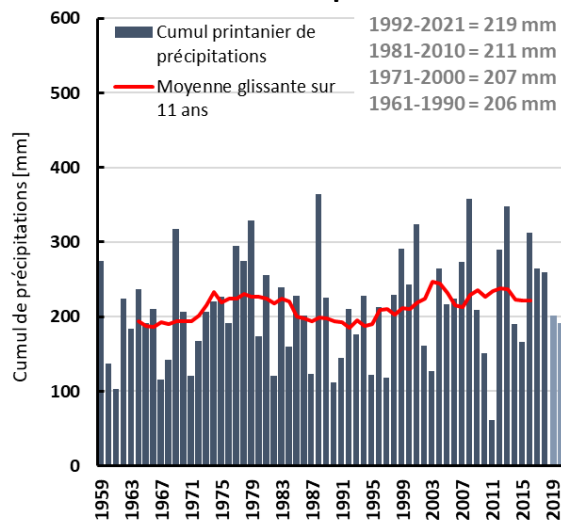
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Anglars-Juillac (46)

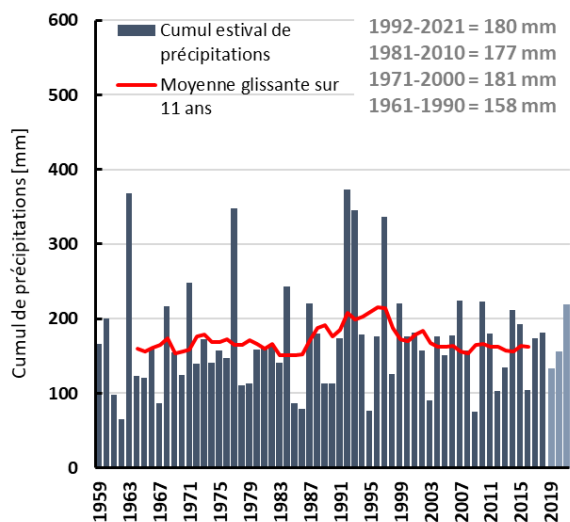
Hiver



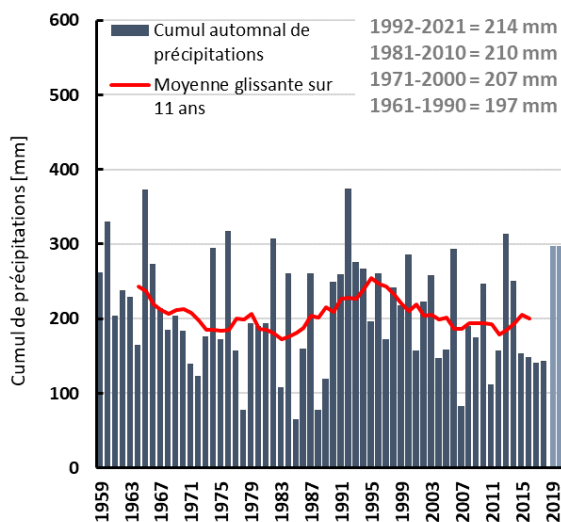
Printemps



Eté



Automne



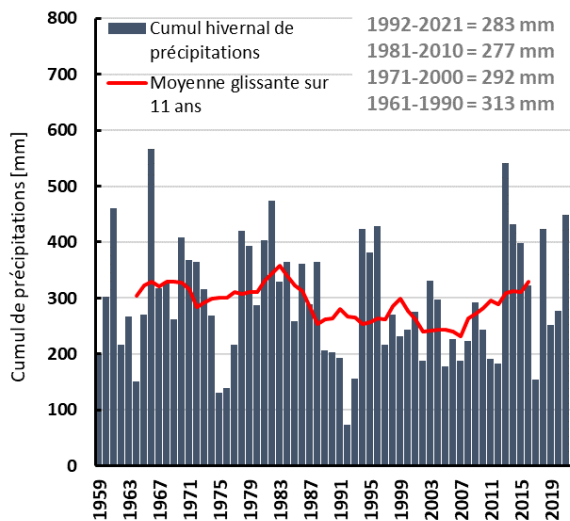
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



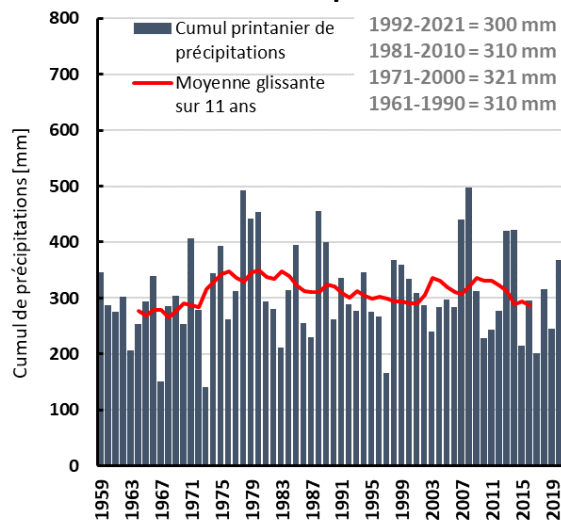
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Tarbes-Ossun (65)

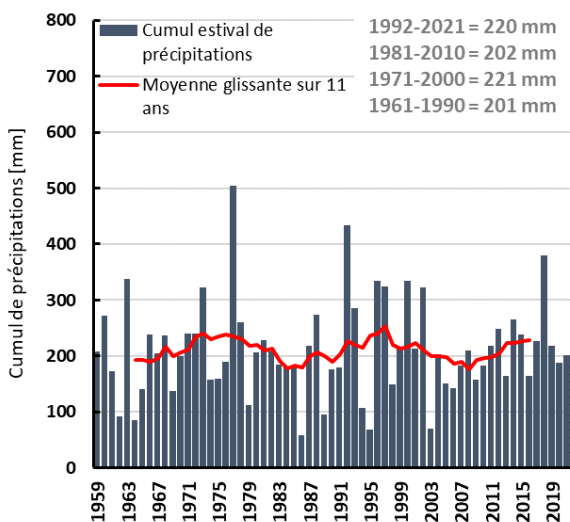
Hiver



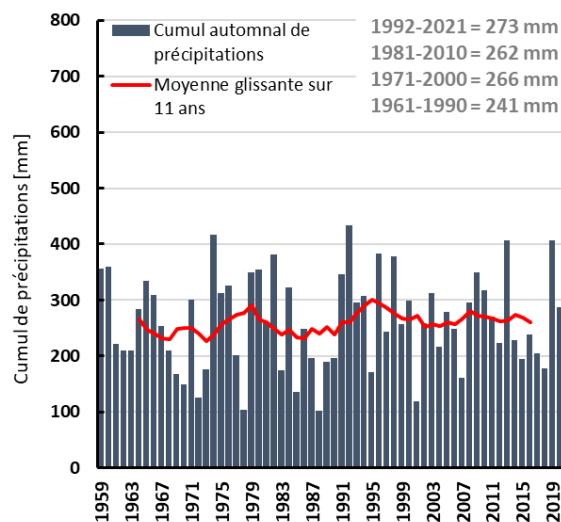
Printemps



Eté



Automne



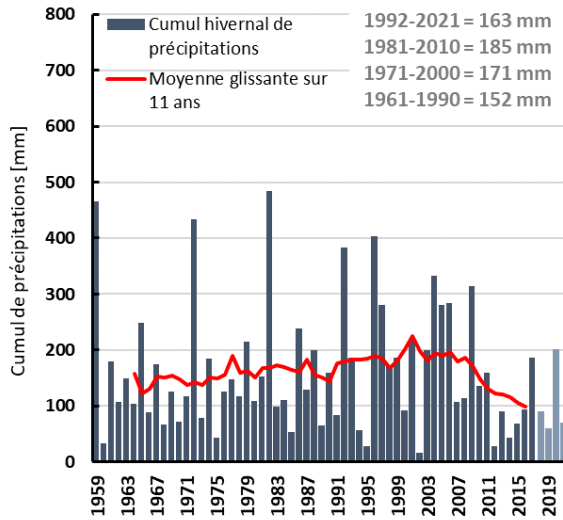
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



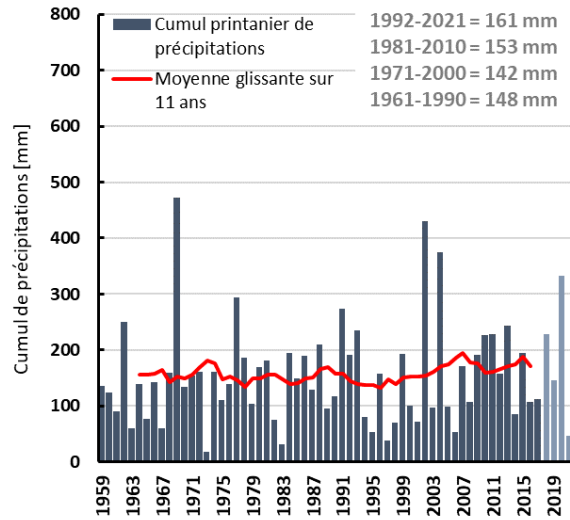
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Perpignan (66)

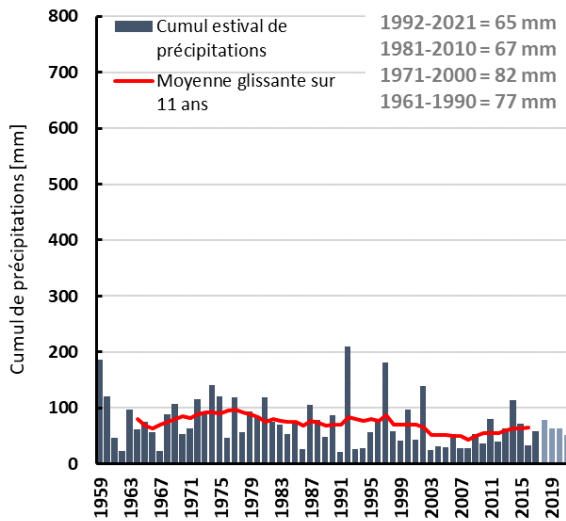
Hiver



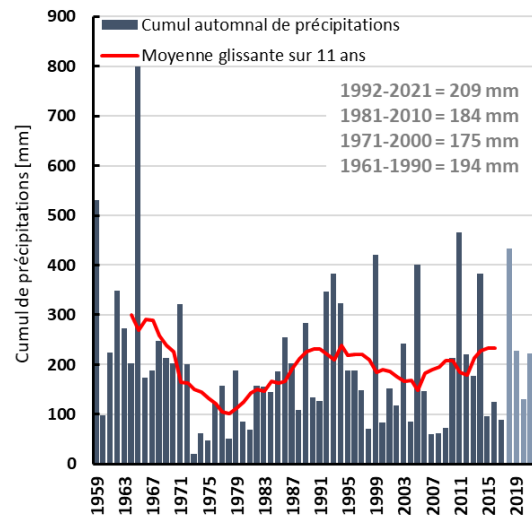
Printemps



Eté



Automne



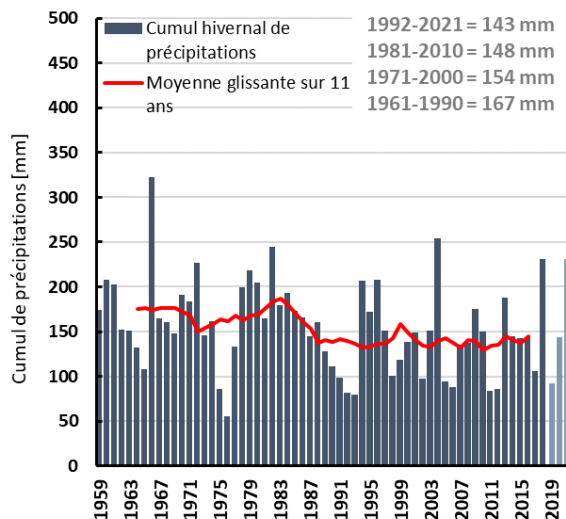
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



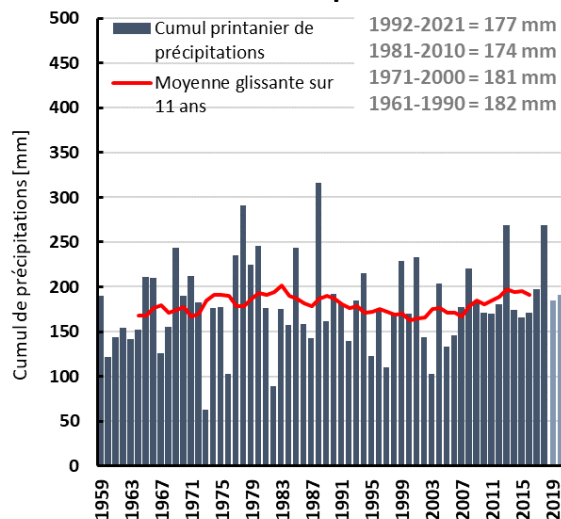
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Lavour (81)

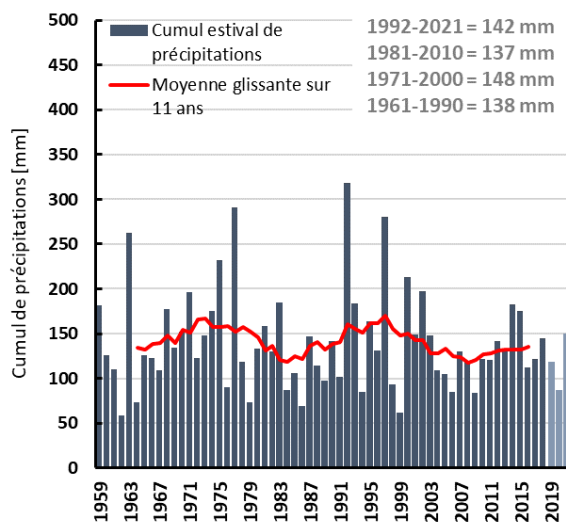
Hiver



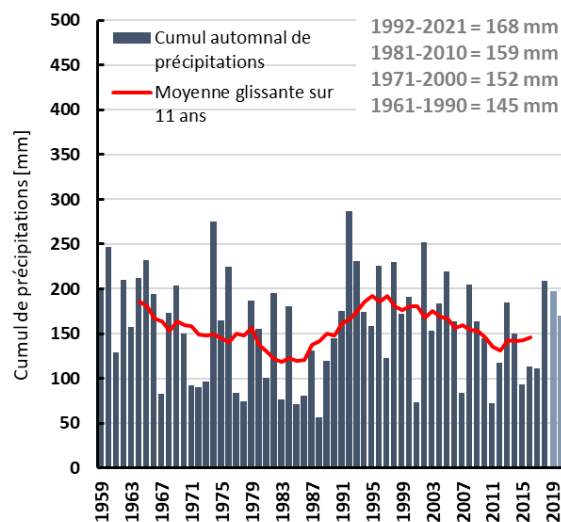
Printemps



Eté



Automne



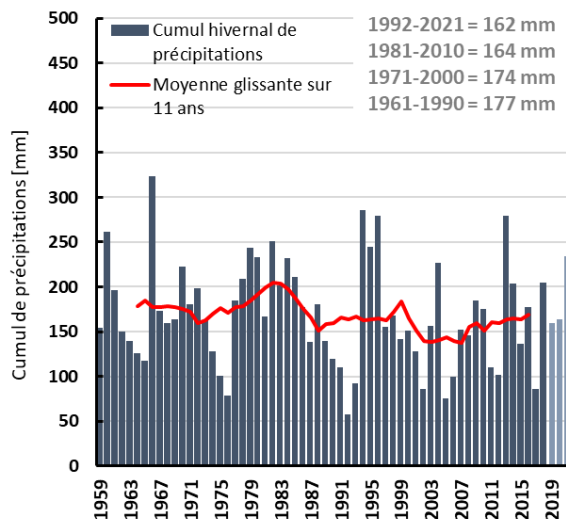
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



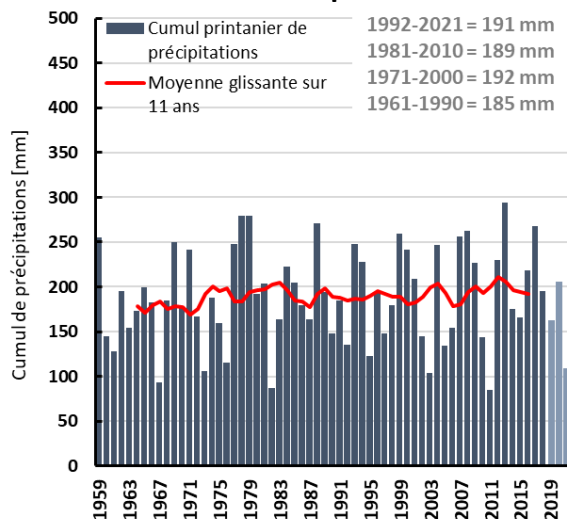
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Montauban (82)

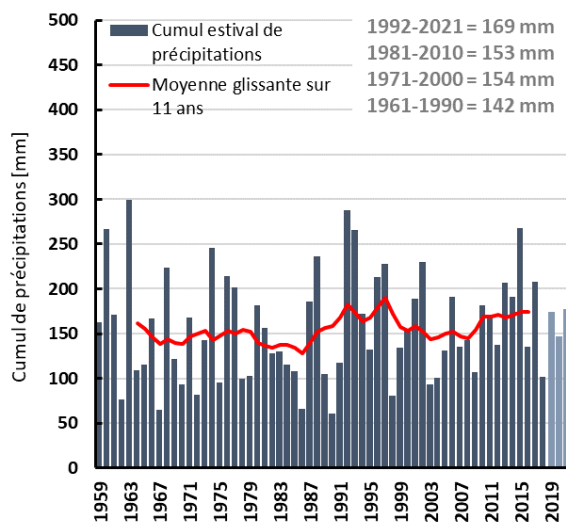
Hiver



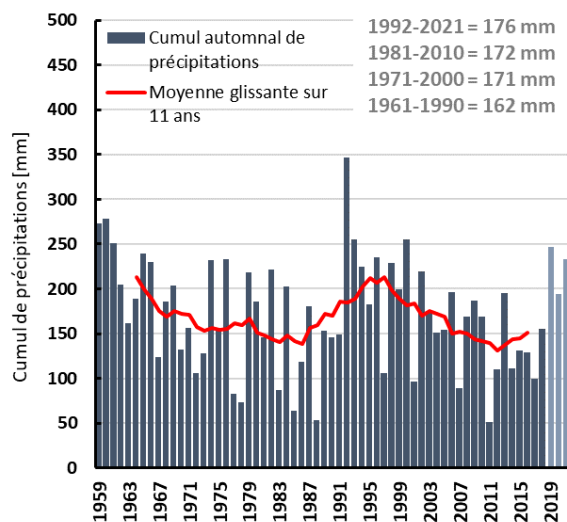
Printemps



Été



Automne



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Analyse

L'analyse de la tendance linéaire par décennie sur la période 1959 - 2021 des 12 stations départementales est reprise dans le tableau suivant :

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Lorp-Sentaraille	-0,23 (NS)	+2,63 (NS)	-4,36 (NS)	+5,56 (NS)
Carcassonne	-7,21 (NS)	+2,16 (NS)	+0,17 (NS)	-2,11 (NS)
Espalion	-5,02 (NS)	-0,87 (NS)	-0,89 (NS)	-5,43 (NS)
Nîmes-Courbessac	-13,01 (NS)	-4,76 (NS)	-5,87 (NS)	+3,01 (NS)
Toulouse-Blagnac	-4,05 (NS)	+0,83 (NS)	+0,95 (NS)	-3,42 (NS)
Auch	-4,68 (NS)	-1,16 (NS)	+2,25 (NS)	-0,07 (NS)
Montpellier-Maugio	-15,00 (NS)	-7,87 (NS)	-4,98 (NS)	-1,83 (NS)
Anglars-Juillac	-3,12 (NS)	+5,35 (NS)	+1,10 (NS)	-3,71 (NS)
Tarbes-Ossun	-2,63 (NS)	+0,16 (NS)	+1,85 (NS)	+1,10 (NS)
Perpignan	-5,01 (NS)	+4,83 (NS)	-5,70 (S)	-7,70 (NS)
Lavaur	-6,38 (NS)	+2,24 (NS)	-2,39 (NS)	-1,78 (NS)
Montauban	-3,82 (NS)	+2,33 (NS)	+2,25 (NS)	-5,84 (NS)

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

Les observations saisonnières complètent l'interprétation de la tendance annuelle non significative des cumuls de précipitations. Seule la station de Perpignan en été montre une tendance significative.

Sans être significative, on observe une baisse tendancielle sur l'ensemble des stations en hiver et sur une grande majorité en automne (9 stations sur 12), une hausse sur la plupart des stations au printemps (8 stations sur 12) et une répartition pour moitié en hausse et moitié en baisse en été.

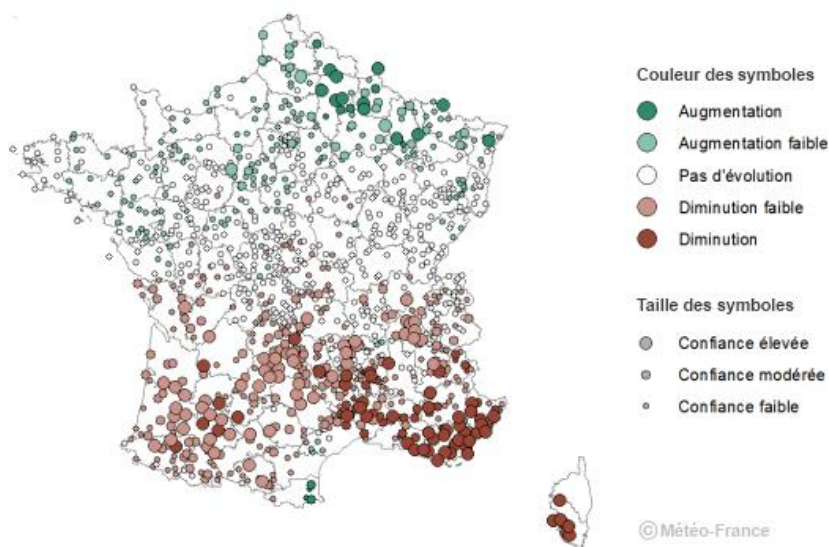
Concernant les précipitations hivernales au niveau national, Météo-France a détecté une légère augmentation des précipitations hivernales au nord de la France et une diminution plus ou moins marquée dans la moitié sud de la France. Cette diminution est accentuée sur le pourtour méditerranéen.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



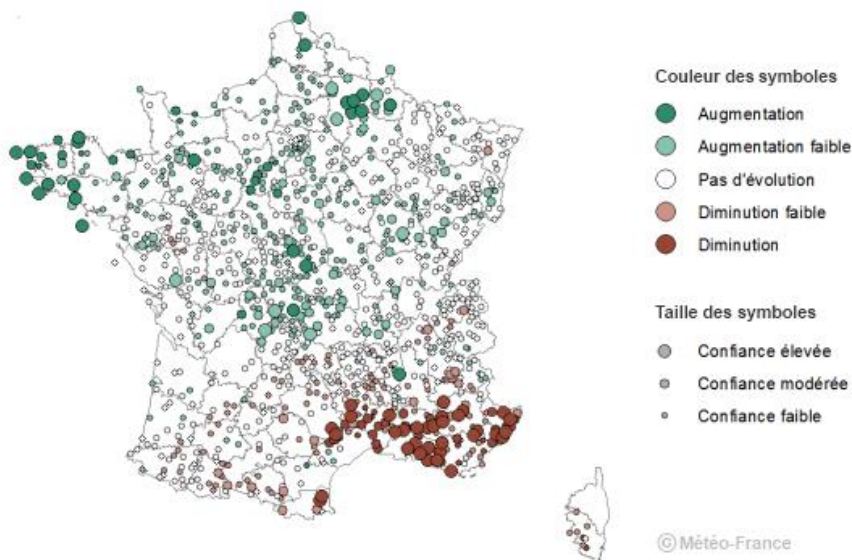
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Evolution observée du cumul hivernal de précipitations sur la période 1959-2009



Sur la période estivale, les précipitations estivales présentent une légère augmentation sur une grande moitié nord du Pays et une baisse dans la moitié sud. La baisse est accentuée sur le pourtour méditerranéen.

Evolution observée du cumul estival de précipitations sur la période 1959-2009



Il s'agit de cumuls trimestriels de précipitations, qui par conséquent ne décrivent en rien les modalités de ces précipitations (nombre d'épisodes pluvieux, pluies intenses, nombre de jours consécutifs sans pluie, etc.).

L'évolution observée des précipitations se distingue de l'évolution observée des températures par l'absence d'une tendance statistiquement significative.



A retenir

- ✓ Les observations saisonnières des cumuls de précipitations n'ont pas de tendances significatives, à l'exception de la station de Perpignan en été avec une baisse de 5,70 mm par décennie.
- ✓ Sans être significative, on observe une baisse tendancielle des précipitations sur les stations pour les mois de janvier, février, mars et octobre, novembre, décembre.

Note statistique : sur ce jeu de données, trois tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour en savoir plus

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M., CANELLAS M., MESTRE O. (2002) : Les changements climatiques en France au XXeme siecle : etude des longues series homogeneisees de temperature et de precipitations, La Meteorologie n° 38, 45-56.

Soubeyroux J.-M., Neppel L., Veysseire J.-M., Trambly Y., Carreau J. and Gouget V. (2015): Evolution des précipitations extrêmes en France en contexte de changement climatique, La Houille Blanche, 1 27-33.



Cumul saisonnier et annuel de l'ETP moyen

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1993 à 2020

Indicateur

- Ariège (09) : 1993 à 2020
- Aude (11) : 1993 à 2020
- Aveyron (12) : 1993 à 2020
- Gard (30) : 1993 à 2020
- Haute-Garonne (31) : 1993 à 2020
- Gers (32) : 1993 à 2020
- Hérault (34) : 1993 à 2020
- Lot (46) : 1993 à 2020
- Lozère (48) : 1993 à 2020
- Hautes-Pyrénées (65) : 1993 à 2020
- Pyrénées-Orientales (66) : 1993 à 2020
- Tarn (81) : 1993 à 2020
- Tarn-et-Garonne (82) : 1993 à 2020

Calcul de l'indicateur

- Cumul saisonnier de l'ETP moyen par maille pour les 13 départements de l'Occitanie (Hiver : décembre à février ; Printemps : mars à mai ; Été : juin à août ; Automne : septembre à novembre).
- L'ÉvapoTranspiration Potentielle provient d'une grille d'environ 12 km (0,125° x 0,125°). L'ETP est obtenue à partir de la formule de Penman au pas décadaire après interpolation spatiale des données observées nécessaires au calcul.
- Moyenne trentenaire du cumul saisonnier de l'ETP: 1993 à 2020.

Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : ETP moyenne annuelles

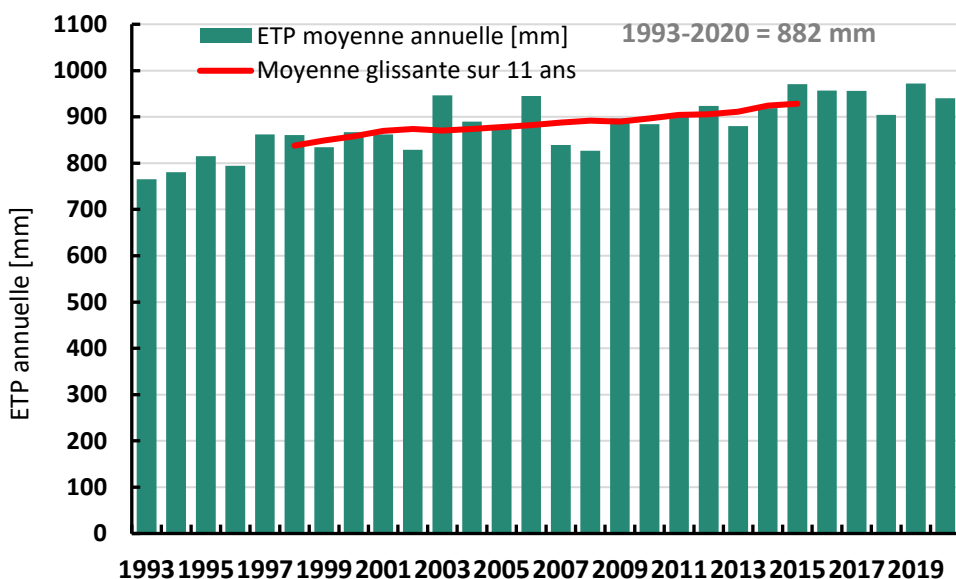
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



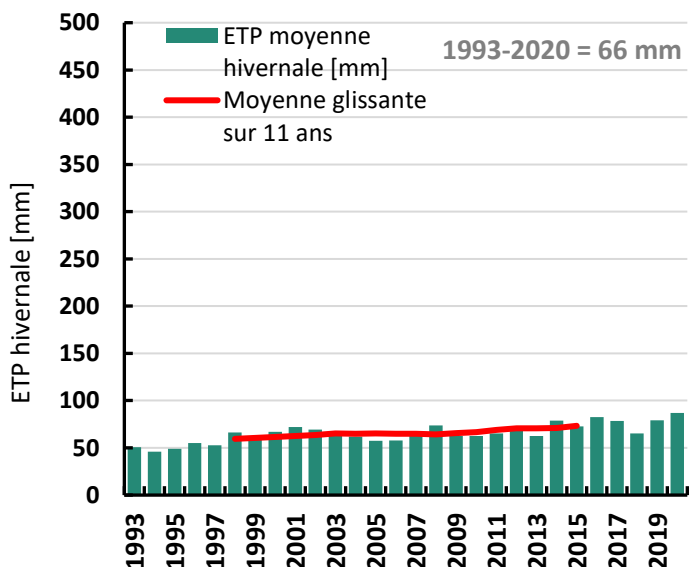
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Ariège (09)

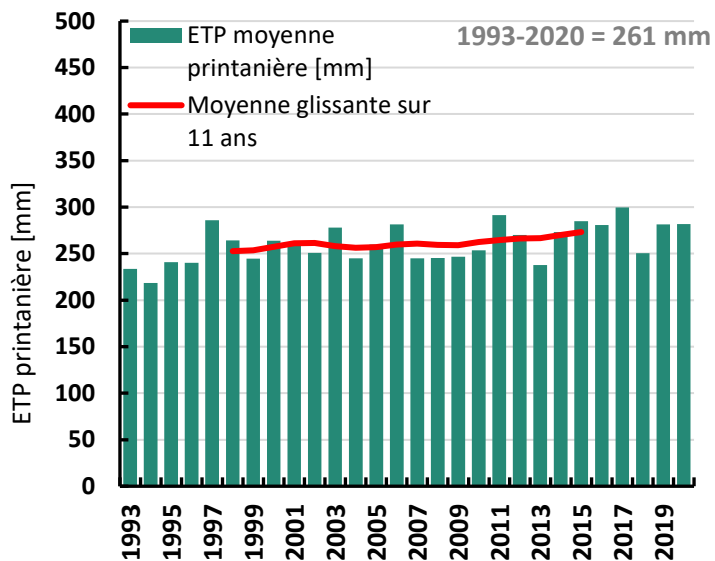
Annuel



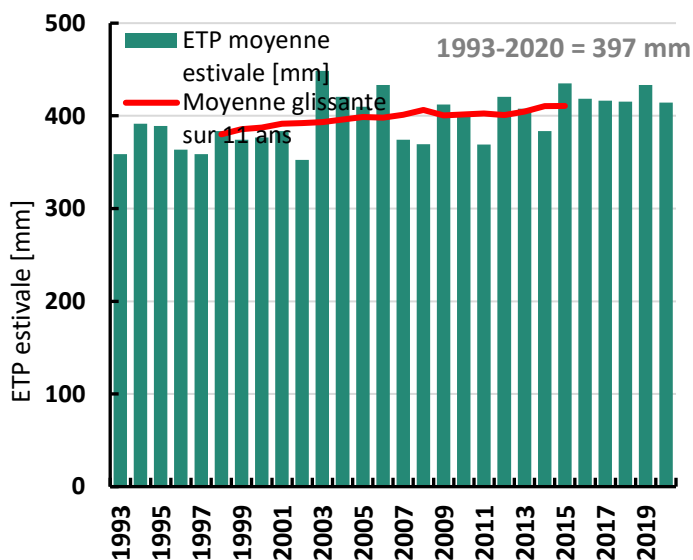
Hiver



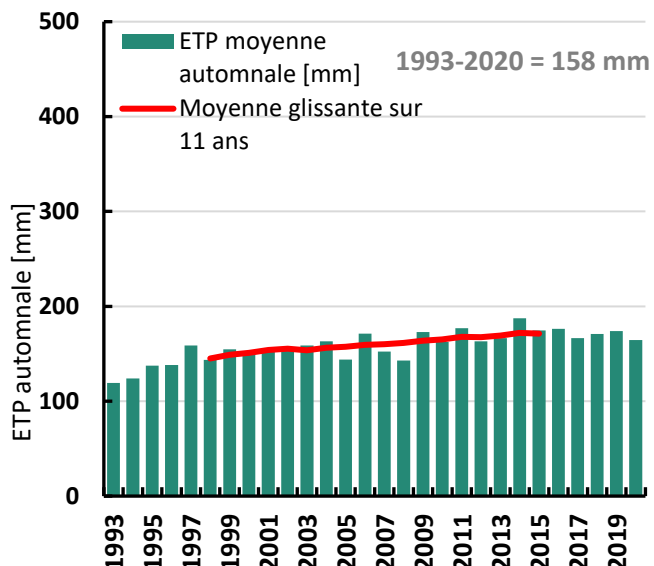
Printemps



Été



Automne



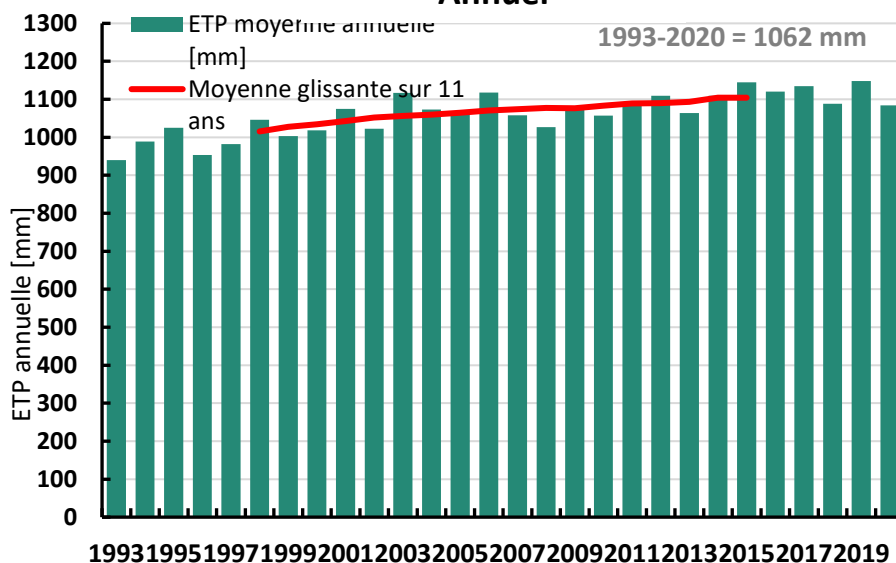
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



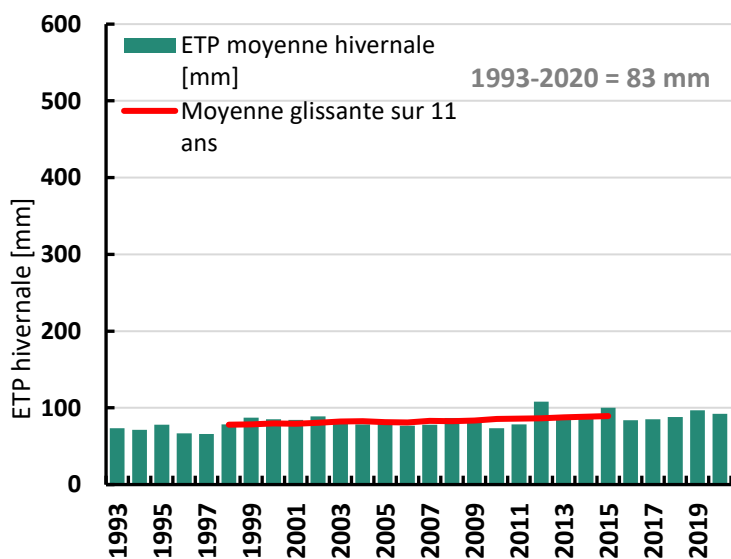
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Aude (11)

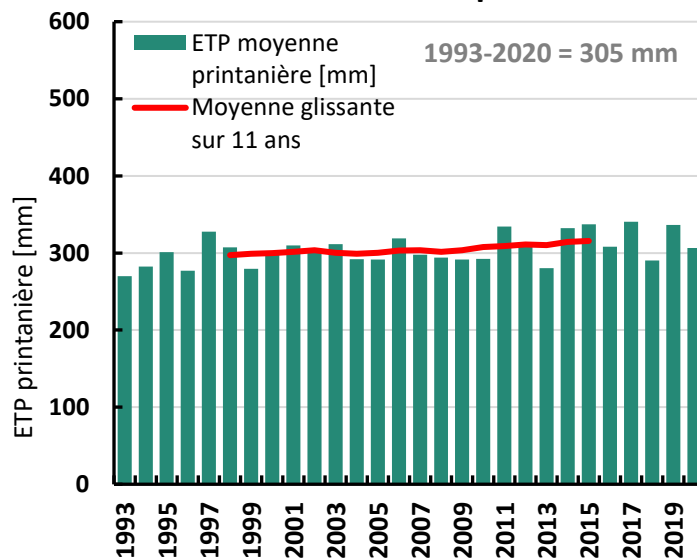
Annuel



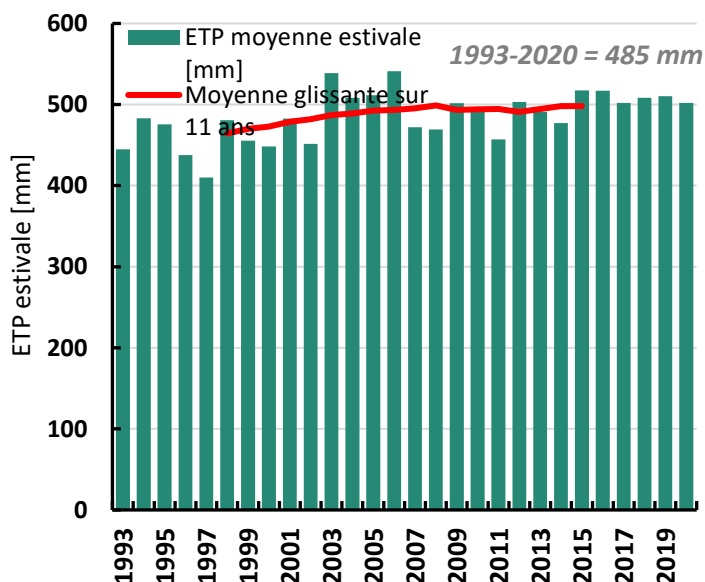
Hiver



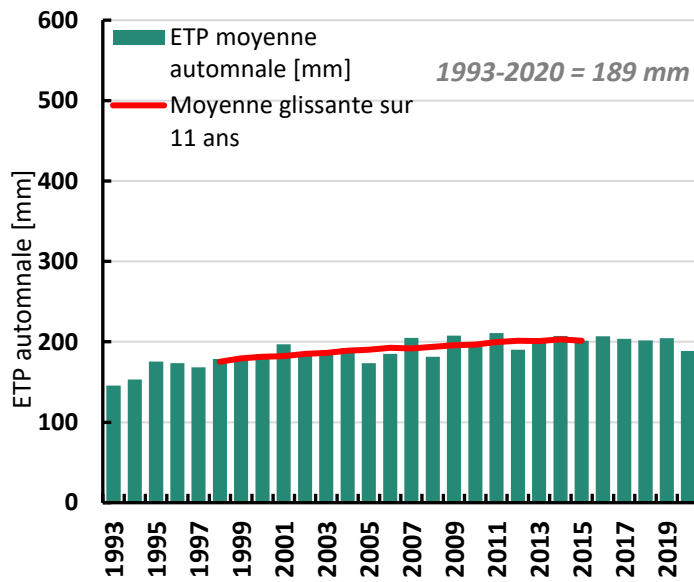
Printemps



Été



Automne



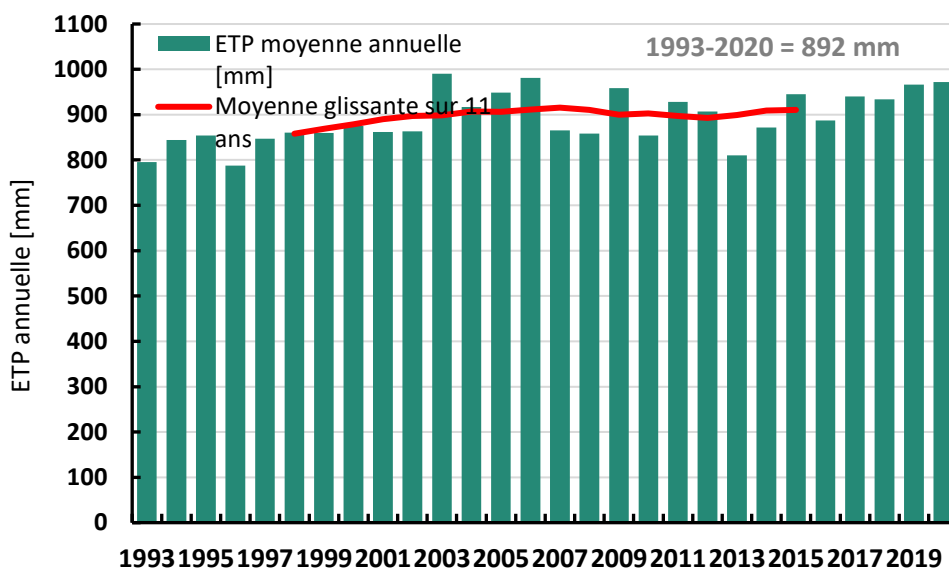
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



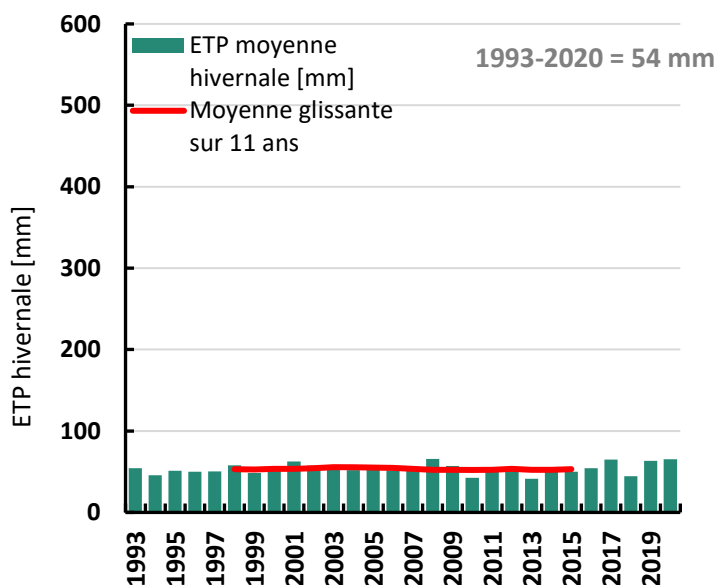
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Aveyron (12)

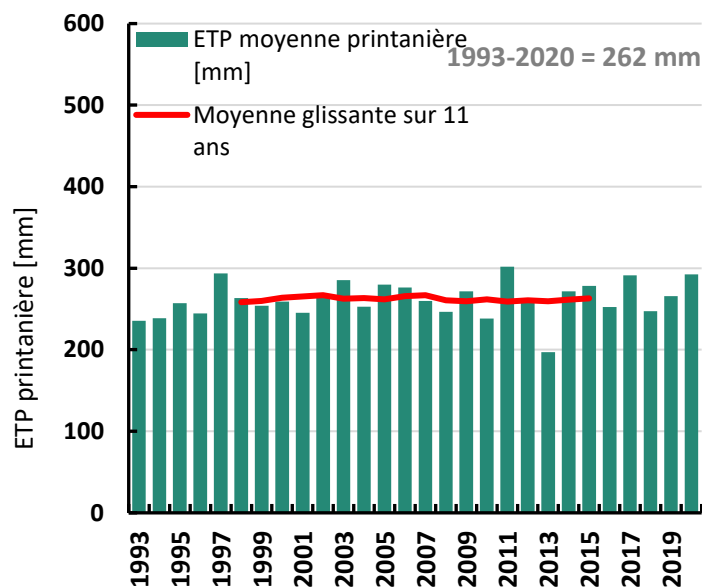
Annuel



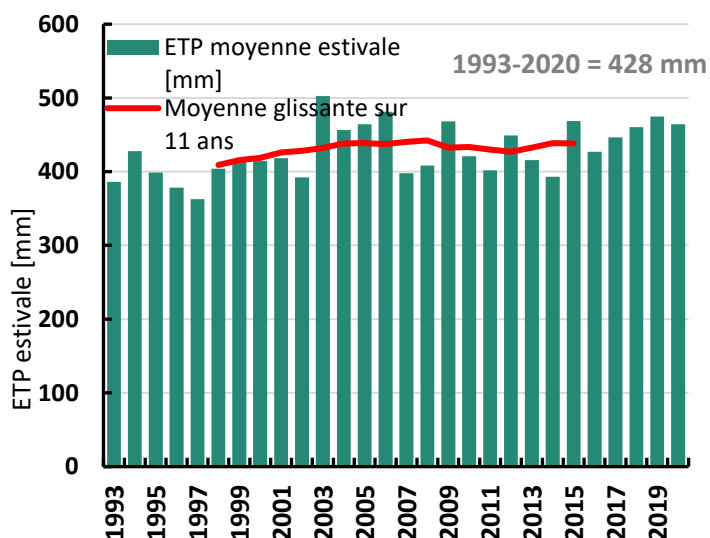
Hiver



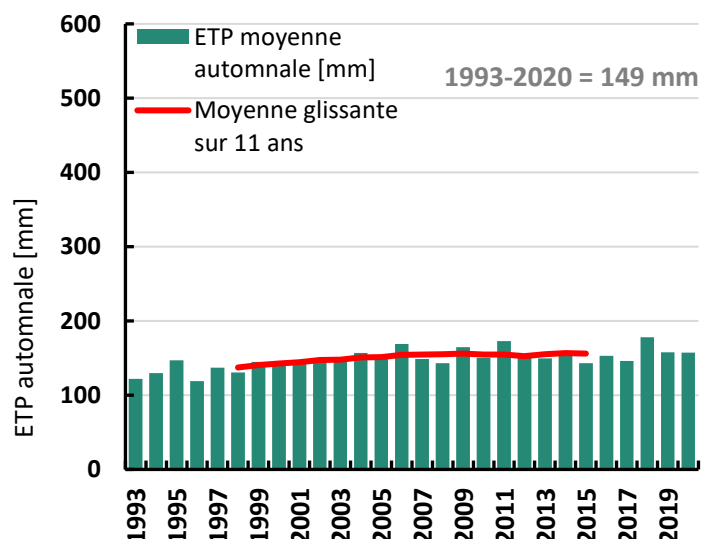
Printemps



Été



Automne



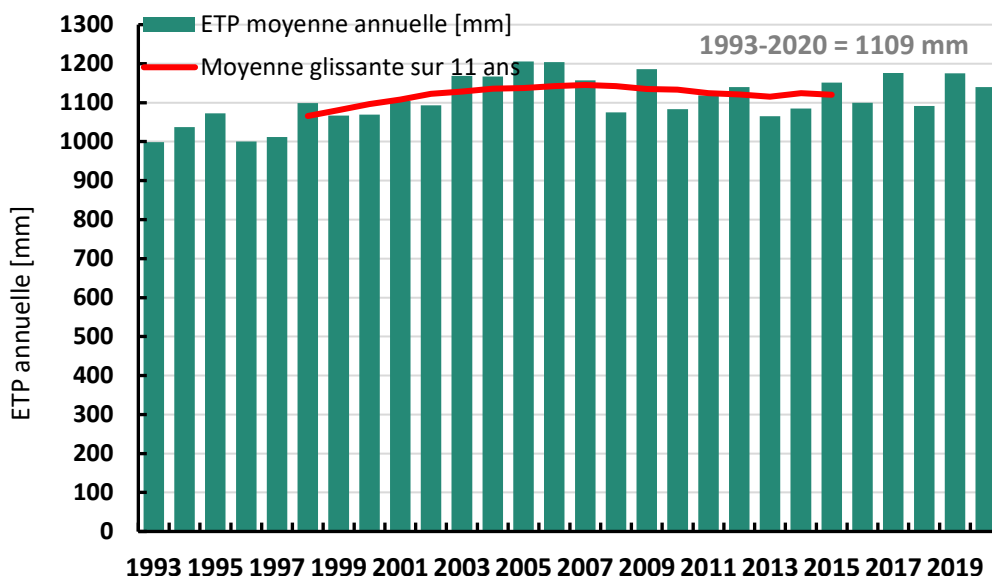
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



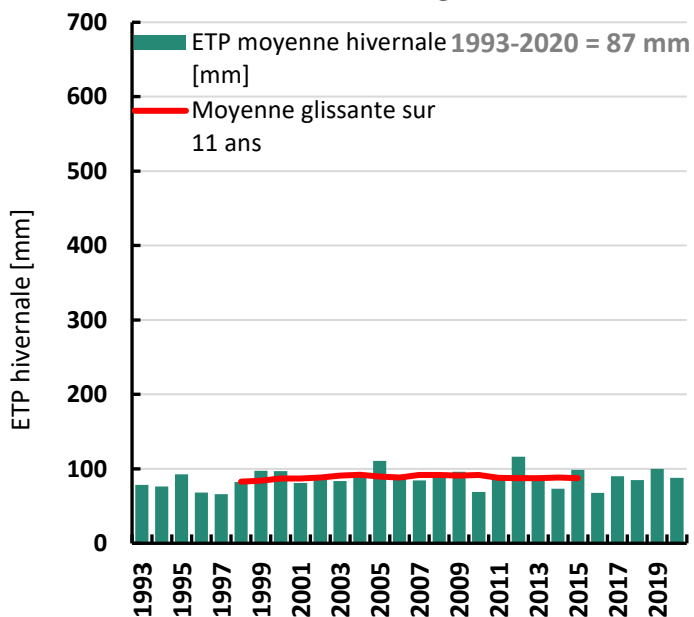
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Gard (30)

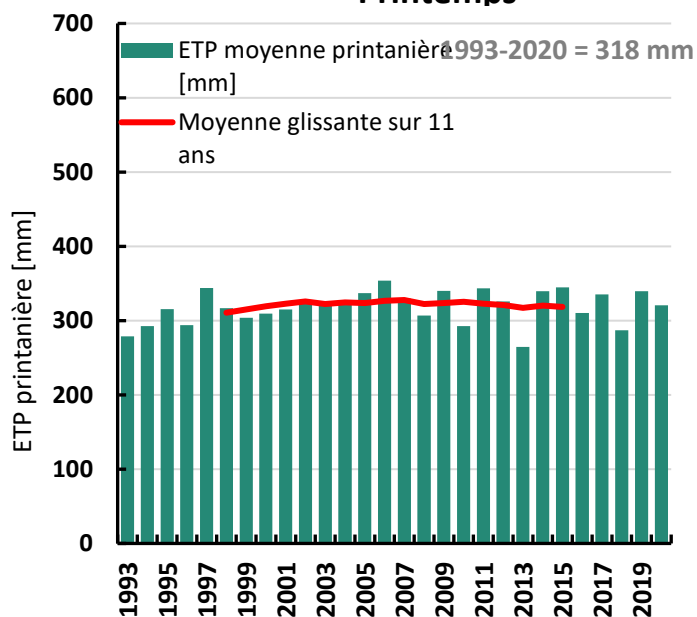
Annuel



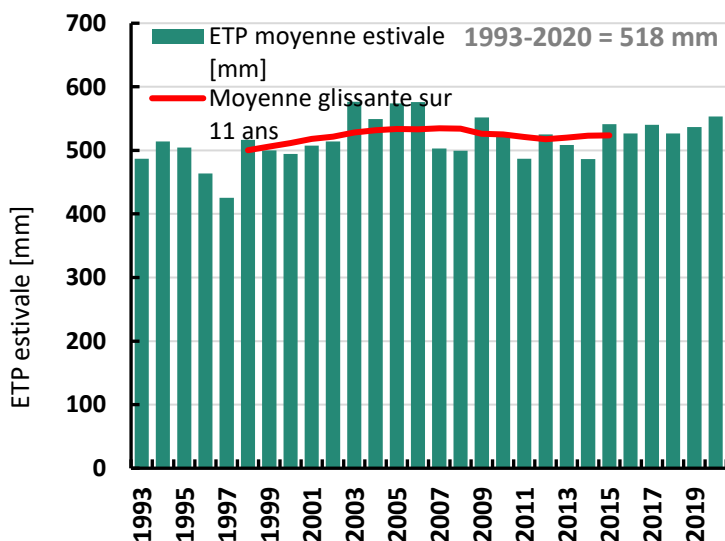
Hiver



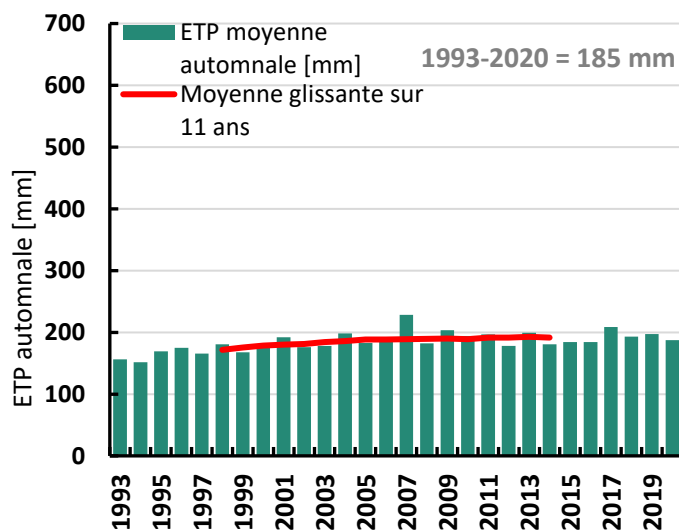
Printemps



Été



Automne



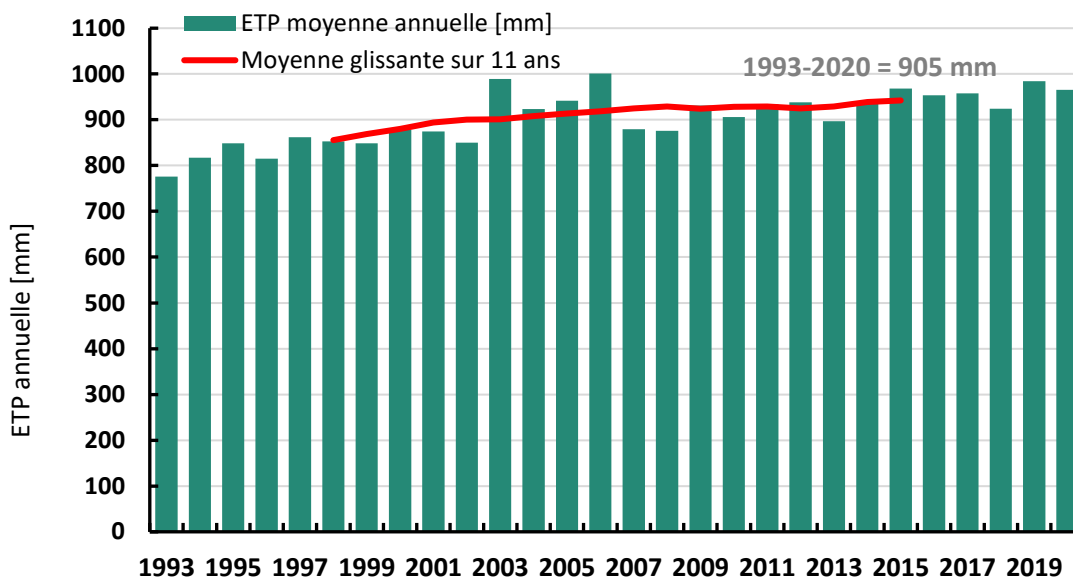
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



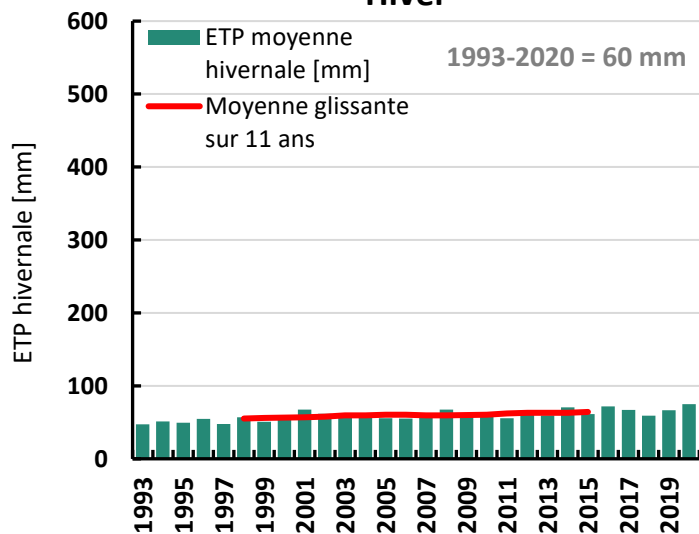
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Haute-Garonne (31)

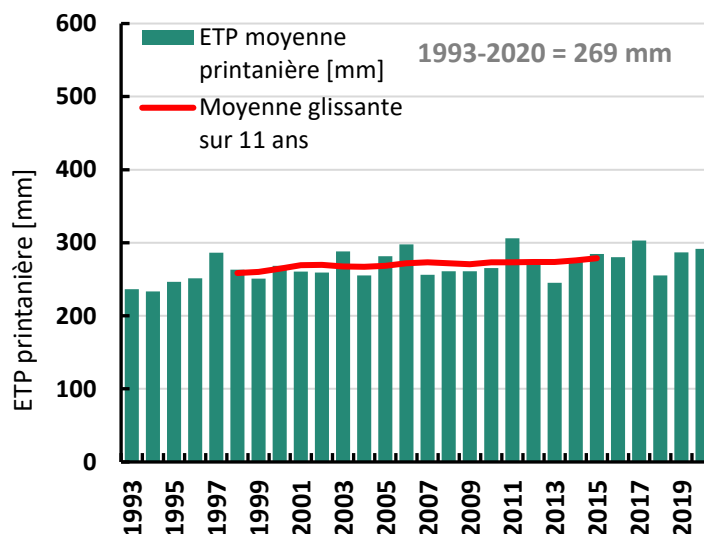
Annuel



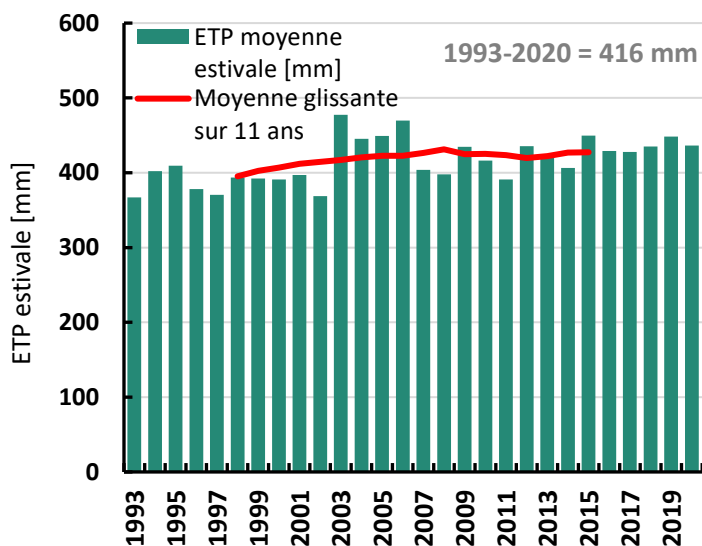
Hiver



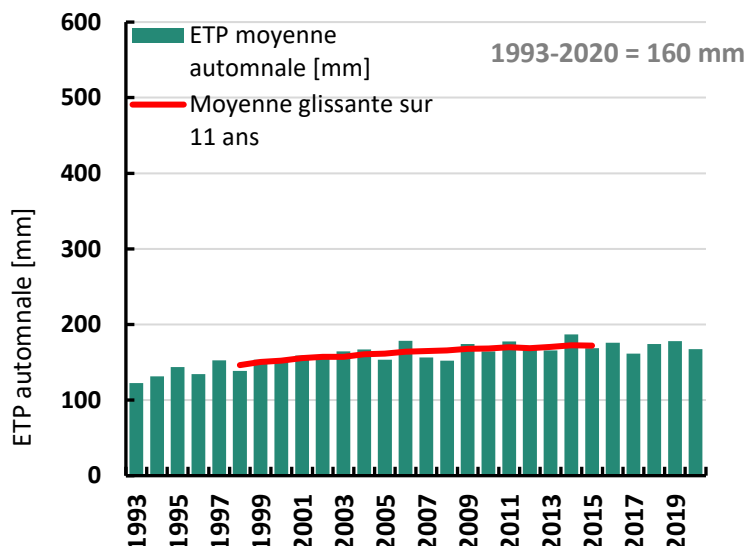
Printemps



Été



Automne



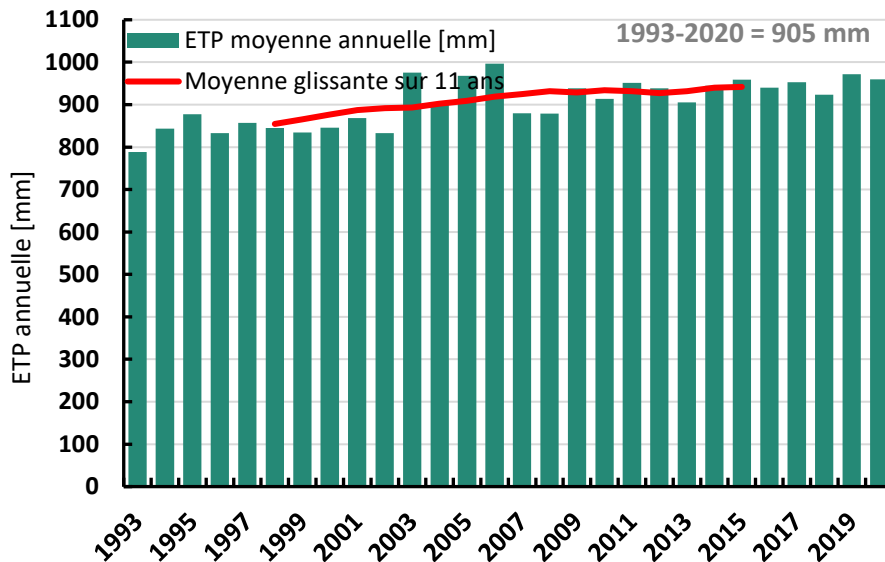
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



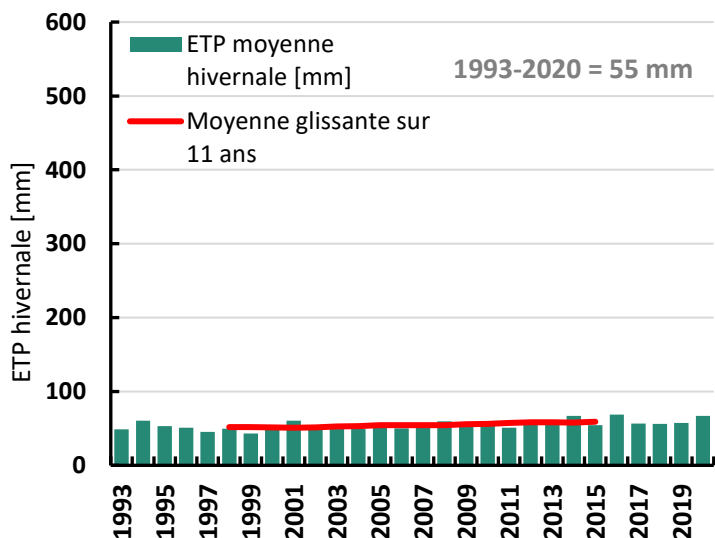
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Gers (32)

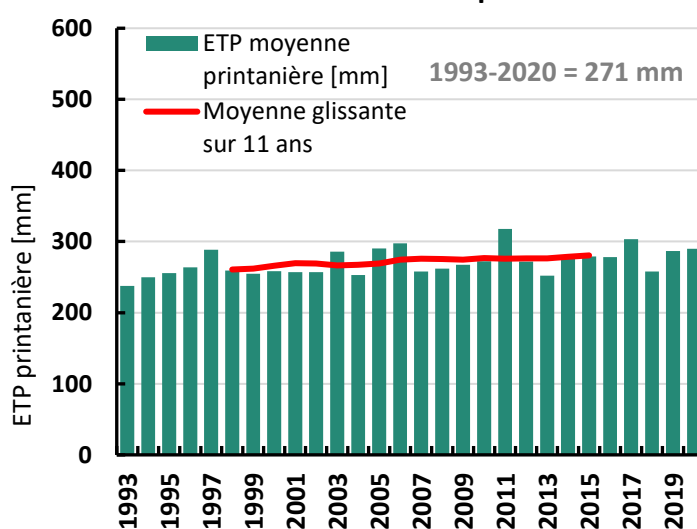
Annuel



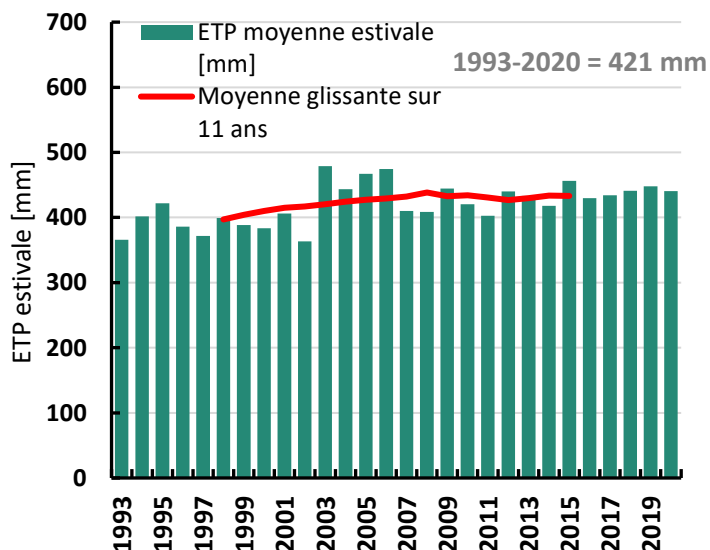
Hiver



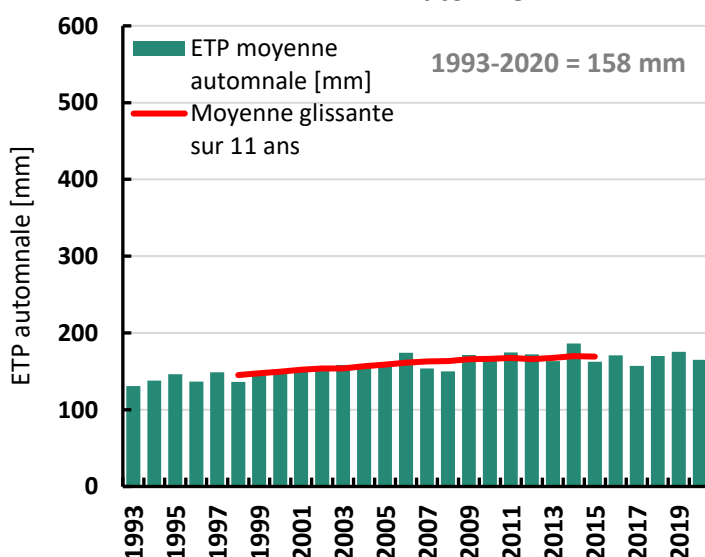
Printemps



Été



Automne



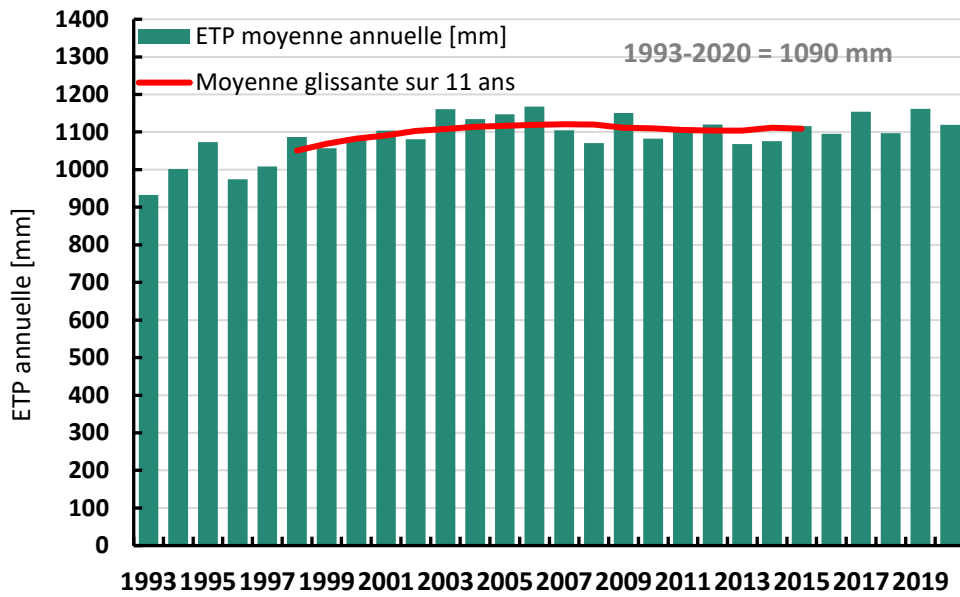
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



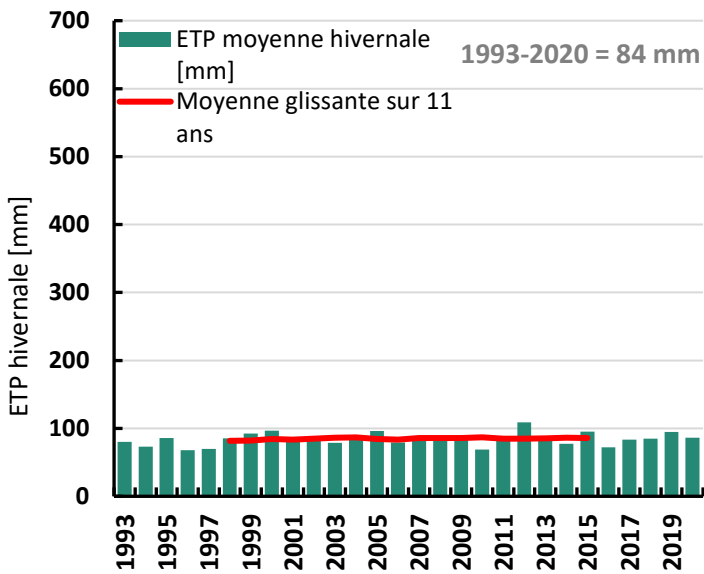
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Hérault (34)

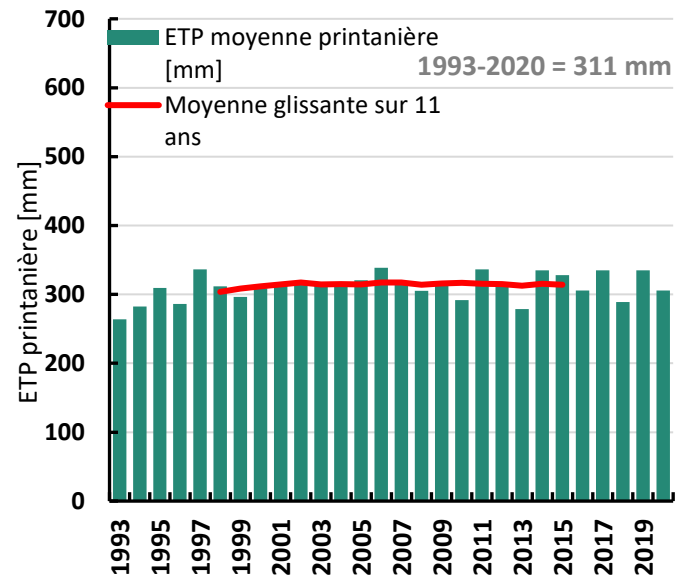
Annuel



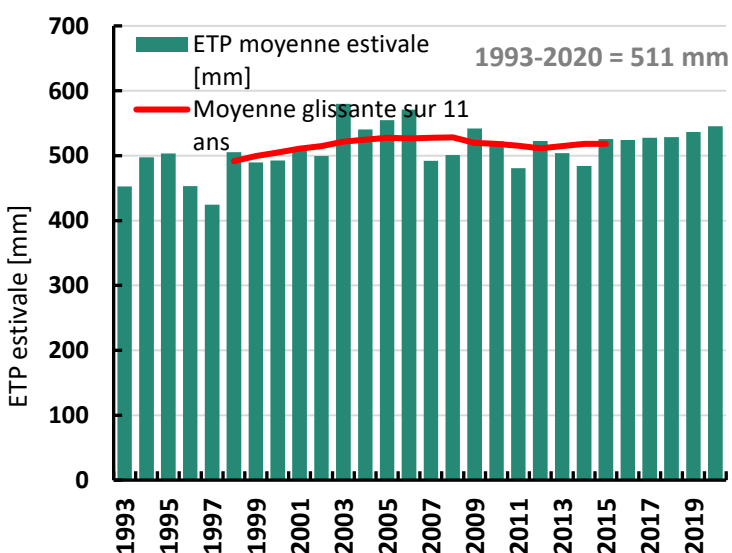
Hiver



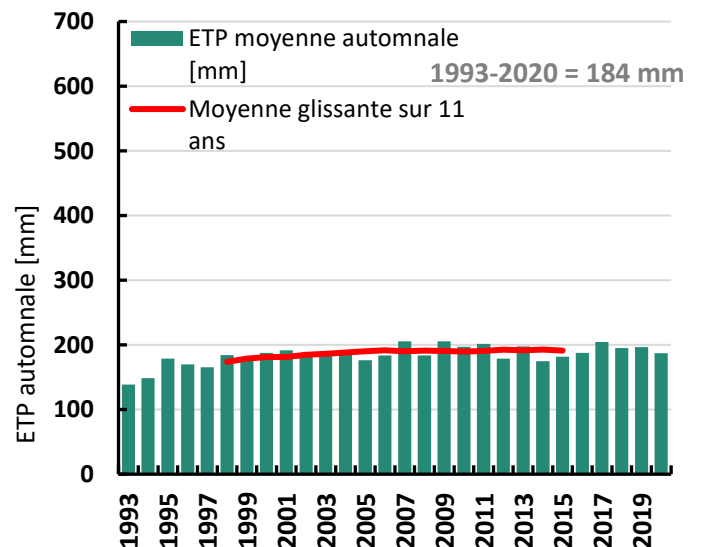
Printemps



Été



Automne



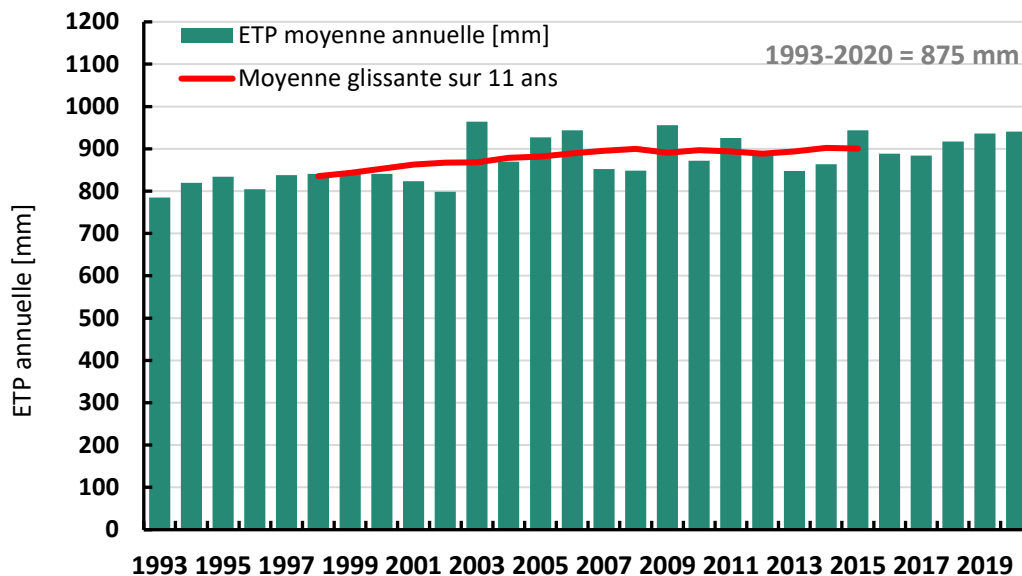
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



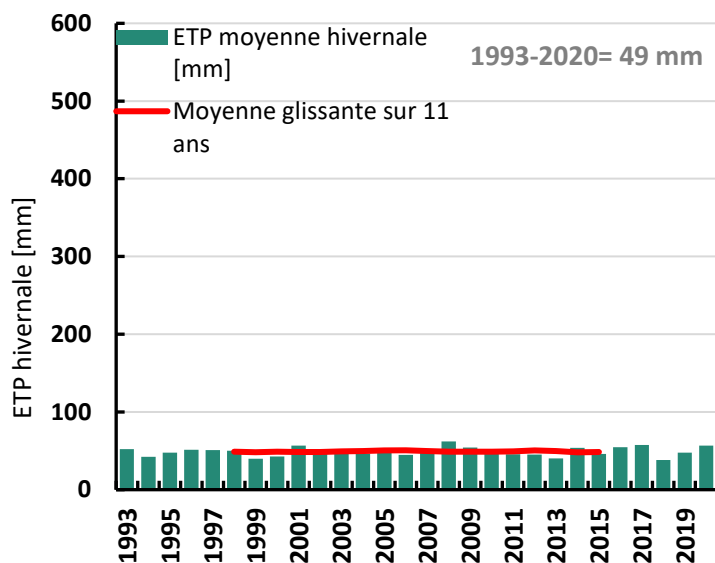
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Lot (46)

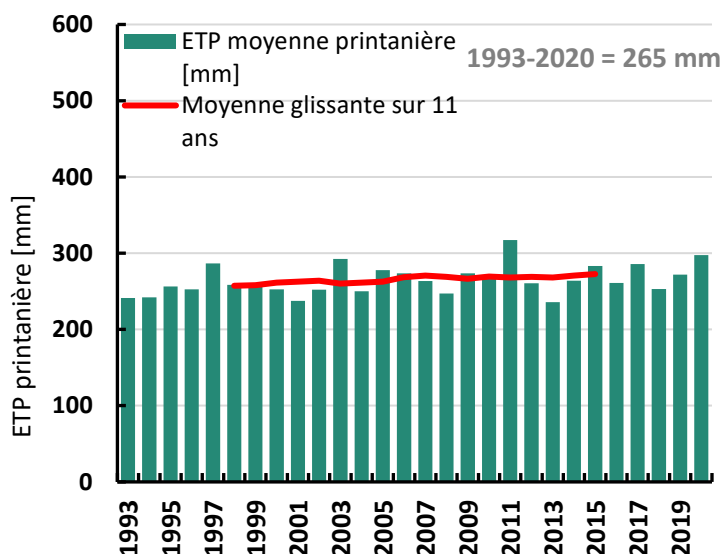
Annuel



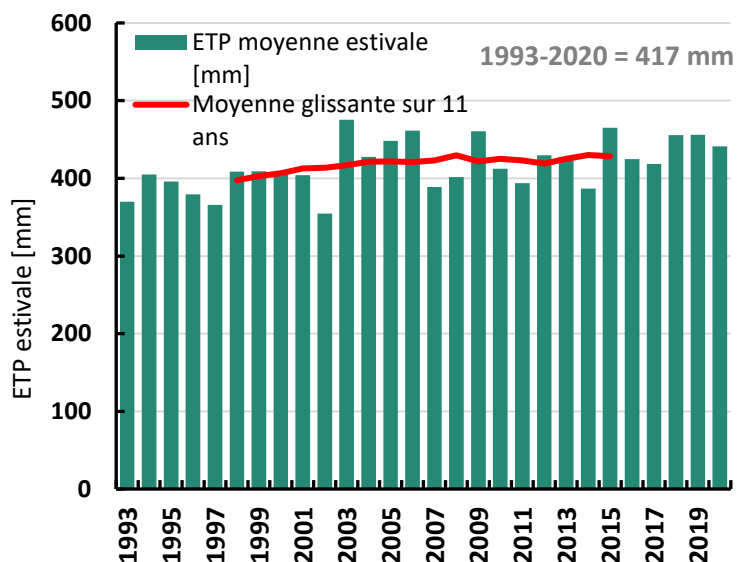
Hiver



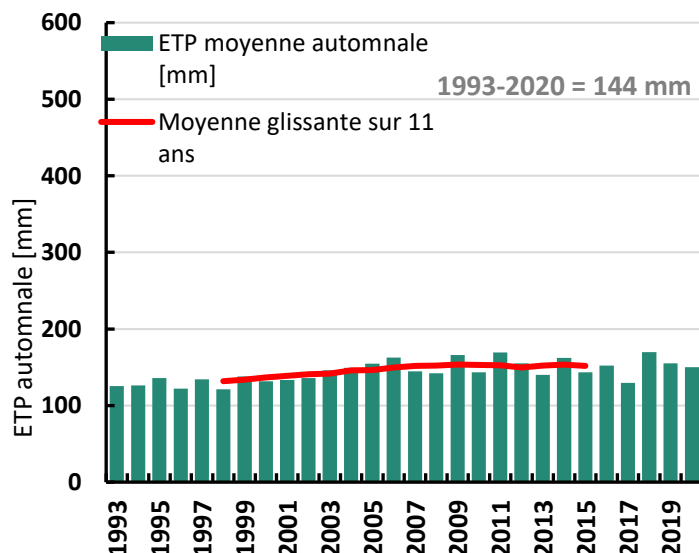
Printemps



Été



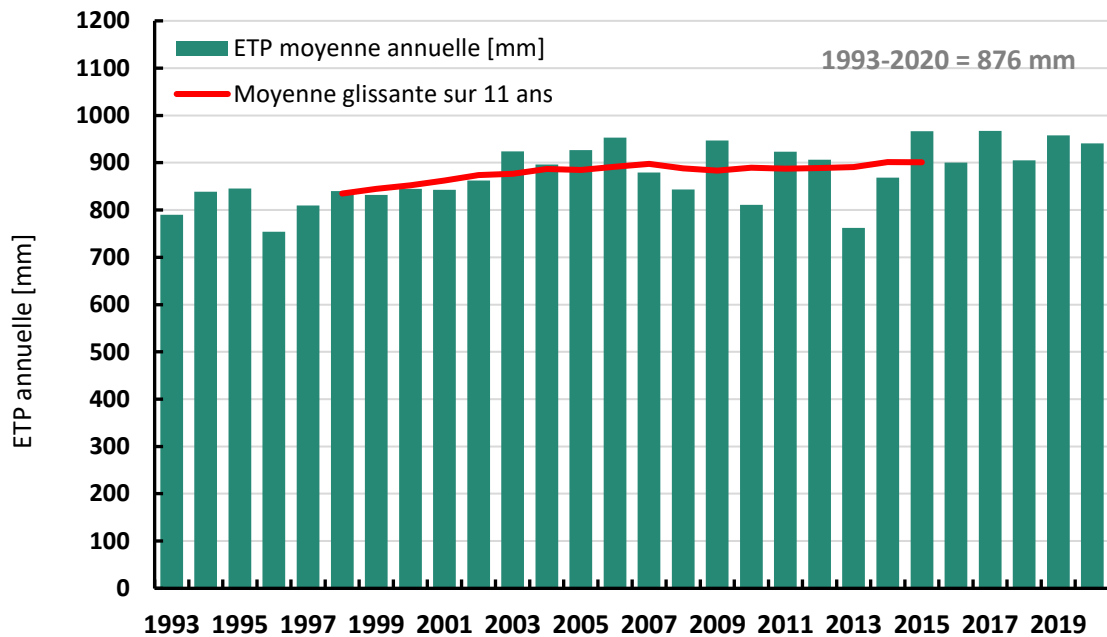
Automne



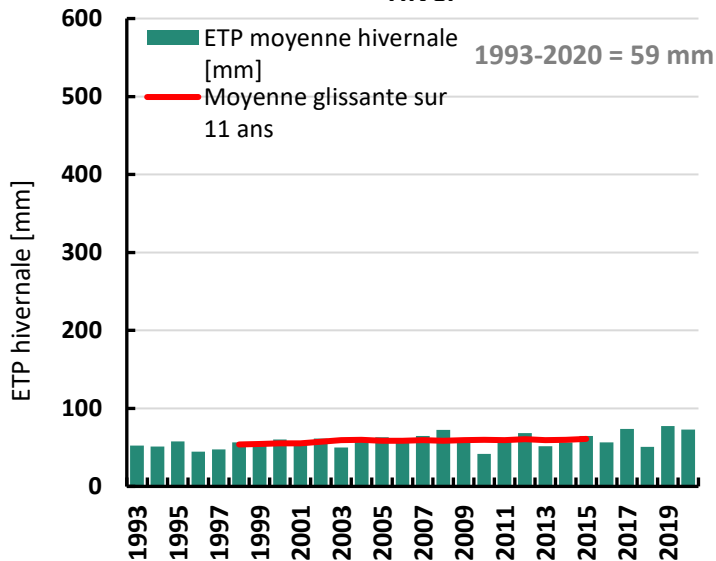


Lozère (48)

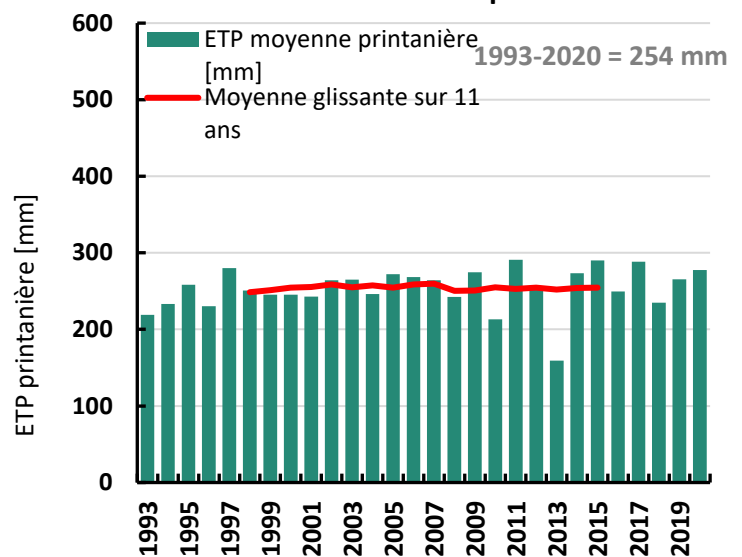
Annuel



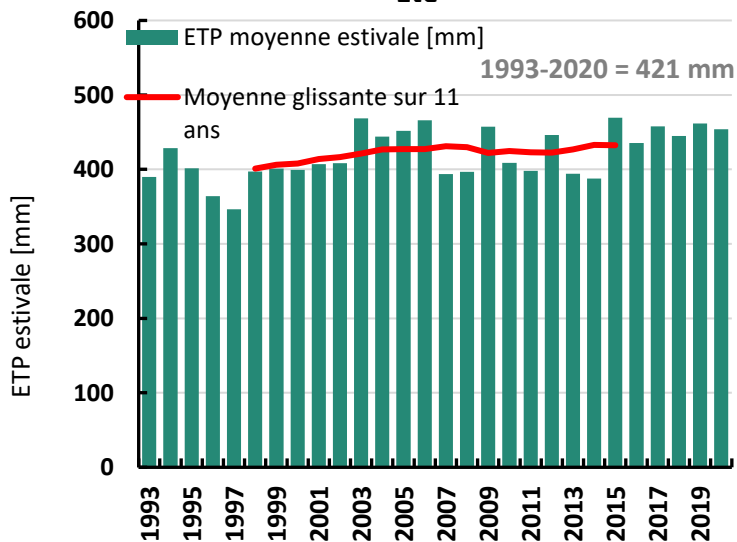
Hiver



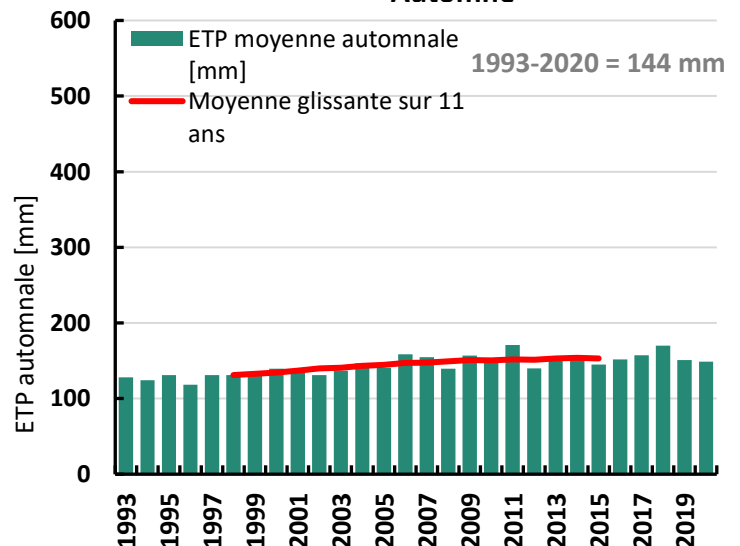
Printemps



Été



Automne



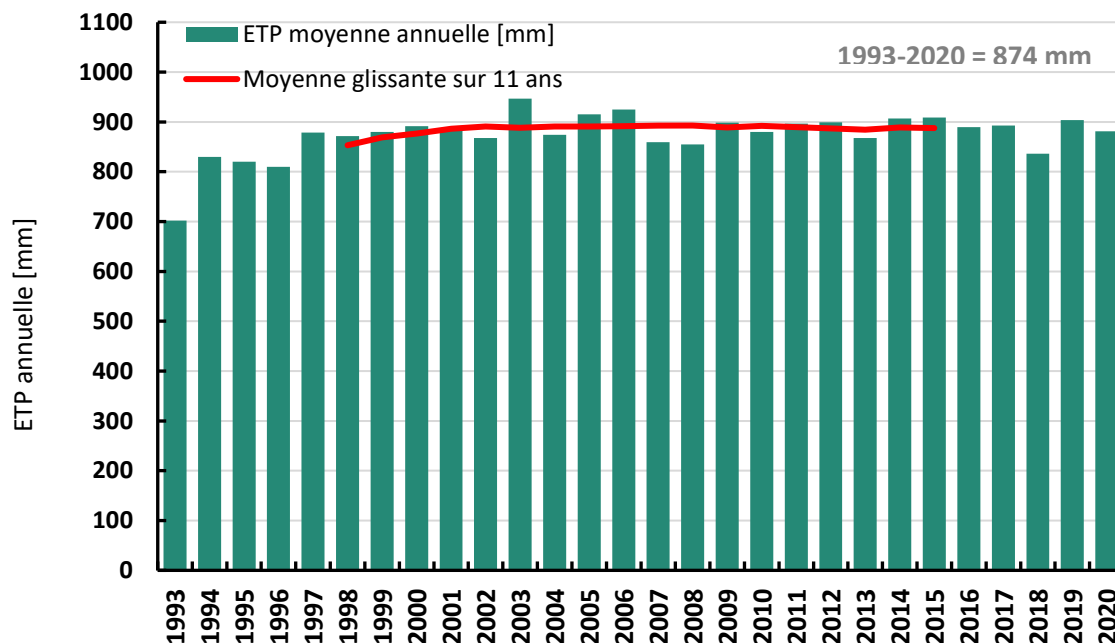
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



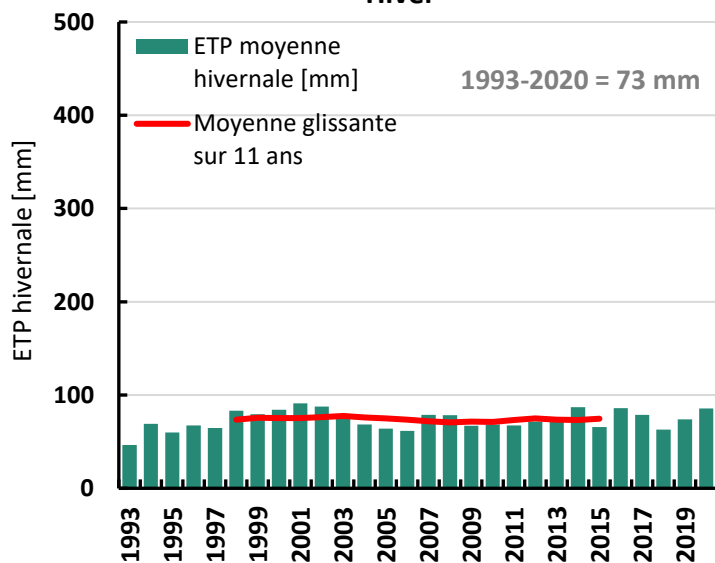
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Hauts-Pyrénées (65)

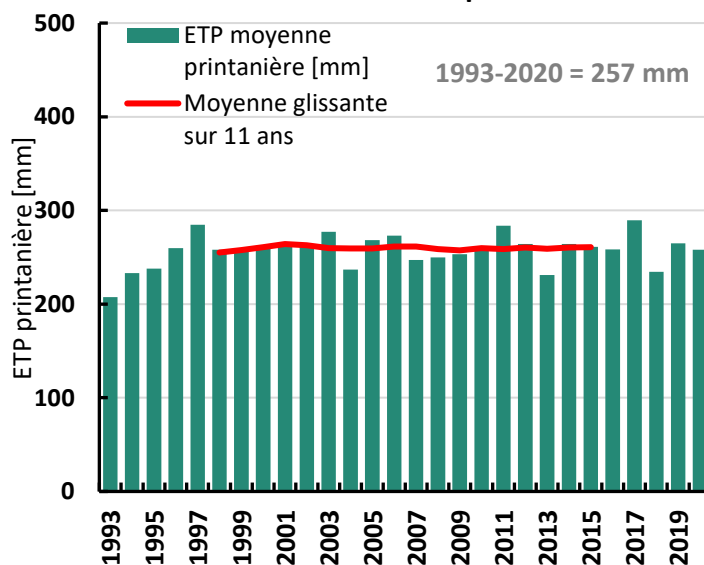
Annuel



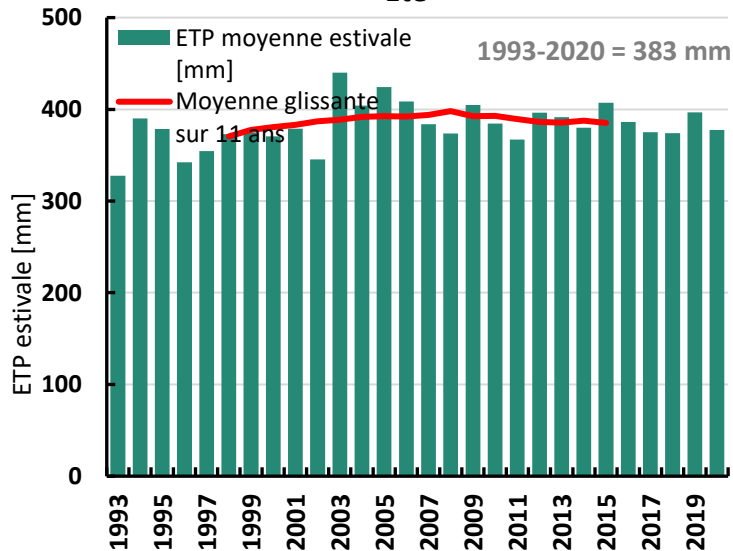
Hiver



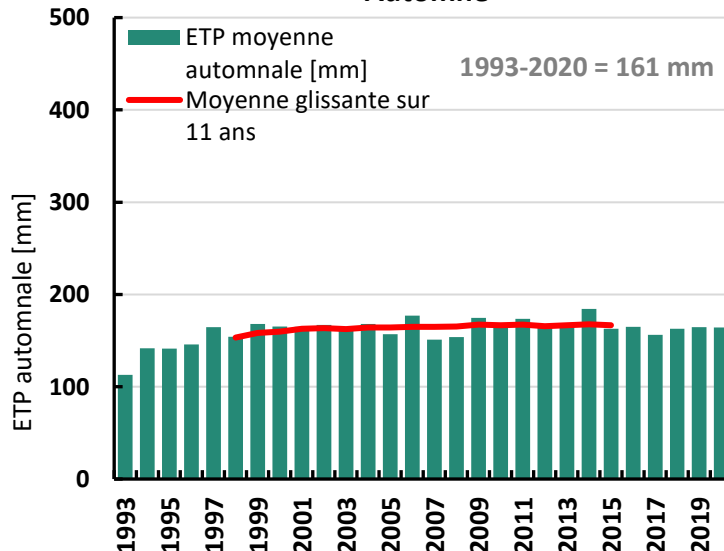
Printemps



Été



Automne



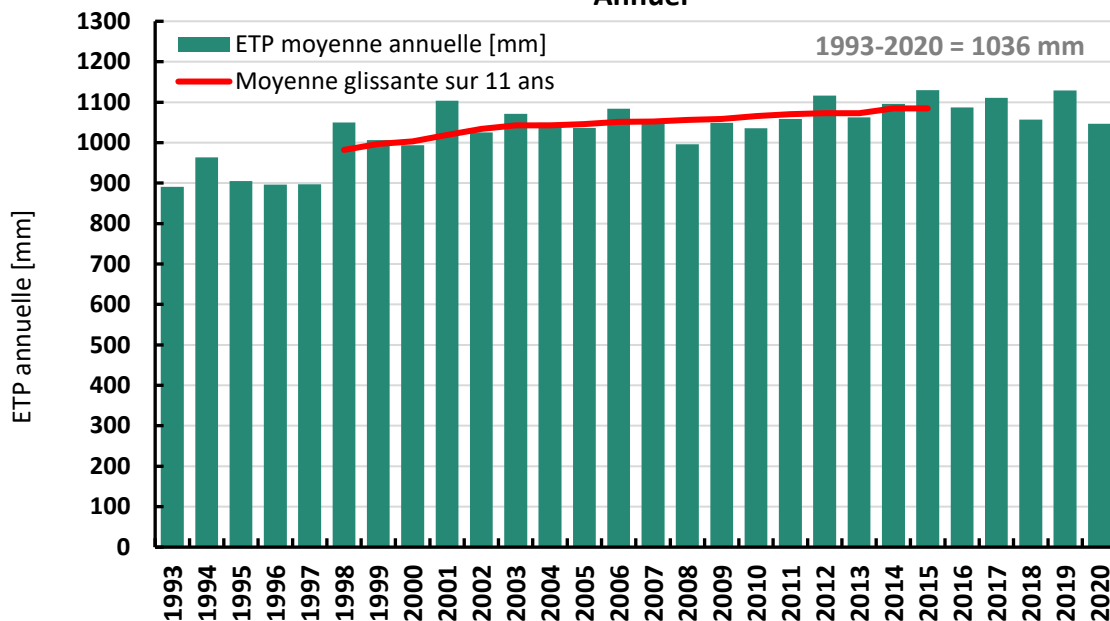
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



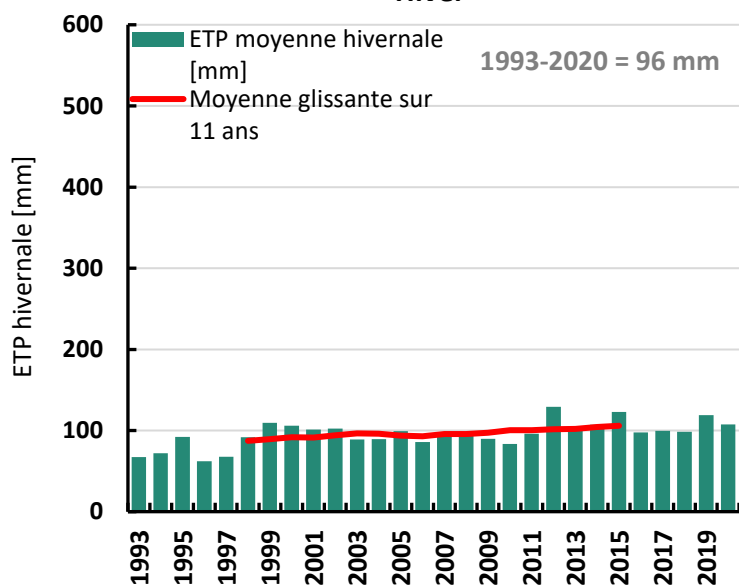
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Pyrénées-Orientales (66)

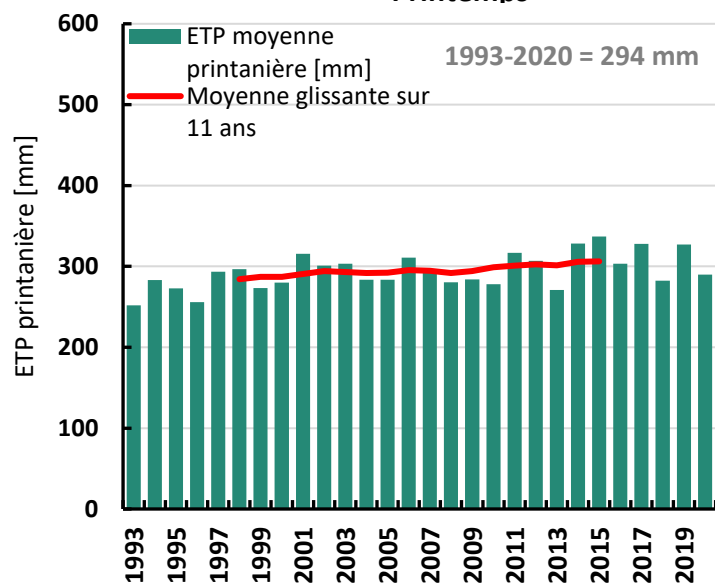
Annuel



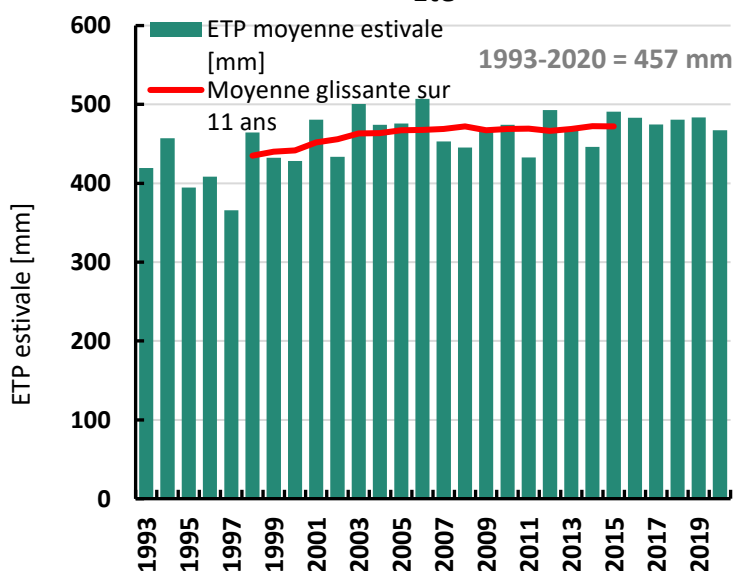
Hiver



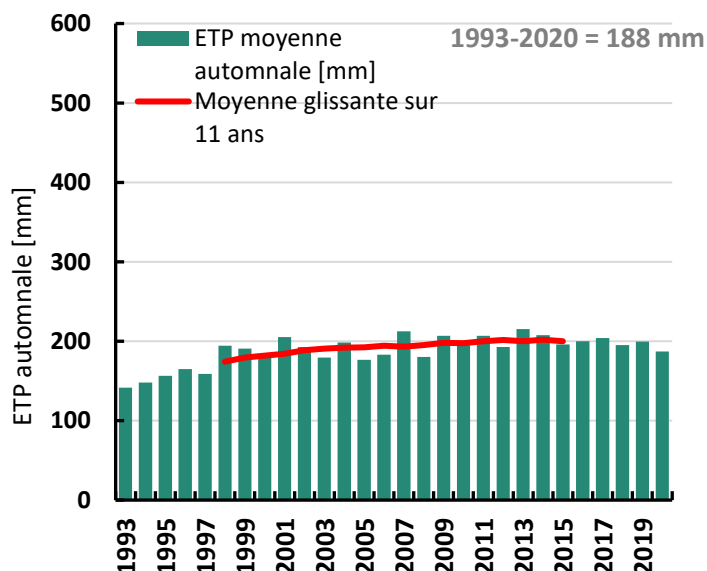
Printemps



Été



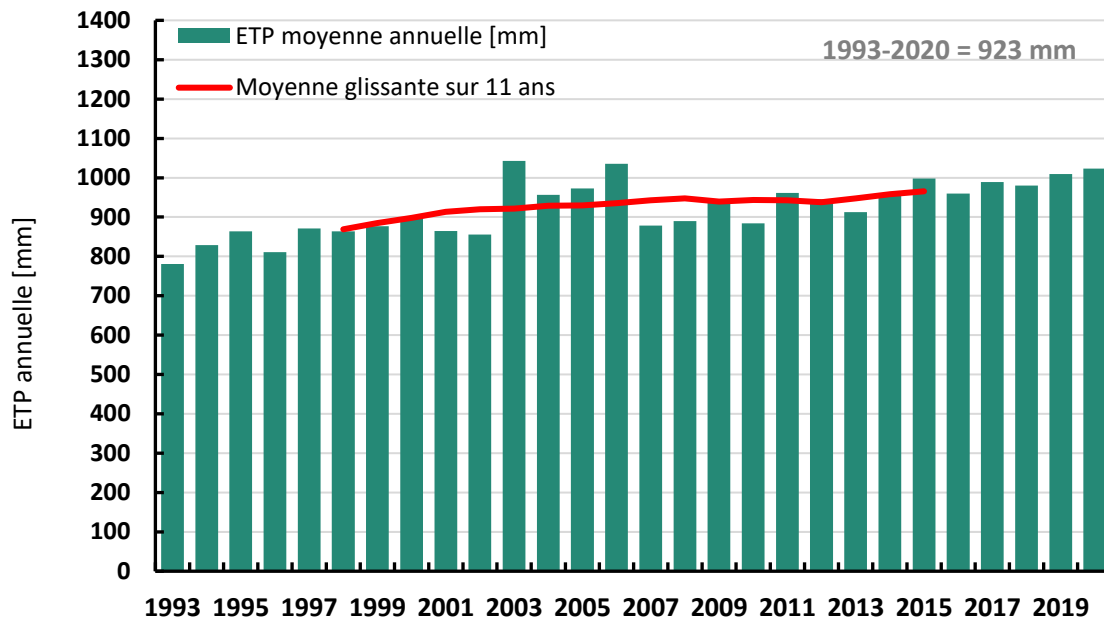
Automne



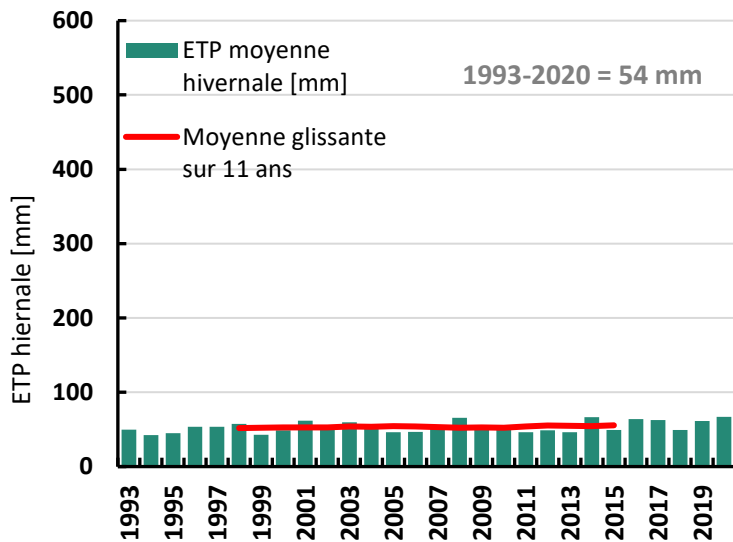


Tarn (81)

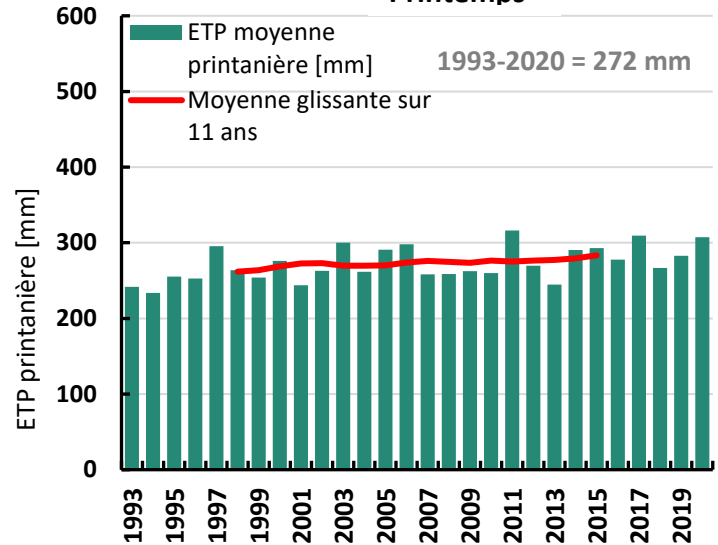
Annuel



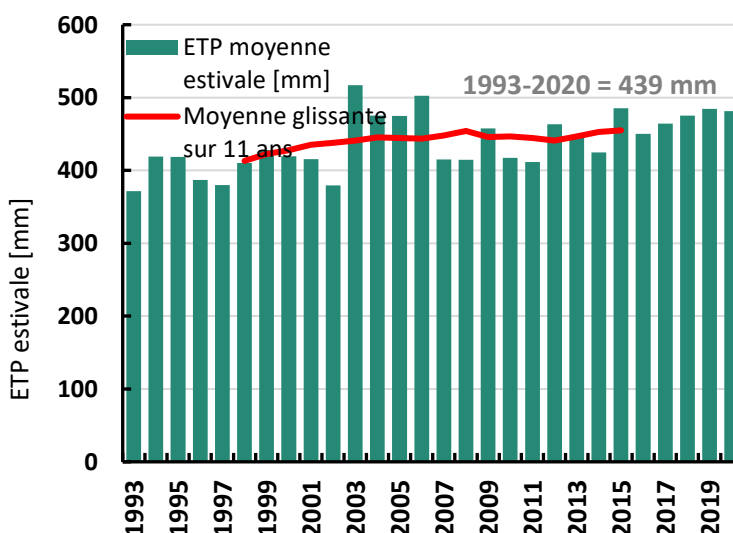
Hiver



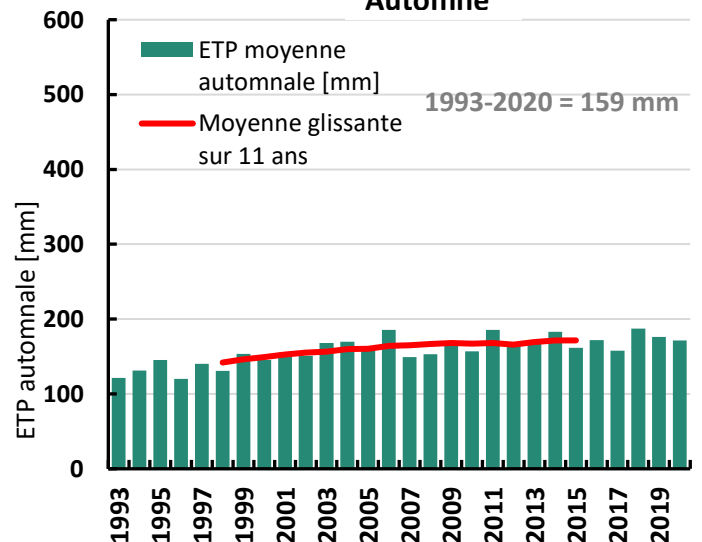
Printemps



Été



Automne



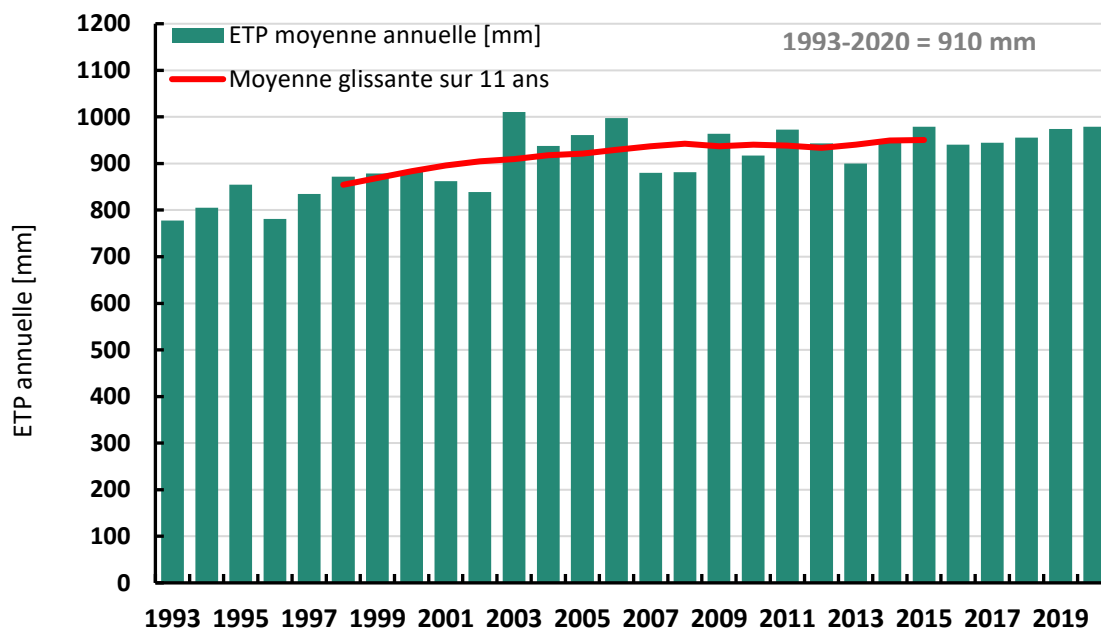
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



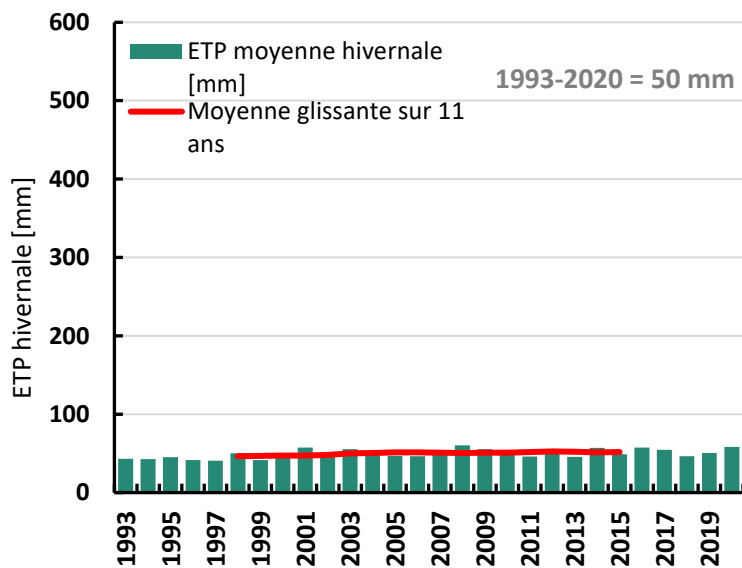
Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Tarn-et-Garonne (82)

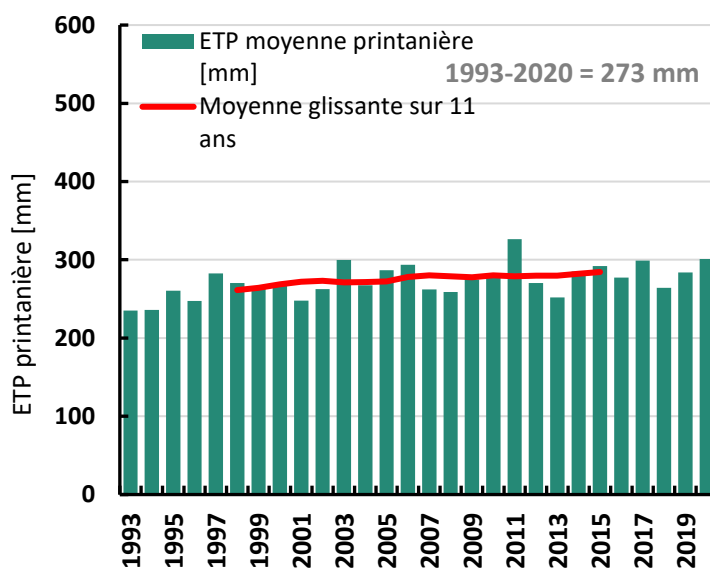
Annuel



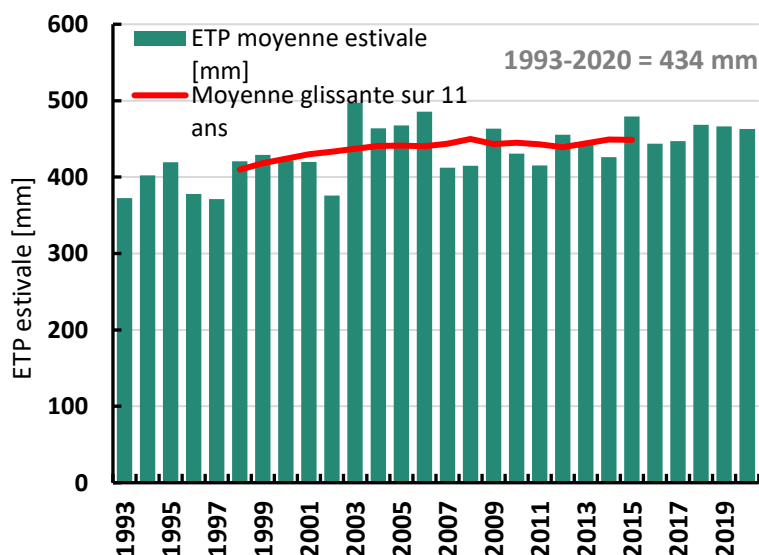
Hiver



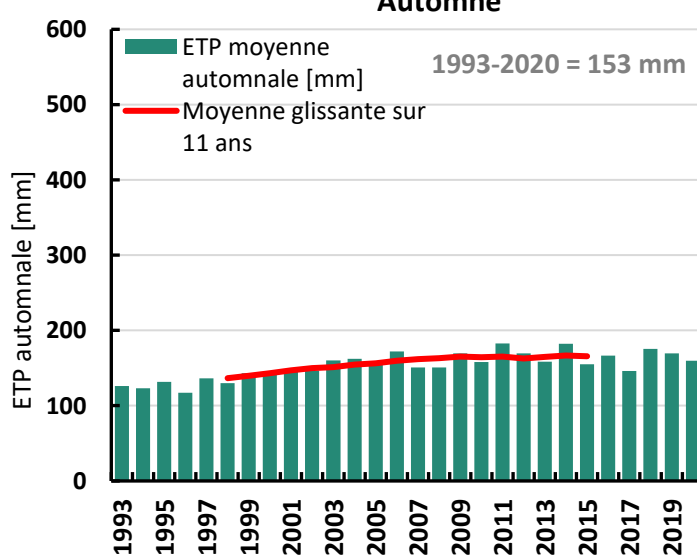
Printemps



Été



Automne



1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Préambule :

L'évapotranspiration peut être définie comme « l'ensemble de la combinaison de tous les processus par lesquels l'eau du sol est transférée dans l'atmosphère, l'évaporation provenant de l'eau à la surface du sol et de l'eau interceptée par les plantes plus celle transpirée par leurs organes aériens » (Tsé, 1999).

L'évaporation potentielle (ETP) ou l'évaporation de référence décrite par la FAO : « l'évapotranspiration d'un couvert végétal bas, contenu et homogène dont l'alimentation en eau n'est pas limitante et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique ».

L'ETP est ainsi un indicateur qui permet d'estimer les pertes effectives en eau des prairies et des terres arables et qui peut être calculé à partir du rayonnement solaire, de la température de l'air, de la vitesse du vent et de l'humidité relative.

Analyse

L'évolution de l'ETP dans les 13 départements d'Occitanie tend à une hausse à l'échelle annuelle, en été et à l'automne mais cette tendance est plus nuancée en hiver et au printemps. Après la réalisation de tests statistiques, ces tendances peuvent être qualifiées de significatives (S) lorsque la p-value < 0,05 qui traduit l'effet du changement climatique sur l'augmentation ou de non significative (NS) lorsque la p-value > 0,05. Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus :

ETP	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Annuel
Ariège	S ***	S **	S **	S ***	S ***
Aude	S ***	S **	S **	S **	S ***
Aveyron	NS	NS	S **	S ***	S **
Gard	NS	NS	S *	S **	S *
Haute-Garonne	S ***	S **	S **	S ***	S *
Gers	S **	S **	S **	S *	S ***
Hérault	NS	S *	S *	S **	S **
Lot	NS	S *	S **	S ***	S ***
Lozère	S **	NS	S **	S ***	S ***
Hautes-Pyrénées	NS	NS	S *	S ***	S ***
Pyrénées-Orientales	S ***	S **	S **	S ***	S ***
Tarn	S *	S **	S ***	S ***	S ***
Tarn-et-Garonne	S **	S **	S ***	S **	S ***

Les départements qui n'enregistrent pas de tendance significative en hiver et au printemps sont l'Aveyron, le Gard, l'Hérault, le Lot, la Lozère et les Hautes-Pyrénées avec des moyennes sur 27 ans de :

- Pour l'Aveyron, 54 mm en hiver et 262 mm au printemps
- Pour le Gard, 87 mm en hiver et 318 mm au printemps, moyenne printanière la plus élevée des 13 départements
- Pour l'Hérault, 84 mm en hiver

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

- Pour le Lot, 49 mm en hiver
- Pour les Hautes-Pyrénées, 73 mm en hiver et 257 mm au printemps.

Dans le cas de la Lozère, il n'y a pas non plus de tendance au printemps. En revanche, elle enregistre la plus grande variabilité sur les 13 départements avec 131 mm de différence entre le minimum et le maximum d'ETP enregistré en 27 ans. Cette amplitude s'explique par l'année 2013 qui en étant exceptionnellement froide et pluvieuse a recensé 159 mm d'ETP par rapport aux 254 mm moyen.

De manière générale, c'est en été où la variabilité interannuelle est la plus élevée, étant donné que cette période est plus sujette aux canicules et aux sécheresses. A titre d'exemple, l'amplitude entre l'ETP minimum et maximum est de 262 mm dans le Tarn, qui s'explique par la canicule de 2003. **A noter que cette ETP maximum recensée en 2003 est aujourd'hui proche des moyennes de ces 5 dernières années.**

Ainsi, il est tout à fait possible qu'un département comme l'Aveyron n'affiche pas d'évolution de son ETP en hiver et au printemps mais qui en revanche recense davantage de variabilités interannuelles qui se traduisent par des événements extrêmes (canicules, sécheresses, vent violent, forte pluie etc.). Ce constat déjà établi par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), nous informe que l'imprévisibilité, la fréquence et l'intensité de ces événements sont voués à augmenter.

A retenir

- ✓ L'ETP annuel augmente dans toute la région avec une hausse plus marquée en été.
- ✓ Même en hiver ou au printemps où certains départements ne révèlent pas de tendance, l'effet du changement climatique reste visible par une grande variabilité interannuelle due aux épisodes climatiques exceptionnels.

Note statistique : sur ce jeu de données, trois tests statistiques ont été réalisés: régression polynomiale, régression linéaire et le test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

*Pour rappel : au plus le nombre d'astérisque est important au plus la force de la tendance l'est aussi (p-value : ***<0.001<**<0.01<*<0.05)*

Pour aller plus loin :

Pour affiner l'interprétation des résultats, les données ETP pourront être représentées à une plus petite échelle. En complément il est également possible de mettre en relation l'ETP avec l'indice de sécheresse des sols (SWI).

Pour en savoir plus :

CLIMFOUREL (2011) *Evolution du climat du Sud de la France 1950-2009*. Disponible sur : https://www1.montpellier.inra.fr/PSDR/doc/climfourel/FOCUS-PSDR3-CLIMFOUREL_Clim%20Chgt.pdf

INRA (2006) *Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*. Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

l'Agriculture et de la Pêche. Disponible sur :
<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/s%C3%A9cheresse%20rapport%20complet.pdf>

Mjejra, M. (2015) 'Étude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de Mejerda (en Tunisie): apport de la télédétection satellitaire et des Systèmes d'Information Géographique', p. 311.



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

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

Indicateur

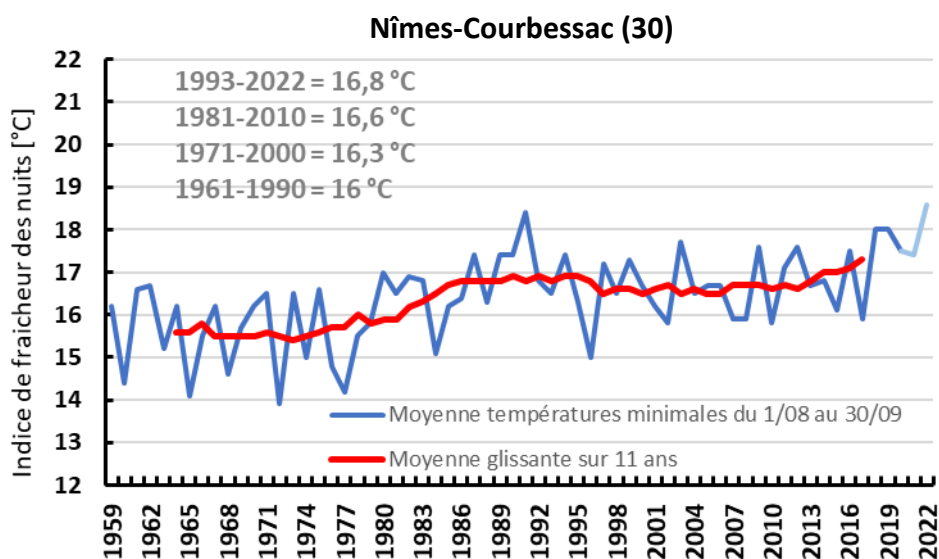
- Nîmes (30) : 1959 à 2022
- Auch (32) : 1985 à 2022
- Perpignan (66) : 1959 à 2022
- Montauban (82) : 1963 à 2022

Calcul de l'indicateur

- Moyenne des températures minimales journalières du 01/08 au 30/09.
- Moyennes trentenaires des températures minimales journalières du 01/08 au 30/09 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

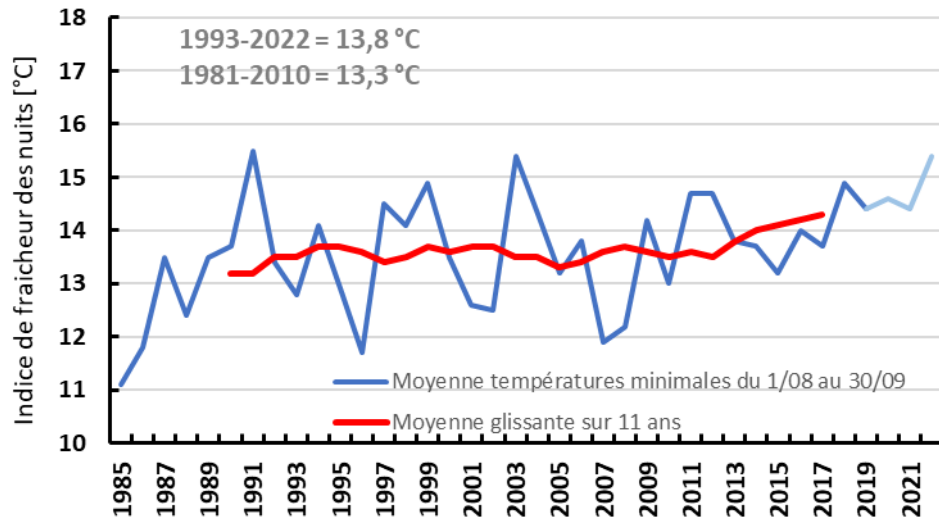
Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Indice de fraîcheur des nuits [°C]

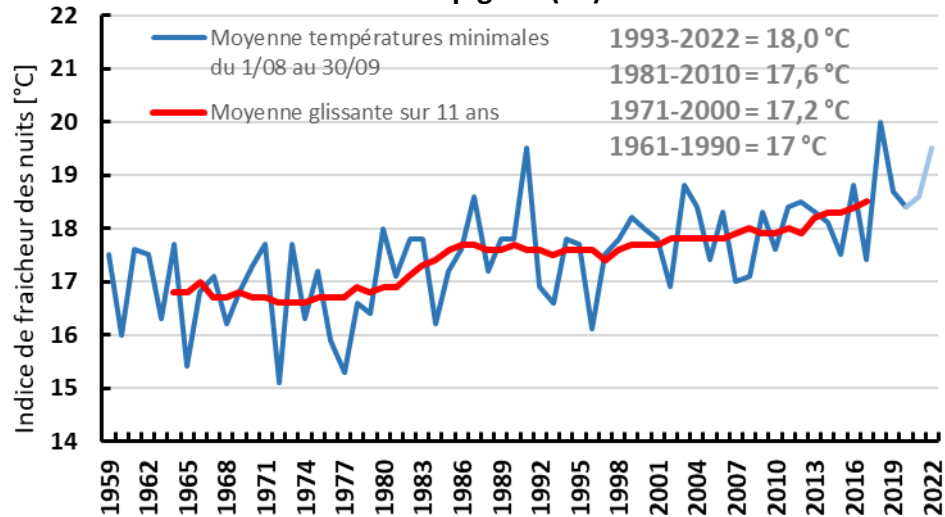




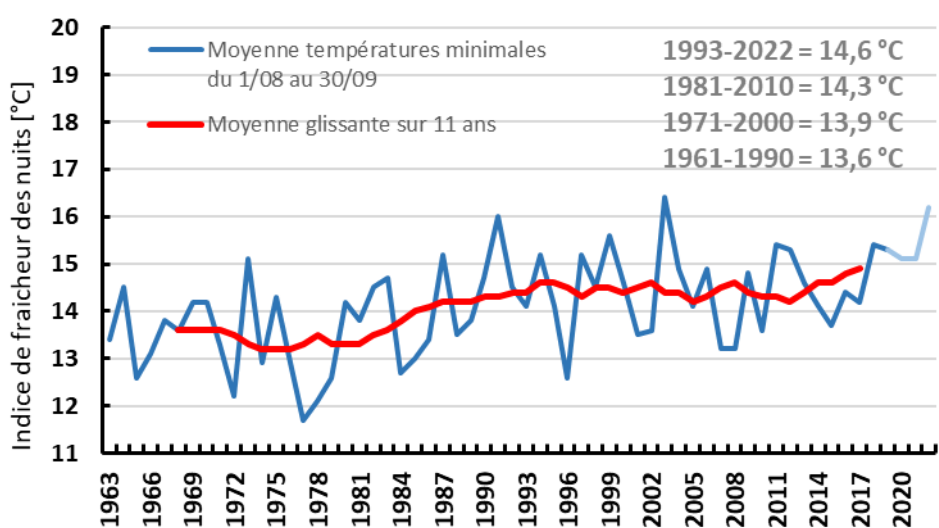
Auch (32)



Perpignan (66)



Montauban (82)





Préambule

La maturation des raisins post véraison est une étape essentielle pour la synthèse des composés organiques influençant la typicité du vin. Cette synthèse se déroule au mieux lorsque la vigne subit de forts écarts de températures durant cette période. Ainsi TONIETTO et CARBONNEAU ont défini l'indice de fraîcheur des nuits pour évaluer la qualité de cette synthèse. Ici cet indice a été allongé en y incluant le mois d'août, les vendanges ayant tendance à être de plus en plus tôt dans l'année et de nombreux vignobles régionaux sont précoces.

Analyse

Il a déjà été montré dans la partie précédente que cette période de fin d'été et de début d'automne s'est réchauffée de manière significative (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Le réchauffement observé est compris entre 0,42°C et 0,54°C par décennie pour l'été, et entre 0,28°C et 0,35°C par décennie en automne sur ces stations (tous significatifs). Etant donné que la valeur calculée ne dépend que de la température, on s'attend à voir une nette augmentation depuis 1959.

L'évolution observée de l'indice de fraîcheur des nuits en région Occitanie depuis 1959 (1963 pour la station de Montauban et 1985 pour Auch), pour chaque station est de :

- + 0,43°C par décennie à Auch, soit 1,57°C supplémentaires en 37 ans (S)
- + 0,30°C par décennie à Montauban, soit 1,75°C supplémentaires en 59 ans (S)
- + 0,31°C par décennie à Nîmes, soit 1,93°C supplémentaires en 63 ans (S)
- + 0,32°C par décennie à Perpignan, soit 2,04°C supplémentaires en 63 ans (S)

Tous les résultats sont significatifs ($P < 0,05$), avec une dispersion élevée ($0,10 < R^2 < 0,35$). On note que bien que la moitié de la période de mesure soit en été, les valeurs de réchauffements enregistrées sont plus proches du réchauffement automnal. Cela est plutôt encourageant puisqu'on peut alors supposer que le réchauffement journalier se concentre moins sur les basses températures nocturnes dans cette période et plutôt sur les hautes températures diurnes (cf. « Températures moyennes saisonnières »).

La diminution de la fraîcheur des nuits est néanmoins réelle et significative sur toutes les stations d'études. On note par ailleurs que c'est la station avec le moins de recul historique (Auch) qui voit l'augmentation la plus spectaculaire. Cela peut signifier une tendance à l'accélération de cette augmentation sur les dernières années, signe d'une tendance d'avantage exponentielle que linéaire, que l'on retrouve dans certains scénarii des prévisions du GIEC. Cette évolution va entraîner des perturbations dans la maturation des grappes. Cela conduit à baisses de typicité et d'arômes des vins, ainsi qu'à des colorations moins vives.

A retenir

- ✓ La diminution de la fraîcheur des nuits est significative et assez homogène sur toutes les stations étudiées (entre + 0,30°C et + 0,43°C par décennie).
- ✓ Ce changement est susceptible d'affecter les caractéristiques des vins (coloration, arôme...) du fait d'une moins bonne maturation des grappes.



Note statistique : sur ce jeu de données, une régression linéaire simple a été appliquée.

Pour en savoir plus :

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

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

2

CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Nombre de jours de gel en mars impactant l'arboriculture

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

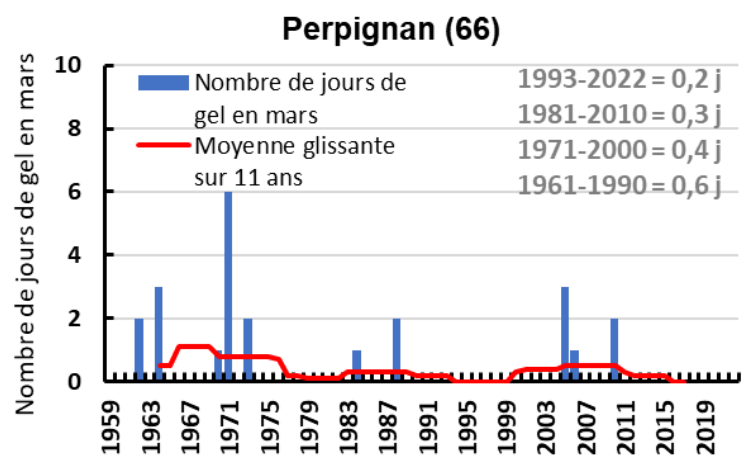
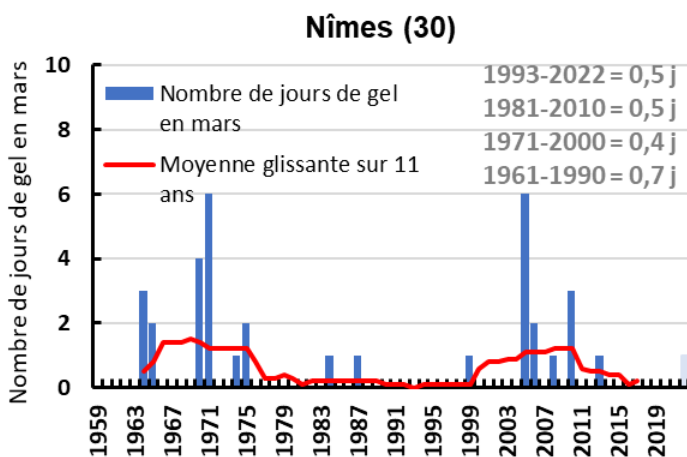
- Nîmes (30) : 1959 à 2022
- Perpignan (66) : 1959 à 2022
- Montauban (82) : 1963 à 2022

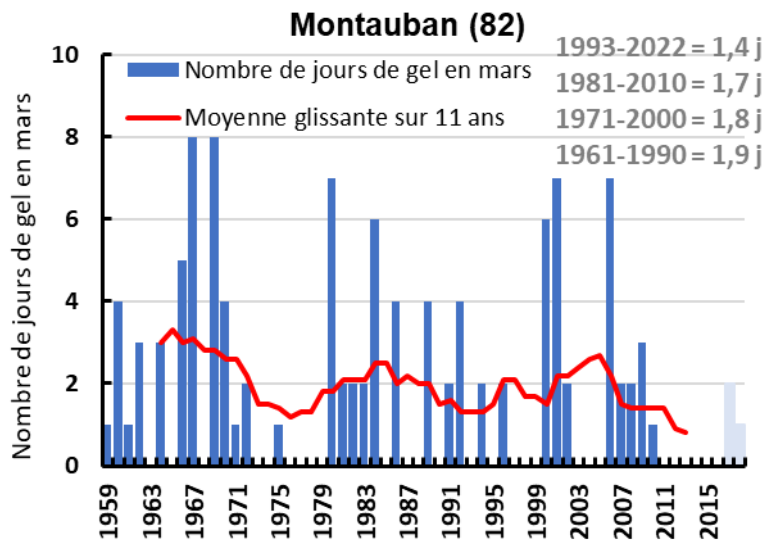
🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à $-1,5^{\circ}\text{C}$ en mars
- Moyennes trentenaires du nombre de gel en mars : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours de gel en mars





Analyse

Avec 20% du verger français, l'Occitanie produit une grande diversité de fruits divisé en quatre principaux bassins de production le Tarn-et-Garonne avec pomme, prune, kiwi, raisin de table et noisette, le Gard et les Pyrénées-Orientales pour les fruits à noyau et le Lot pour la noix notamment. C'est 33 700 ha d'arbres fruitiers et vignes à raisin de table qui se trouvent ainsi menacés par les épisodes gélifs de printemps dans un contexte où le débourrement des fruitiers est de plus en plus précoce (Agri'scopie, 2021).

A Nîmes et Perpignan, l'évolution du nombre de jours de gel est similaire en n'affichant pas de tendance, mais un record ces 60 dernières années en 1971, avec 5 jours de gel recensé au mois de mars. La même année, à Montauban, 6 jours de gel était enregistrés. Cependant, dans le Tarn-et-Garonne, la fréquence des épisodes gélifs est bien plus élevée : 29 années sur 56 ont enregistré au moins un jour où la température était inférieure à $-1,5^{\circ}\text{C}$, soit plus d'une année sur deux.

Après la réalisation de tests statistiques, cette tendance n'est pas significative ($p\text{-value} < 0,05$), en d'autres termes, on ne peut pas conclure sur l'effet du changement climatique sur l'évolution du nombre de jours de gel.

La hausse de température sur les mois de novembre et décembre provoque des levées de dormance plus tardives et exposent davantage les arbres aux risques de gel printanier. Les répercussions négatives de ces gelées sont donc d'autant plus importantes qu'elles se produisent lors du débourrement et de la floraison précoce des arbres. Durant cette période, les bourgeons qui contiennent les ébauches des feuilles et des fleurs, sont très hydratés et les rendent particulièrement vulnérable au gel. S'ils sont touchés, des bourgeons végétatifs latents pourront se développer et en partie compenser les pertes en puisant dans les ressources en amidon de la plante. En revanche, si les boutons floraux sont gelés, il n'y aura pas de nouvelle floraison ni de fructification avant l'année suivante (Godement, 2022 ; Legave, 2009)



Afin de lutter contre le gel, il existe des méthodes dites passives et actives. Le choix du site d'implantation, des techniques culturales et du matériel végétal constituent des moyens de luttés passives. Alors que l'aspersion, la protection par chauffage et la lutte par brassage d'air, une lutte active (SudArbo, 2022)

A retenir

- ✓ Le nombre de jours de gel en mars reste imprévisible pour les trois localisations même si Montauban présente une fréquence plus élevée de gelée printanière.
- ✓ Les levées de dormance plus tardives et la précocité du débourrement des arbres accentuent le risques de gelée des bourgeons, voire des boutons floraux, et peut entrainer une non fructification de l'arbre.

Note statistique : sur ce jeu de données trois tests statistiques ont été réalisés : régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour en savoir plus

Godement, V. (2022) *Arboriculture | L'Inrae étudie l'impact de l'évolution climatique sur les arbres fruitiers, Portail Réussir*. Disponible sur : <https://www.reussir.fr/gelees-linrae-etudie-limpact-de-levolution-climatique-sur-les-arbres-fruitiers>.

Legave, J.-M. (2009) 'Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière?', p. 14.

SudArbo (2022) 'Gels de printemps en verger'. Disponible sur : <https://herault.chambre-agriculture.fr/publications/detail-de-la-publication/actualites/gels-de-printemps-en-vergers/>.



Nombre de jours de gel en avril impactant la vigne

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

- Nîmes (30) : 1959 à 2022
- Auch (32) : 1985 à 2022
- Montpellier (34) : 1975 à 2022
- Perpignan (66) : 1959 à 2022
- Montauban (82) : 1963 à 2022

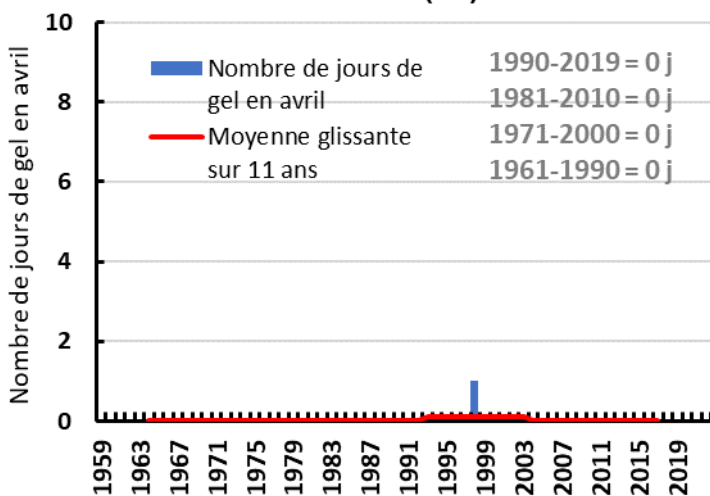
🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à -1,5°C en avril
- Moyennes trentenaires du nombre de gel en avril : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

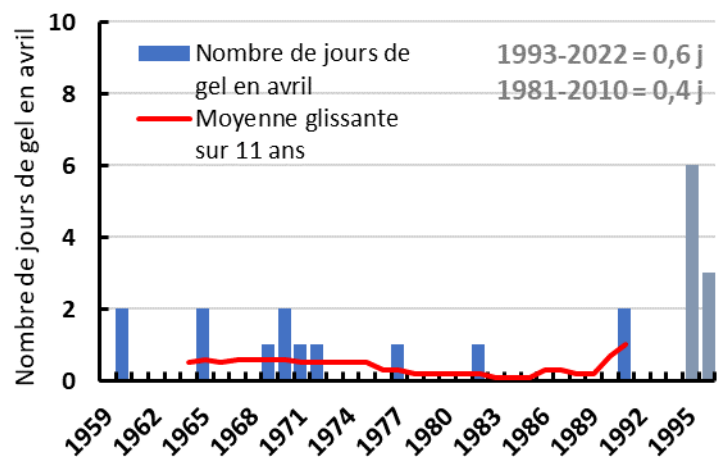
📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours de gel en avril

Nîmes (30)



Auch (32)



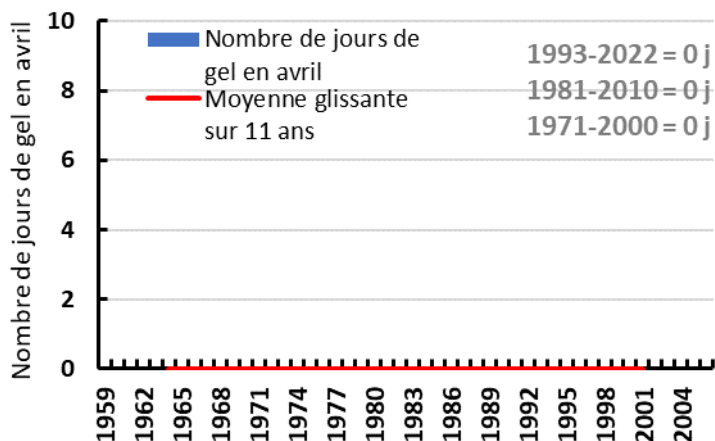
2

CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

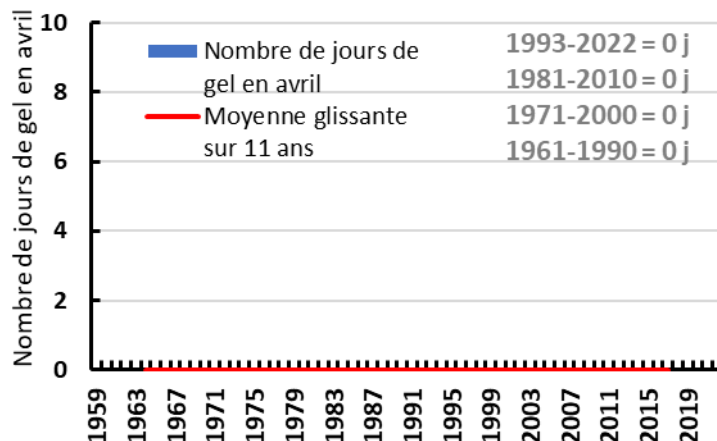


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatique

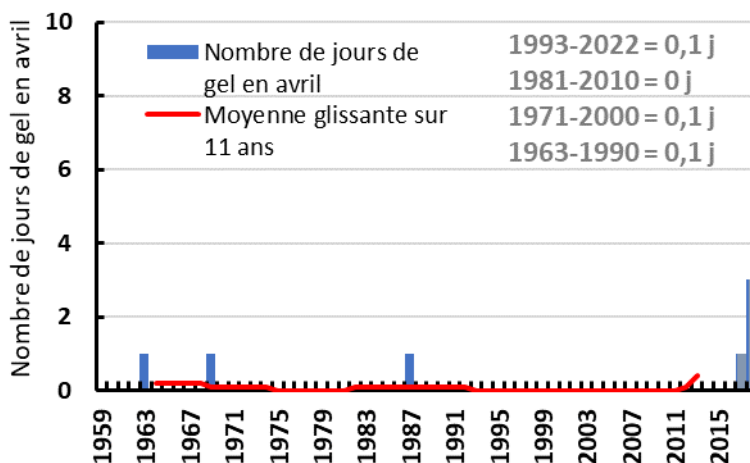
Montpellier (34)



Perpignan (66)



Montauban (82)



Analyse

Les gelées printanières sont rares mais destructrices. 1991, 2017, 2021, chaque nouvel évènement extrême a des conséquences pouvant être dramatiques pour les filières viticoles et arboricoles. En 2021, des centaines de milliers d'hectares de terres agricoles en Occitanie ont été dévastées. (Meriot *et al.*, 2021)

Sur les cinq localisations, hormis Auch, les nombres de jours gel ont été compris entre 0 et 4 sur une période de 60 ans. Dans le Gers, la fréquence est légèrement plus élevée avec, en 2021, six jours enregistrés.



Après la réalisation de tests statistiques (hors Montpellier et Perpignan), cette tendance est significative pour les stations d'Auch et de Montauban. La station de Nîmes-Courbessac est non significative, en d'autres termes, on ne peut pas conclure sur l'effet du changement climatique sur l'évolution du nombre de jours de gel.

Les gelées du mois d'avril restent exceptionnelles cependant la vigne ayant repris son cycle végétatif, les bourgeons et rameaux sont particulièrement vulnérables. En phase de débourrement, ils brunissent et se dessèchent. En cas de gelée plus intense, il peut être observé une destruction totale de la végétation, en particulier des jeunes pousses, qui causent d'importante perte à la récolte. Avec des gelées plus légères ce sont les feuilles et l'apex qui sont affectés. A titre d'exemple, les gelées tardives comme celles de 2021 ont donné lieu à une baisse de la production de 25% par rapport à la moyenne de ces cinq dernières années. (BASF, 2019 ; INRAe, 2021)

Si toutes les pousses n'ont pas gelé, des bourgeons secondaires vont se développer et pourront en partie compenser les pertes. De même pour l'inflorescence, qui si elle n'a pas été touchée, donnera lieu à de nouveaux rameaux. Il existe tout de même des méthodes de protection contre le gel comme l'aspersion d'eau, des tours anti-gel, l'utilisation de chauffage ou encore le chaussage des vignes. (INRAe, 2021)

A retenir

- ✓ Le nombre de jours de gel en avril reste imprévisible pour les cinq localisations même si Auch recense davantage de nombre jours de gel.
- ✓ Le gel tardif n'est pas systématique mais arrive lorsque la vigne a repris son cycle végétatif. Elle est donc plus vulnérable avec des dégâts allant du brunissement et le dessèchement des bourgeons et des rameaux, à la destruction totale de la végétation.

Note statistique : sur ce jeu de données trois tests statistiques ont été réalisés: régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour aller plus loin :

Etant donné de l'absence de tendance sur l'évolution du nombre de jours de gel, l'utilisation des écarts de température comme indicateur complémentaire, permettrait de mieux comprendre le caractère aléatoire des épisodes climatiques extrêmes.

Pour lutter contre ces épisodes de gel, l'IFV recense plus précisément les conséquences du gel et les moyens de lutte sur leur site internet disponible à l'adresse suivante : <https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/gel-et-degats-de-gel-sur-vigne>.

Pour en savoir plus

BASF (2019) *L'effet du gel sur la vigne*, BASF. Disponible sur : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/vigne/effet_du_gel_sur_la_vigne/

INRAe (2021) *Vigne - Gelées, Ephytia*. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/7062/Vigne-Gelees>

2

CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Meriot, J. and Sancere, L. (2021) *Occitanie : 2021, 2017, 1991, 1956 ces grandes gelées dévastatrices pour l'agriculture, France 3 Occitanie*. Disponible sur : <https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/herault/montpellier/occitanie-2021-2017-1991-1956-ces-grandes-gelees-devastatrices-pour-l-agriculture-2041132.html>

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Cumul de chaleur pour la vigne du 1^{er} avril au 30 septembre

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

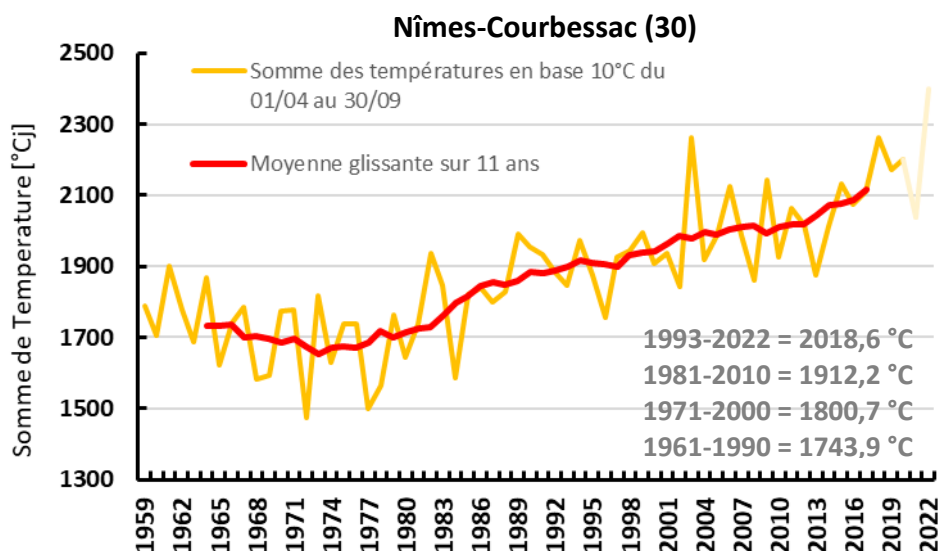
- Nîmes (30) : 1959 à 2022
- Auch (32) : 1985 à 2022
- Perpignan (66) : 1973 à 2022
- Montauban (82) : 1963 à 2022

🧮 Calcul de l'indicateur

- Cumul des températures moyennes journalières à partir de 10°C (début de végétation pour la vigne) du 01/04 au 30/09.
- Moyennes trentenaires du cumul de chaleur pour la vigne du 01/04 au 30/09 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Somme de température en base 10 °C du 01/04 au 30/09

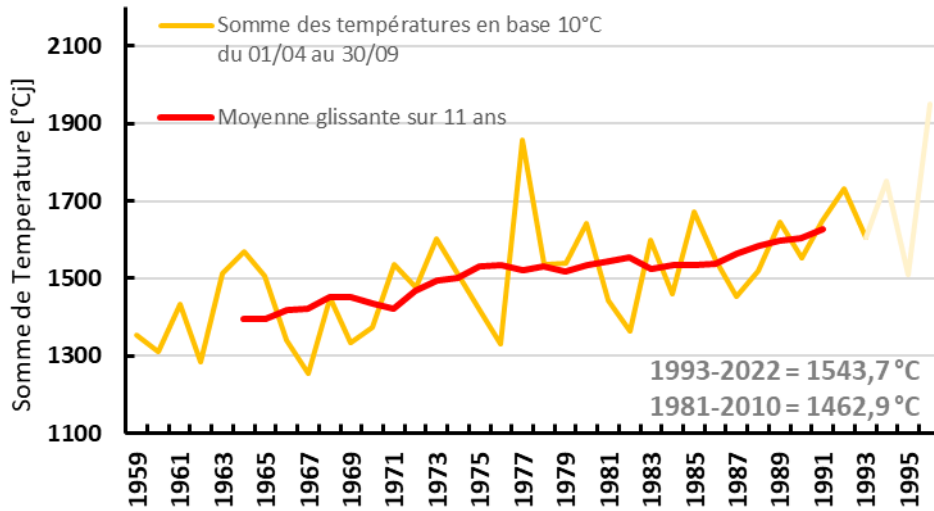


2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

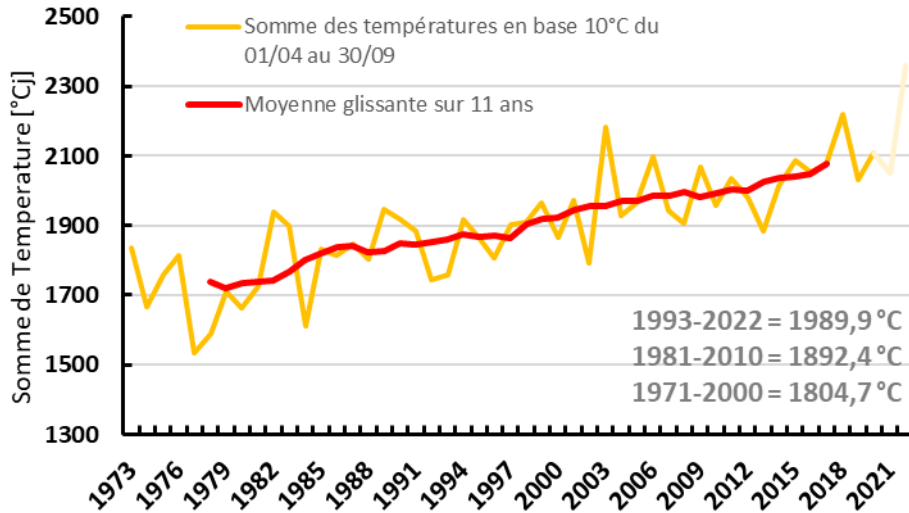


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

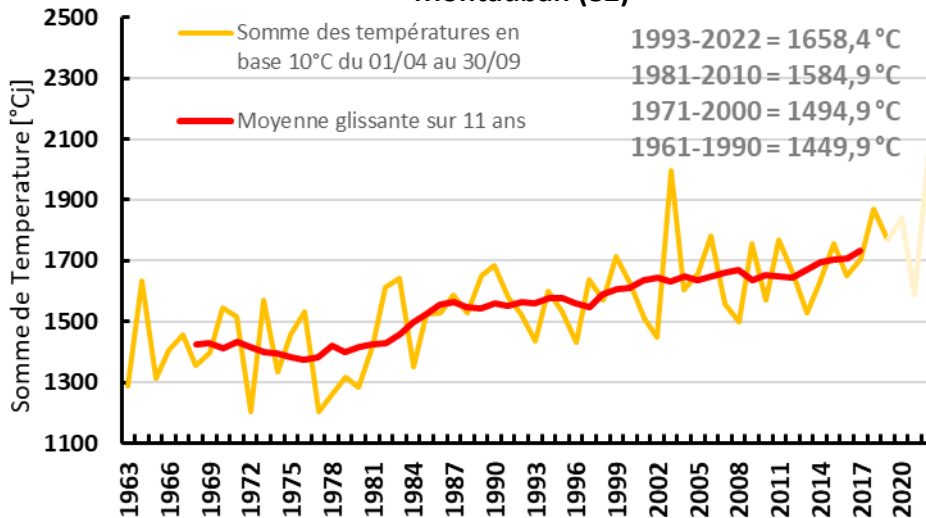
Auch (32)



Perpignan (66)



Montauban (82)





Préambule

La somme des degrés jours est la quantité de chaleur nécessaire au développement d'une plante. Les végétaux ont besoin d'un cumul de chaleur donné afin d'accomplir leurs différentes phases phénologiques (débourrement, floraison...). Une variation de la disponibilité thermique durant cette période impacte alors la phénologie de la vigne. Cet indicateur se calcule habituellement jusqu'au 31 octobre, mais il a été décidé ici de ne mesurer que jusqu'au 30 septembre, date à laquelle la majorité des vendanges ont déjà été effectuées en Occitanie.

Analyse

Il a déjà été montré dans la partie précédente que cette période de fin de printemps et d'été s'est réchauffée de manière significative (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Le réchauffement observé est compris entre 0,28 et 0,36°C par décennie pour le printemps, et entre 0,42°C et 0,54°C par décennie en été sur ces stations. Etant donné que la valeur calculée ne dépend que de la température, on s'attend à voir une augmentation sur cet indicateur depuis 1959.

L'évolution observée du cumul de chaleur pour la vigne en région Occitanie depuis 1959 (1963 pour la station de Montauban, 1973 pour la station de Perpignan et 1985 pour Auch), pour chaque station est de :

- + 87°CJ par décennie à Auch, soit 320°CJ supplémentaires en 37 ans (S)
- + 70°CJ par décennie à Montauban, soit 416°CJ supplémentaires en 59 ans (S)
- + 80°CJ par décennie à Nîmes, soit 504°CJ supplémentaires en 63 ans (S)
- + 90°CJ par décennie à Perpignan, soit 441°CJ supplémentaires en 49 ans (S)

Tous les résultats sont hautement significatifs ($P < 0,0003$), et ont une dispersion relativement faible par rapport aux autres indicateurs ($0,3 < R^2 < 0,7$). Pour rappel, le R^2 est une mesure de l'écart des points expérimentaux à la droite de régression, ainsi plus R^2 est proche de 1 et plus les points sont proches de la droite de régression.

Il est par ailleurs intéressant de noter que ce ne sont pas les départements enregistrant les plus grandes hausses de températures estivales et printanières qui voient les plus grandes hausses de ce cumul de chaleur (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Cela peut s'expliquer par le fait que toutes les heures où la température est inférieure à 10°C ne sont pas prises en compte dans le calcul de cet indicateur.

L'augmentation de la chaleur reçue par la vigne a pour conséquence de raccourcir la durée des phases phénologiques (Neethling et al. 2011). Ce raccourcissement va entraîner une avancée des dates de débourrement et de vendange. Si cette avancée des stades phénologiques à lieu dès le printemps, cela entraîne alors un risque accru lors d'un gel tardif. La vigne est très sensible aux gels une fois que le débourrement est amorcé, ce qui peut entraîner des retards de développement et des baisses de rendement (Jackson 2008). Cette augmentation de la disponibilité thermique entraîne aussi des modifications des caractéristiques des jus. La hausse de chaleur reçue par la vigne tend à donner des raisins plus sucrés et moins acides. Cela va ensuite modifier les qualités organoleptiques des vins produits.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A retenir

- ✓ Le cumul de chaleur est en augmentation dans toutes les stations étudiées (entre + 70°CJ et + 90°CJ par décennie).
- ✓ Cette augmentation de la disponibilité thermique entraîne une avancée de tous les stades phénologiques et un risque accru aux gels tardifs si le débourrement est déjà amorcé.
- ✓ Cette augmentation de la chaleur reçue par la vigne va aussi entraîner des modifications des caractéristiques des jus, les rendant plus sucrés et moins acides.

Note statistique : sur ce jeu de données des régressions linéaires ont été appliquées.

Pour en savoir plus

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

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



Nombre de jours échaudants au printemps

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

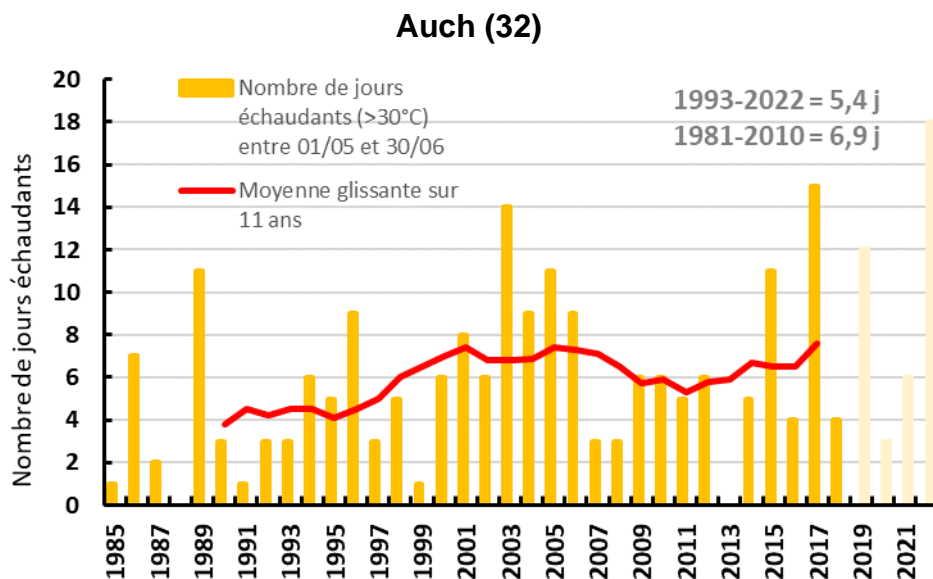
- Auch (32) : 1982 à 2022
- Montpellier-Maugio (31) : 1959 à 2022
- Montauban (82) : 1959 à 2022

🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 30°C du 01/05 au 30/06
- Moyennes trentenaires du nombre de jours échaudant du 01/05 au 30/06 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

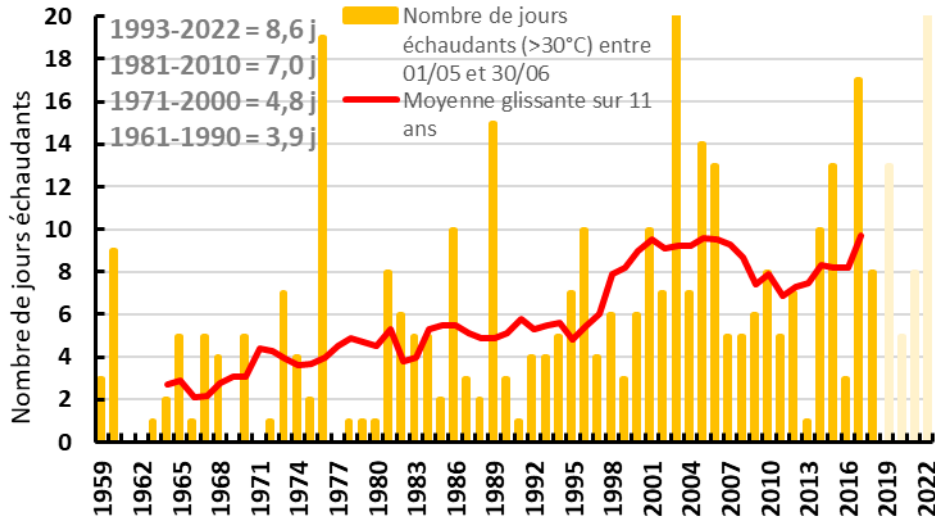
📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours échaudants du 01/05 au 30/06

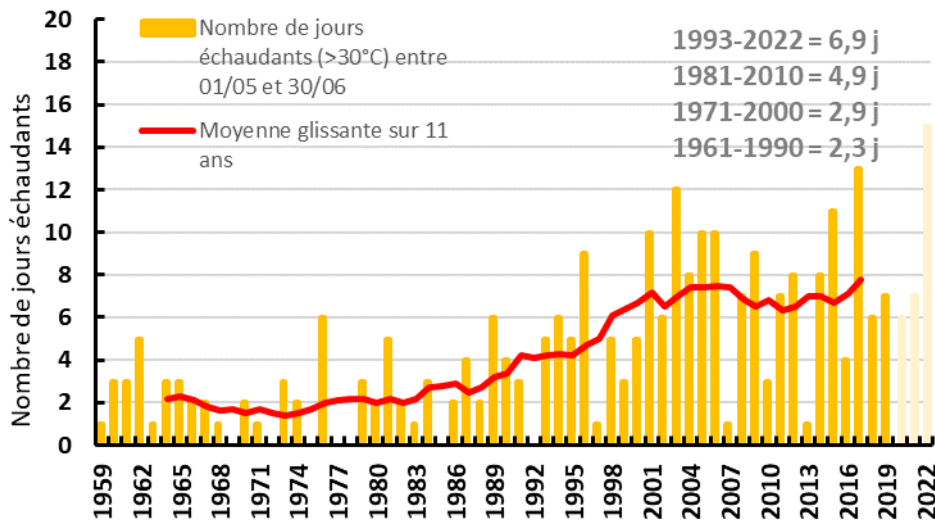




Montauban (82)



Montpellier-Maugio (34)



Analyse

Le phénomène d'échaudage thermique chez les plantes désigne des perturbations physiologiques (fermetures stomatiques, baisse de la photosynthèse...) entraînées par les fortes chaleurs. Si ce phénomène intervient durant la phase de remplissage des épis chez les céréales à pailles, cela peut réduire le rendement global de la parcelle par une atrophie des grains. Ce phénomène peut impacter d'autres plantes, comme le tournesol. Il est considéré que ce phénomène se manifeste chez le blé à partir de 25°C et entraîne des pertes d'environ 1,5 quintal/ha par jour échaudant. (Brisson et al., 2010). Ici un seuil de mesure de 30°C a été préféré puisque les températures en l'Occitanie sont plus élevées que la moyenne française, et des variétés plus résistantes à la chaleur sont utilisées.



L'évolution observée du nombre de jours échaudants ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) sur mai et juin en région Occitanie depuis 1959 (1985 pour la station d'Auch), pour chaque station est de :

- + 1,5 j par décennie à Auch, soit + 5,4 j en 37 ans (S)
- + 1,4 j par décennie à Montauban, soit + 8,6 j en 63 ans (S)
- + 1,2 j par décennie à Montpellier-Maugio, soit + 7,8 j en 63 ans (S)

Sur les stations de Montauban et Montpellier-Maugio, on observe une nette augmentation très significative ($P < 0,001$) et pour la station d'Auch, du fait d'une moindre profondeur des données, une tendance à l'augmentation significative ($P < 0,05$). Sur les trois stations, on observe des variations interannuelles très fortes, illustrées par des R^2 inférieurs à 0,3. Par exemple, les années 2013, 2016 présentent des valeurs très en dessous des moyennes trentenaires et les années 2003, 2017 présentent des valeurs très au-dessus des moyennes trentenaires.

Cette nette augmentation peut impacter les rendements sur de nombreuses cultures (céréales à paille, tournesol...). Une stratégie efficace pour esquiver ces fortes chaleurs est un décalage vers des semis plus précoces afin que le remplissage du grain se termine avant les derniers jours de juin, les plus chauds de cette période. Une étude analogue conduite en Nouvelle Aquitaine montre qu'en décalant cette période de mesure des jours échaudants 10 jours plus tôt (du 22/03 au 20/06), on réduit de presque 40% le nombre moyen de jours échaudants rencontré (ORACLE Nouvelle Aquitaine). Cette diminution compense presque entièrement la hausse due aux changements climatiques. Cette esquivé n'est cependant réalisable que si les conditions pédoclimatiques de début de saison permettent ces semis précoces (la portance du sol notamment).

A retenir

- ✓ On constate une augmentation réelle et significative pour les 3 stations étudiées d'environ 1,3 jour par décennie. Cela conduit à une augmentation de plus de 7 jours échaudants sur la période de mai et juin depuis 1959.
- ✓ Cet échaudage peut entraîner des baisses de rendements agricoles sur certaines cultures (céréales à pailles, tournesol...).
- ✓ Cette augmentation du risque d'échaudage peut être au moins partiellement esquivée en menant les cultures de manière plus précoces, si les autres conditions climatiques et techniques le permettent.

Note statistique : sur ce jeu de données trois tests statistiques ont été réalisés: régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

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

CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

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.



Nombre de jours échaudants estivaux pour la pomme



Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022



Indicateur

- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2022
- Montpellier (34) : 1959 à 2022
- Montauban (82) : 1959 à 2022



Calcul de l'indicateur

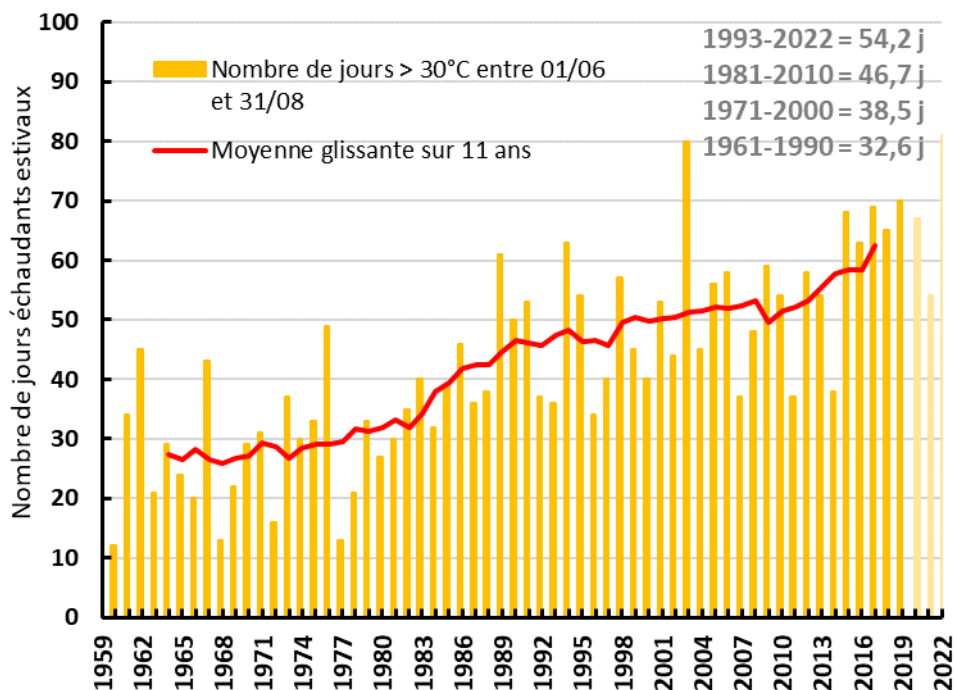
- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 30°C du 01/06 au 31/08
- Moyennes trentenaires du nombre de jours échaudant du 01/06 au 31/08 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).



Évolution observée

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

Nîmes - Courbessac (30)

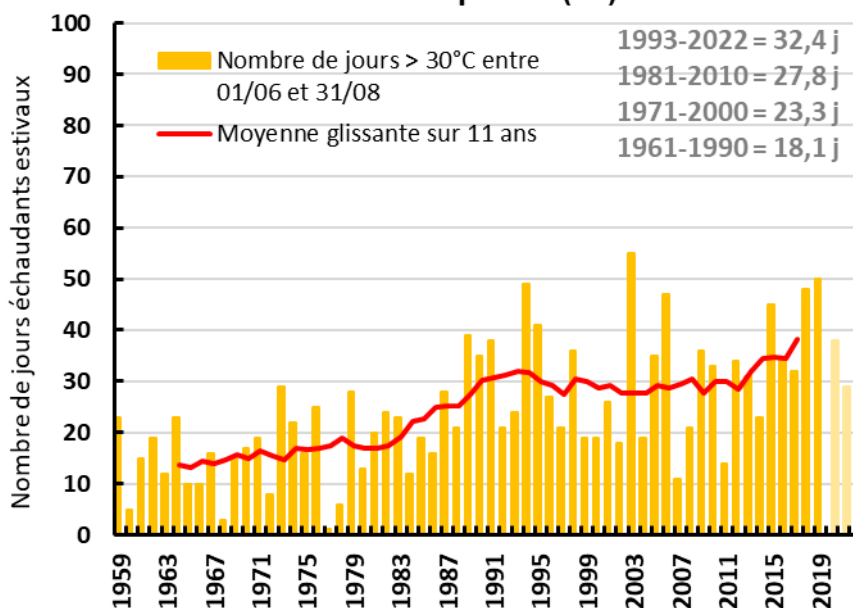


2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

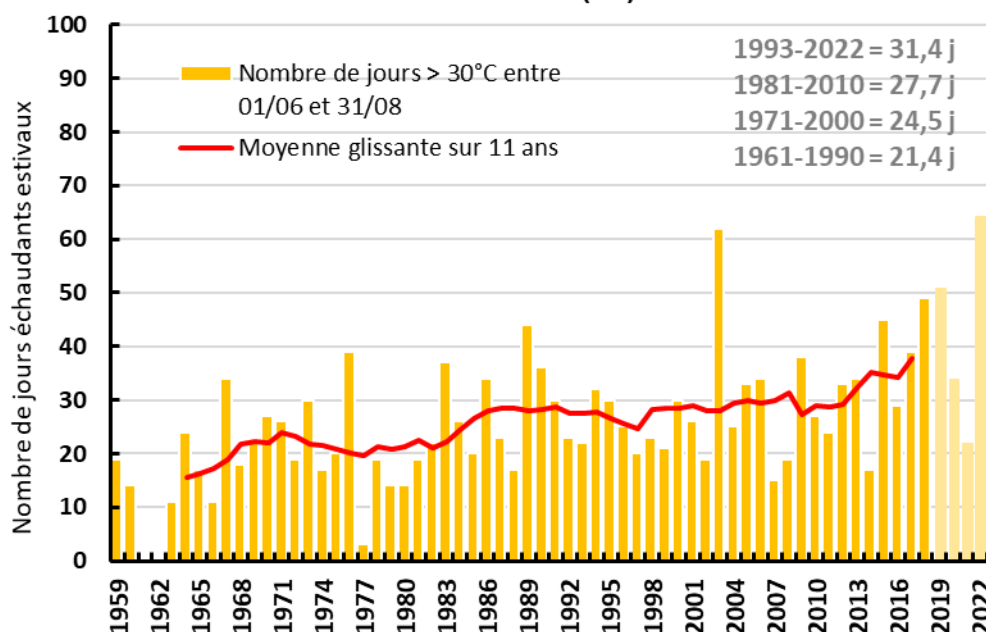


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Montpellier (34)



Montauban (82)



Analyse

L'Occitanie est la deuxième région productrice de fruit, avec 566 000 tonnes produites en 2019 dont 56% de pommes (Agri'scopie, 2021). Le défi de la filière pomme (dont le Tarn-et-Garonne est le premier département producteur de pomme sur table) est donc de rester performant tout en faisant face aux aléas climatiques comme les canicules qui ne cessent d'être plus précoces, plus longues et plus intenses.



Dans le Gard, l'Hérault et le Tarn-et-Garonne, le nombre de jours où la température excède les 30°C augmente de manière inégale. Nîmes affiche une augmentation plus rapide que Montpellier et Montauban qui comptabilisent de manière générale moins de jours chauds. En effet, alors que la moyenne de ces 30 dernières années est de 31,4 jours pour Montpellier et 30,4 jours pour Montauban, Nîmes avait déjà une moyenne entre les années 1961 et 1990 de 32,6 jours. Ainsi, en plus de recenser davantage de jours chauds, c'est également le Gard qui enregistre l'augmentation la plus nette en ayant une moyenne ces 30 dernières années de 52,2 jours.

Après la réalisation de tests statistiques, cette tendance peut être qualifiée de hautement significative (p -value < 0,001), en d'autres termes, il y a un effet du changement climatique avec une augmentation de :

- + 6,67 j par décennie à Nîmes-Courbessac, soit + 42,03 j en 63 ans
- + 4,33 j par décennie à Montpellier., soit + 27,29 j en 63 ans
- + 3,71 par décennie à Montauban, soit + 23,36 j en 63 ans

Les jours échaudants sont une source de stress pour l'arbre : l'évapotranspiration augmente alors que la photosynthèse est limitée, tout comme l'accumulation de glucide et de sucre. Associé à des vents secs, l'augmentation des jours chauds a pour conséquence des risques accrus de brûlures, une maturation inégale du fruit, un manque de coloration, une chair trop molle ou une durée de conservation réduite. La qualité des pommes étant sensible à la chaleur et à l'hygrométrie, la production est étroitement liée quantitativement et qualitativement à l'irrigation et nécessite une maîtrise technique importante dans un contexte de raréfaction de la ressource en eau (OMAFRA, 2021 ; Said, 2016 ; Ven *et al.*, 2015).

A retenir

- ✓ Le nombre de jours échaudants est en hausse dans les trois départements avec une augmentation plus marquée pour Nîmes qui enregistre une semaine de plus tous les dix ans et comptabilise une moyenne de 52,2 jours ces 30 dernières années (31,4j à Montpellier, 30,4j à Montauban).
- ✓ Les conséquences sont l'augmentation de l'évapotranspiration de l'arbre, qui, s'il ne profite pas d'une hygrométrie idéale, est exposé à un risque accru de brûlure et d'une baisse de la qualité des fruits.

Note statistique : sur ce jeu de données un test statistique a été réalisé, celui de la régression linéaire.

Pour en savoir plus

Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie, Cerfrance. d'Occitanie (2021) *AGRISCOPIE-Arboriculture*.

Deluzarche, C. (2020) *Cette pomme spéciale « réchauffement climatique » résistera aux canicules*, Futura. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/breves/botanique-cette-pomme-speciale-rechauffement-climatique-resistera-canicules-2924/>

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (OMAFRA) (2021) *Risques liés aux conditions climatiques : Stratégies pour atténuer les risques de dommages dus aux températures excessivement chaudes*. Disponible sur: <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/weather-hot.htm>

Said, P. (2016) 'Exigences climatiques et édaphiques du pommier', *Agronomie*, 20 February. Disponible sur : <https://agronomie.info/fr/exigences-climatiques-et-edaphiques-du-pommier/>

Ven, R. and Ezzahouani, A. (2015) 'DIXIRED, MAYFLOWER ...', pp. 30–32. Disponible sur: <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Fruitiers/graines&plantations/CLIMAT&ARBRES%20FRUITIERS.pdf>.



Nombre de jours échaudants pour les céréales à paille

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

🕒 Indicateur

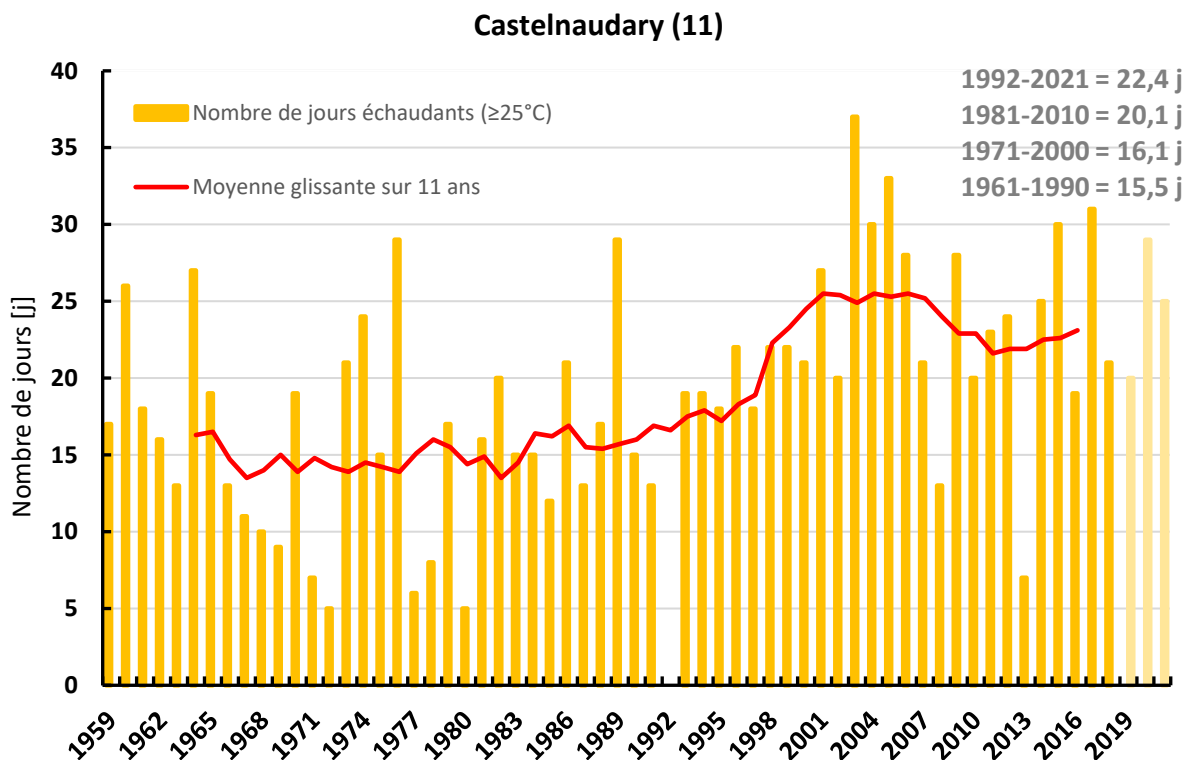
- Castelnaudary (11) : 1959 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C du 01/05 au 30/06
- Moyenne trentenaire du nombre de jours échaudants du 01/05 au 30/06 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours où la température $\geq 25^{\circ}\text{C}$ du 01/05 au 30/06



 Analyse

Le phénomène d'échaudage thermique chez les plantes désigne des perturbations physiologiques (fermetures des stomates, baisse de la photosynthèse, ...) entraînées par de fortes chaleurs. Pour les céréales à paille, ce phénomène peut survenir pendant la période de remplissage des grains, ce qui entraîne un raccourcissement de la phase de remplissage et une diminution de la qualité des grains. Ce stress thermique impacte alors le rendement des cultures et la qualité des grains. Il est considéré que ce phénomène se manifeste chez le blé à partir de 25°C et entraîne des pertes d'environ 1,5 quintal/ha par jour échaudant (Bristol et al., 2010).

L'évolution observée du nombre de jours échaudants ($\geq 25^\circ\text{C}$) sur mai et juin pour le secteur de Castelnaudary depuis 1959 est de + 1,79 jours par décennie, soit + 11,13 jours en 62 ans (S).

Sur cette station, on note ainsi une nette augmentation très significative ($P < 0,001$). On observe également des variations interannuelles très fortes. Par exemple, les années 2003, 2005 et 2017 présentent des valeurs très au-dessus des moyennes trentenaires, et les années 1980, 1992 et 2013, des valeurs très en-dessous des moyennes trentenaires.

Cette augmentation du nombre de jours échaudants peut accroître le risque d'échaudage des céréales à paille autour de Castelnaudary. Une stratégie efficace pour esquiver ce stress thermique est un décalage vers des semis plus précoces afin que le remplissage du grain se termine avant les derniers jours de juin, les plus chauds de cette période. Une étude analogue conduite en Nouvelle-Aquitaine montre qu'en décalant cette période de mesure des jours échaudants 10 jours plus tôt (du 22/04 au 20/06), on réduit de presque 40% le nombre moyen de jours échaudants rencontré (ORACLE Nouvelle-Aquitaine). Cette esquivage n'est cependant réalisable que si les conditions pédoclimatiques, comme la portance du sol, permettent ces semis précoces.

A retenir

- ✓ On constate une augmentation réelle et significative pour la station de Castelnaudary de 1,79 jour par décennie (soit une augmentation d'environ 11 jours échaudants sur la période mai - juin depuis 1959).
- ✓ Cette augmentation des jours échaudants accroît le risque d'avoir une dégradation de la qualité des grains et une diminution du rendement pour les céréales à paille.
- ✓ Ce risque peut être partiellement esquivé en menant les cultures de manière plus précoce, si les autres conditions climatiques et techniques le permettent.

Note statistique : sur ce jeu de données, un test statistique a été réalisé : celui de la régression linéaire.

**Pour aller plus loin :**

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.

Brancourt-Hulmel, M., Doussinault, G., Lecomte, C., & Trottet, M. (2011). Effet de la chaleur sur la croissance et le rendement des céréales à paille. OCL, 18(5), 278-282.

Lhomme, J.-P., Sinoquet, H., & Andrieu, B. (2006). Modélisation du développement des céréales à paille soumises à des stress hydriques ou thermiques. Agronomie, 26(3), 231-243.



Nombre de jours échaudants estivaux pour le maïs grain



Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022



Indicateur

- Castelnaudary (11) : 1959 à 2022
- Cugnaux (31) : 1959 à 2022
- Sérignac (82) : 1978 à 2022



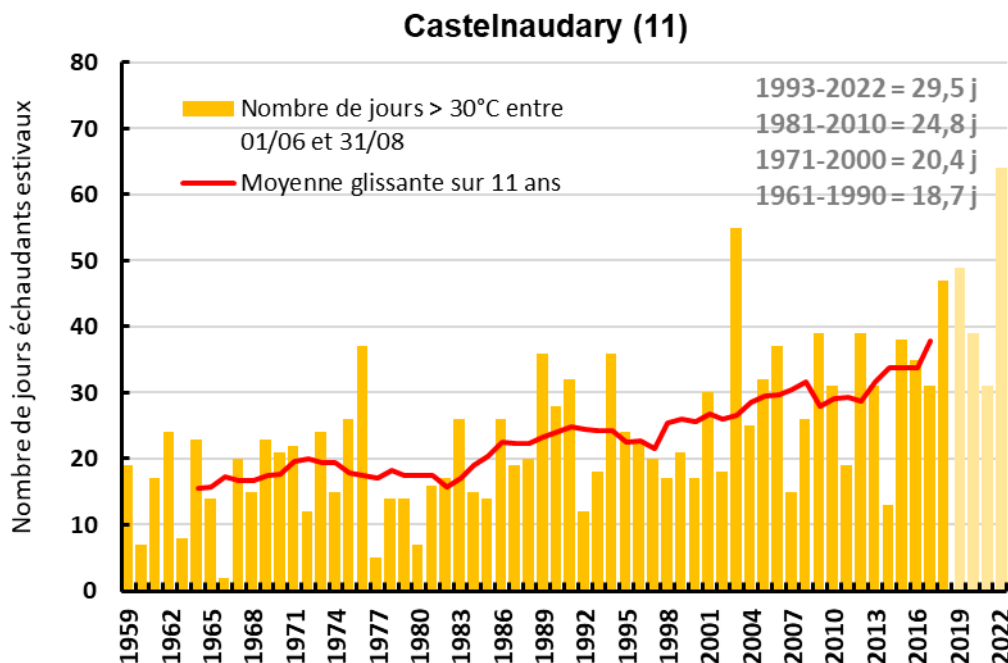
Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 30°C du 01/06 au 31/08
- Moyennes trentenaires du nombre de jours échaudant du 01/06 au 31/08 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).



Évolution observée

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

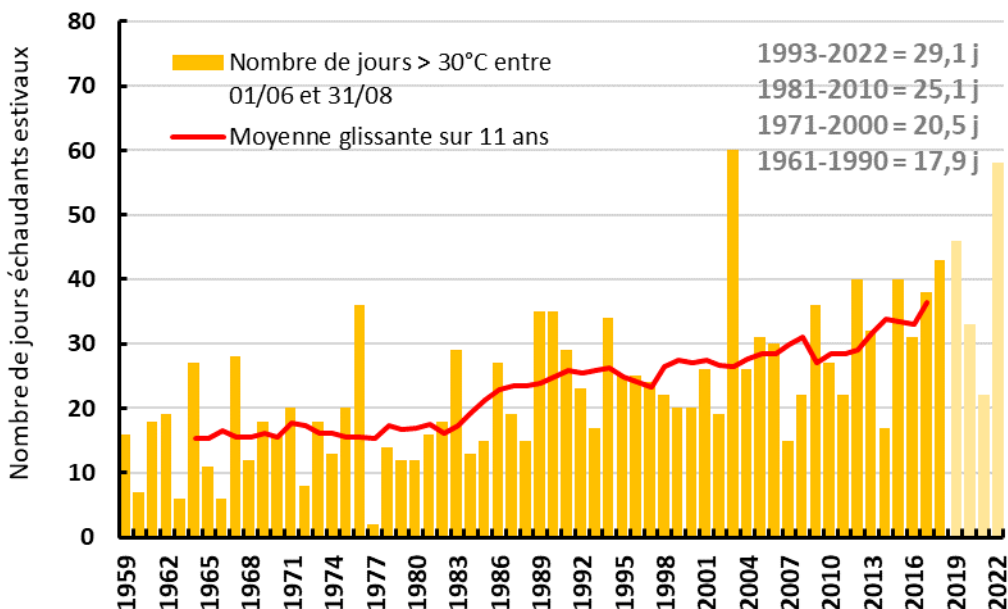


2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

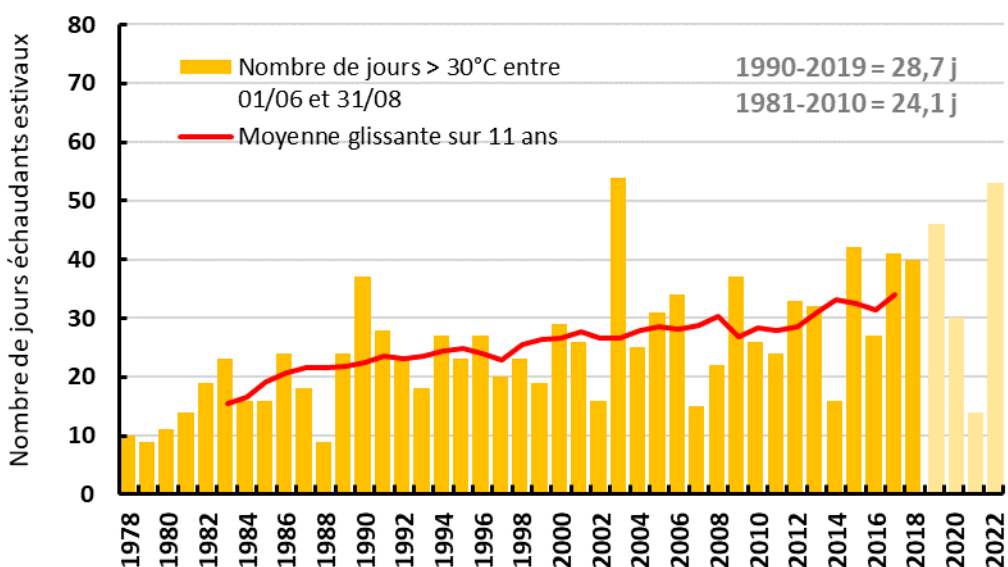


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Cugnaux (31)



Sérignac (82)



Analyse

Tout comme l'augmentation des températures, le nombre de jours chauds présente la même évolution dans les 3 localisations. Alors qu'entre les années 1961 et 1990, la moyenne du nombre de jours chauds s'élevait à environ 18j, ces trois dernières décennies la moyenne atteint presque les 29 jours.



Au-delà de cette augmentation, il est également important d'observer comme la canicule exceptionnelle de 2003 n'est aujourd'hui plus si exceptionnelle lorsque ces dix dernières années, le seuil des 40 jours chauds est plus fréquemment atteints. En effet, 55 jours supérieurs à 30°C ont été comptabilisés dans l'Aude, 60 en Haute-Garonne et 54 dans le Tarn-et-Garonne, A titre d'exemple, en 2019 il y a eu en moyenne 47 jours chauds, soit 10 jours de plus que la moyenne des ces 30 dernières années et 9 jours de moins qu'en 2003.

Afin de quantifier cette tendance, la réalisation de tests statistiques a identifié une hausse qui peut être qualifiée de hautement significative (p -value < 0,001), en d'autres termes, il y a un effet du changement climatique avec une augmentation de :

- + 3,96 j par décennie à Castelnaudary, soit + 24,98 j en 63 ans
- + 3,92 j par décennie à Cugnaux., soit + 24,68 j en 63 ans
- + 4,95 j par décennie à Sérignac, soit + 21, 79 en 44 ans

Tout comme le maïs semence, la hausse du nombre de jours échaudants vient directement impacter le maïs grain, qui à partir de juin, entame sa floraison. Les températures élevées viennent perturber la dispersion des grains de pollen sur les soies qui doivent ensuite germer avant d'émettre un tube pollinique et atteindre l'ovule. Ainsi, la fécondation s'en retrouve impactée, de même pour le nombre de grains finaux. A titre d'exemple, les pertes de l'année exceptionnelle de 2003 ont été estimées à 11,5 M de tonnes en France soit une chute de 30% par rapport à 2002. De plus, couplé au stress hydrique, les stress thermiques ont aussi des conséquences sur les anthères qui peuvent être partiellement ou totalement bloqués (Arvalis, 2015 ; Caubel *et al.*, 2018 ; Van der Velde, 2010).

A ce jour, l'irrigation pilotée permet de sécuriser la production en limitant les conséquences des jours échaudants, et ce dans un contexte de raréfaction de la ressource en eau.

A retenir

- ✓ Le nombre de jours échaudants ne cesse de croître significativement sur les trois départements avec une augmentation moyenne de + 4,3 jours tous les dix ans.
- ✓ Ces dernières années, des moyennes de presque un mois et demi de jours supérieurs à 30°C entre juin et août ont été enregistrées dans les trois départements.
- ✓ Les épisodes climatiques extrêmes du début de siècle comme la canicule de 2003, sont désormais plus fréquents, ce qui rend les cultures particulièrement vulnérables aux risques de stress thermique.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés: régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour en savoir plus

Arvalis (2015) *Impact de la canicule sur le maïs, Terre-net*. Disponible sur <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturelle/strategie-technique-culturelle/article/les-temperatures-elevees-perturbent-la-fecondation-du-mais-217-111028.html>



Caubel, J. *et al.* (2018) 'Assessing future meteorological stresses for grain maize in France', *Agricultural Systems*, 159, pp. 237–247. doi:[10.1016/j.agsy.2017.02.010](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.010).

Van der Velde, M., Wriedt, G. and Bouraoui, F. (2010) 'Estimating irrigation use and effects on maize yield during the 2003 heatwave in France', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(1), pp. 90–97. doi:[10.1016/j.agee.2009.08.017](https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.017).



Nombre de jours échaudants pour le maïs semence

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

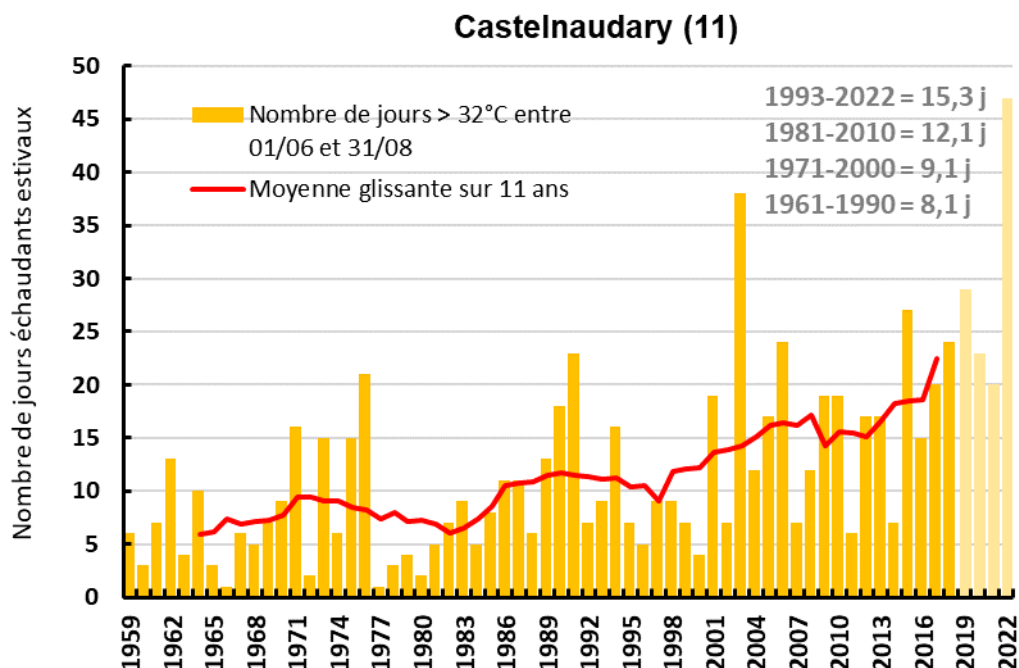
- Castelnaudary (11) : 1959 à 2022
- Montauban (82) : 1959 à 2022
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 32°C du 01/06 au 31/08 (pour Castelnaudary et Montauban)
- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure à 32°C (pour Tarbes-Ossun)
- Moyenne trentenaire du nombre de jours échaudants : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022

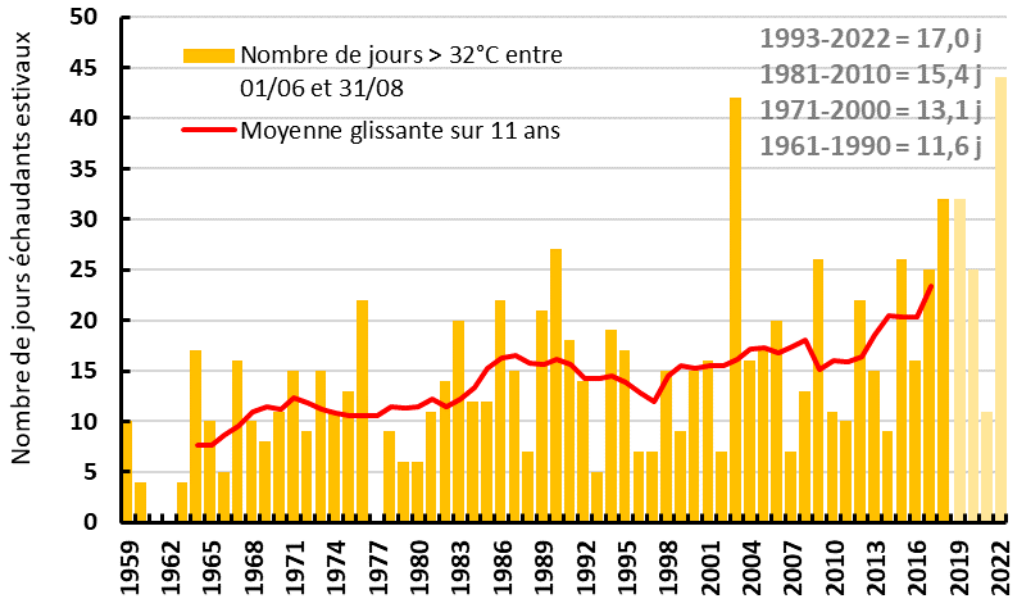
📈 Évolution observée

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

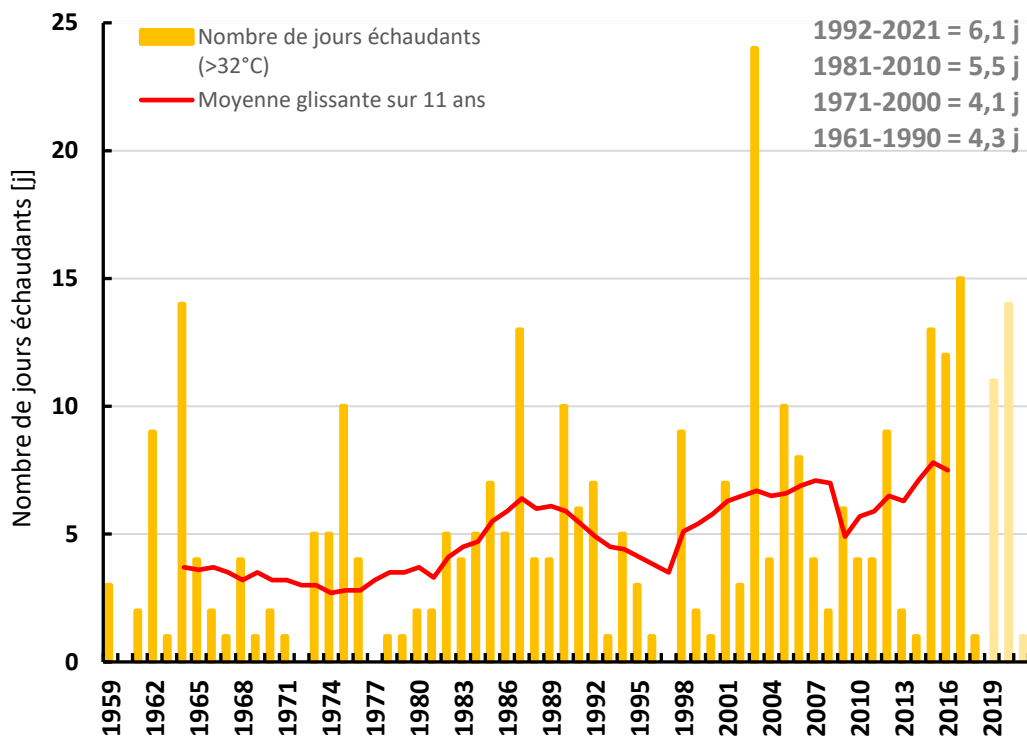




Montauban (82)



Tarbes-Ossun (65)





Analyse

En Occitanie, la production de semences est dominée par le maïs semence qui correspond à 29% des surfaces françaises (Agriscopie, 2021). Cependant, les conditions climatiques viennent perturber le potentiel de récolte à cause des jours échaudants qui ne cessent d'augmenter. Ce constat, déjà établi par le GIEC à l'échelle mondiale, est également visible dans la région.

L'augmentation du nombre de jours échaudants dans les départements de l'Aude, du Tarn-et-Garonne et des Hautes-Pyrénées est ponctuée d'années exceptionnelles, comme la canicule de 2003. Elle se traduit à Tarbes-Ossun par 24 jours où la température était supérieure à 32°C, soit une année 4 fois supérieure à la moyenne de ces 62 dernières années. Le constat est identique à Castelnaudary avec 38 jours échaudants contre une moyenne de 11 jours, et à Montauban avec 42 jours échaudants soit une année 3 fois supérieure à la moyenne de ces 62 dernières années.

Après la réalisation de tests statistiques, cette tendance peut être qualifiée de hautement significative (p -value < 0,001) pour Castelnaudary et Montauban, et significative (p -value < 0,05) pour Tarbes-Ossun. En d'autres termes, il y a un effet du changement climatique avec une augmentation de :

- + 2,82 jours par décennie à Castelnaudary, soit + 17,77 jours en 63 ans
- + 2,56 jours par décennie à Montauban, soit + 16,15 jours en 63 ans
- + 0,79 jours par décennie à Tarbes-Ossun, soit + 4,89 jours en 62 ans

La hausse du nombre de jours échaudants vient directement impacter le maïs semence, qui entame sa floraison à partir de juin. Les températures élevées viennent perturber la dispersion des grains de pollen sur les soies qui doivent ensuite germer avant d'émettre un tube pollinique et atteindre l'ovule. Ainsi, la fécondation s'en retrouve impactée, de même pour le nombre de grains finaux. A titre d'exemple, les pertes de l'année exceptionnelle de 2003 ont été estimées à 11,5 M de tonnes en France, soit une chute de 30% par rapport à 2002. De plus, couplé au stress hydrique, le stress thermique a aussi des conséquences sur les anthères qui peuvent être partiellement ou totalement bloquées, un risque particulièrement élevé pour les lignées mâles du maïs semence (Arvalis, 2015 ; Caubel et al., 2018 ; Van der Velde, 2010).

A ce jour, l'irrigation pilotée permet de sécuriser la production en limitant les conséquences des jours échaudants. Mais il faut également prendre en compte le contexte de raréfaction de la ressource en eau.



A retenir

- ✓ Le nombre de jours échaudants ne cesse de croître significativement dans les trois départements avec une augmentation allant de + 4,89 jours (Tarbes-Ossun) à + 17,77 jours (Castelnaudary) en 63 ans.
- ✓ Les étapes de floraison et de fécondation du maïs sont donc de plus en plus exposées au stress thermique, impactant ainsi le potentiel de récolte.

Note statistique : sur ce jeu de données, deux tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour aller plus loin :

Caubel, J. et al. (2018) 'Assessing future meteorological stresses for grain maize in France', *Agricultural Systems*, 159, pp. 237–247.

Huard, F., Bidou, J. E., Chabrier, P., Dubreuil, V., & Tison, A. (2019). Jours échaudants et canicule : enjeux et conséquences pour les cultures agricoles. INRAE.

Moriondo, M., Goodwin, M., & Donatelli, M. (2013). Assessing the impact of heat stress on maize production in the European Union. *Agronomy Journal*, 105(5), 1371-1383.



Nombre de jours inférieurs à 10°C pour le maïs

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

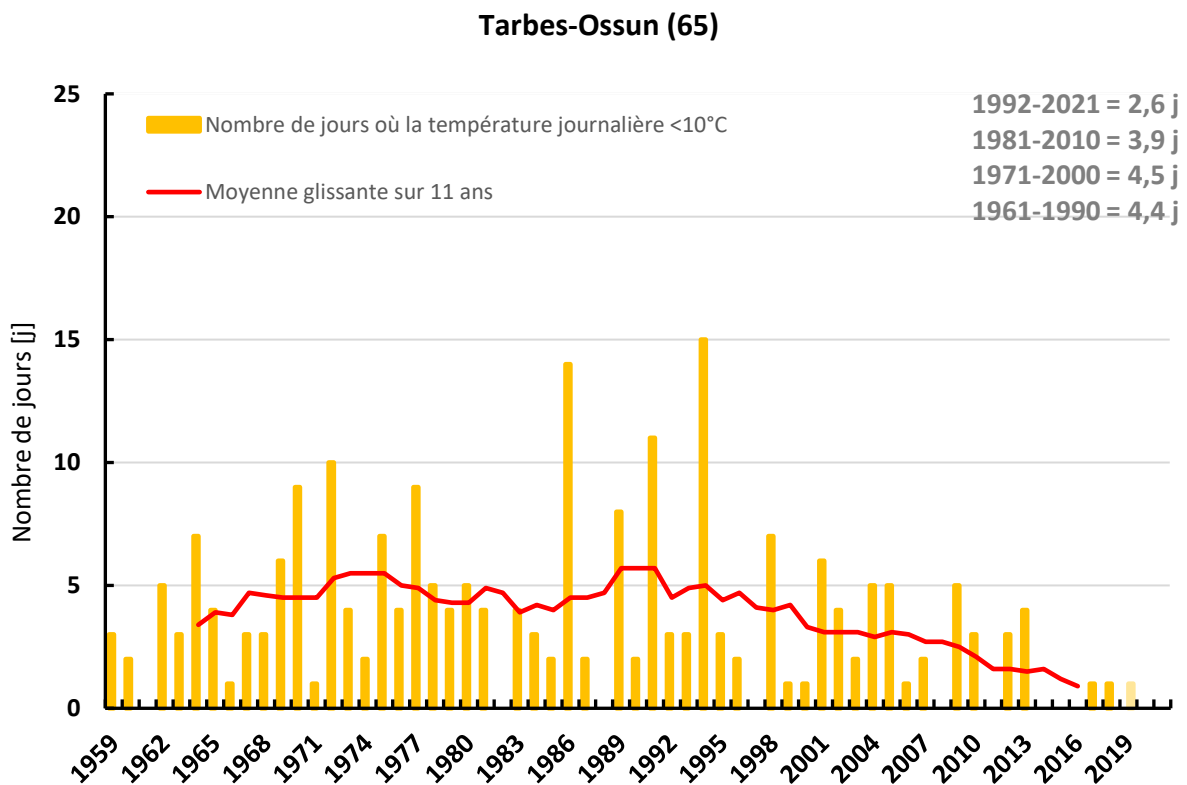
- Tarbes-Ossun (65) : 1959 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est inférieure à 10°C du 01/04 au 31/05
- Moyenne trentenaire du nombre de jours <10°C du 01/04 au 31/05 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours où la température <10°C du 01/04 au 31/05





Analyse

Le maïs est une culture d'importance dans les Hautes-Pyrénées. D'après le Recensement Agricole, la surface agricole utilisée pour le maïs semence et le maïs grain était de 32 681 hectares en 2020.

Dans ce contexte de réchauffement climatique, la température est un facteur clé pour la réussite de cette culture. En effet, le maïs nécessite des températures minimales et maximales optimales pour obtenir une croissance et un rendement satisfaisants. Des températures trop basses peuvent retarder la levée et le développement du maïs, tandis que des températures trop élevées peuvent réduire la germination.

L'étude de cet indicateur est ainsi intéressante pour étudier le potentiel de levée et de développement initial pour le maïs.

Pour la station de Tarbes-Ossun, la tendance observée est la suivante :

- - 0,53 jours par décennie, soit 3,26 jours en moins en 62 ans (S)

Cette tendance indique que le nombre de jours où la température maximale journalière est inférieure à 10°C diminue au fil des ans pour la station de Tarbes-Ossun. Après la réalisation de tests statistiques, cette tendance apparaît comme étant significative (p -value < 0,01), donc la diminution des jours froids est bien un effet du changement climatique.

Pour la culture du maïs, cette réduction des jours froids entraîne plusieurs conséquences bénéfiques. En effet, des jours plus chauds dès avril peuvent favoriser une germination et une croissance plus rapides du maïs. Cela peut permettre d'obtenir des pousses robustes plus tôt dans l'année, et ainsi éviter les jours échaudants qui sont problématiques pour les étapes de floraison et de fécondation du maïs (+ 4,74 jours échaudants en 60 ans pour la station de Tarbes-Ossun, cf. « Nombre de jours échaudants pour le maïs »). De plus, une diminution des jours froids peut également avoir un effet bénéfique sur la qualité du maïs récolté. En effet, des températures plus chaudes pendant la croissance peuvent conduire à une augmentation de la teneur en sucre et à une diminution de la teneur en amidon.

A retenir

- ✓ Le nombre de jours où la température maximale est inférieure à 10°C a significativement diminué dans les Hautes-Pyrénées avec une diminution moyenne de - 3,26 jours en 62 ans.
- ✓ Cette diminution peut entraîner des effets bénéfiques sur la culture du maïs, avec notamment une levée et une croissance initiale plus rapide, et une amélioration de la qualité des grains. Les jours échaudants pourraient ainsi être moins impactant sur le rendement final.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Note statistique : sur ce jeu de données, deux tests statistiques ont été appliqués : régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour aller plus loin :

Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2015). Adaptation de la culture du maïs au changement climatique. *Innovations Agronomiques*, 44, 69-78.

Basso, B., Cammarano, D., & Fiorentino, C. (2015). Adaptation options for maize production under climate change in Europe. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(4), 567-584.

Makowski, D., Durand, J.L., & Allard, V. (2015). Changement climatique et agriculture : quels impacts pour les grandes cultures ? *Innovations Agronomiques*, 46, 17-31.



Disponibilité thermique du maïs semence

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1989 à 2021



Indicateur

- Saint-Girons (09) : 1989 à 2021



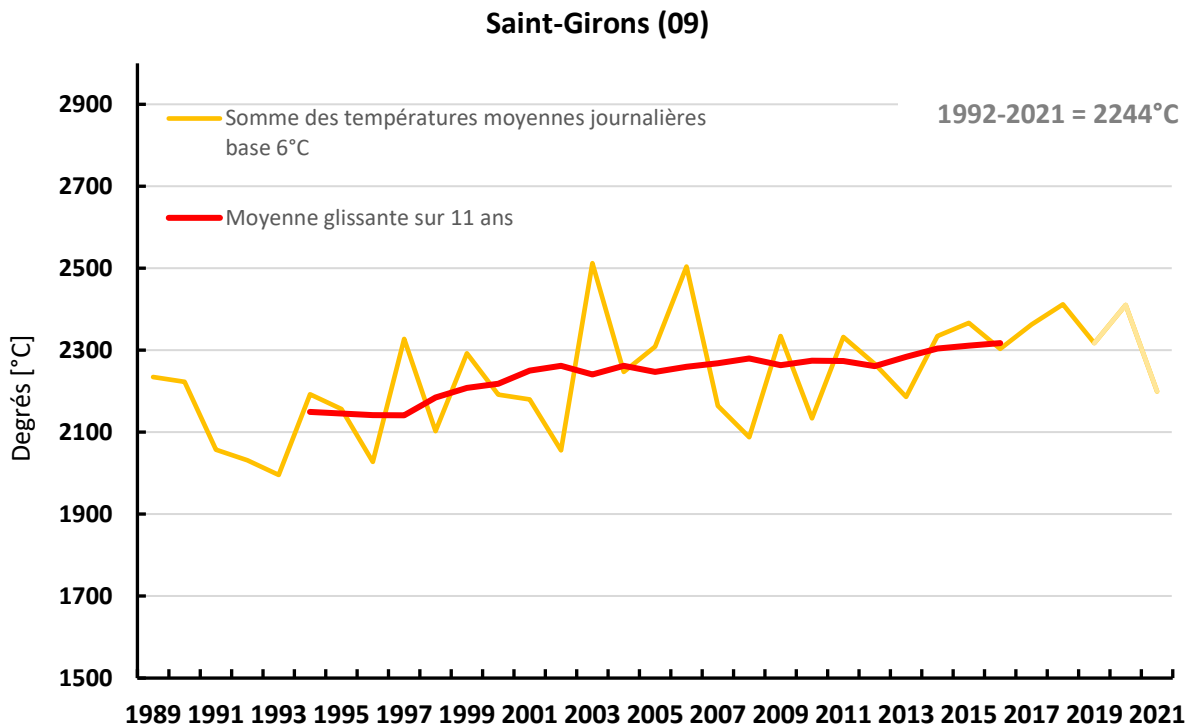
Calcul de l'indicateur

- Somme des températures moyennes journalières base 6°C du 01/04 au 31/10 pour Saint-Girons
- Moyenne trentenaire de la somme des températures moyennes journalières : 1992-2021



Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Somme des températures moyennes journalières base 6°C





Analyse

La somme des degrés jours est la quantité de chaleur nécessaire au développement d'une plante. Le maïs a ainsi besoin d'un cumul de chaleur donné afin d'accomplir son développement complet : plus il fait chaud, plus les stades de la culture s'enchaînent rapidement. Et a contrario, plus il fait froid, plus la croissance de la plante sera ralentie. Il est donc commun d'utiliser en France les cumuls de températures moyennes journalières supérieures à 6°C car en-dessous, la croissance du maïs est limitée. La disponibilité thermique est ainsi un élément important pour cette culture car elle influence directement la croissance et le développement de la plante.

En Occitanie, la culture de maïs semence est une culture d'importance avec une superficie totale cultivée de plus de 20 000 hectares (Agriscopie, 2021). Cette production, bien installée dans le Gers, le Tarn-et-Garonne et l'Aveyron, se développe de plus en plus dans l'Ariège. Ce département est en effet de plus en plus attractif pour les semenciers, avec des agriculteurs très performants techniquement et un contexte climatique propice à la production de maïs semence. La surface en maïs semence, en augmentation depuis 3 ans, était ainsi de 4600 hectares en Ariège en 2021. La variété de maïs prédominante dans ce département est le maïs précoce, qui est pour le moment mieux adapté aux conditions climatiques locales. Cependant, avec l'augmentation des températures moyennes, il est possible que la culture de variétés plus tardives devienne plus intéressante.

L'évolution observée du cumul de températures d'avril à octobre pour la station de Saint-Girons depuis 1989 est de + 72,06°C par décennie, soit 216,17°C supplémentaires en 30 ans (résultat significatif avec p-value < 0,01). Une tendance globale à l'augmentation de la disponibilité thermique se remarque ainsi au fil des années, mais une variation importante d'une année à l'autre et également constatée. Des années très chaudes (comme 2003, 2006, 2015 ou 2020) s'intercalent en effet avec des années plus froides (comme 2002, 2008, 2013 ou 2021).

Bien que la moyenne sur la période (soit 2237,87°C) indique que la culture de variétés tardives pourrait être envisagée, la variation interannuelle importante doit être prise en compte avant de décider d'opter pour une variété plus tardive de maïs dans ce département.

A retenir

- ✓ Le cumul des températures journalières supérieures à 6°C entre avril et octobre est en augmentation dans la station de Saint-Girons (+ 72,06°C par décennie).
- ✓ Cette augmentation de la disponibilité thermique permet d'envisager la culture de variétés plus tardives pour le maïs semence.
- ✓ Il faut cependant prendre en compte la grande variabilité interannuelle avant de prendre une décision quant au choix de la variété à cultiver.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Note statistique : sur ce jeu de données, un test statistique a été réalisé : celui de la régression linéaire.

Pour aller plus loin :

Delaplace, P., & Gouache, D. (2005). Diversité des pratiques et des systèmes de culture pour produire du maïs-grain en Midi-Pyrénées. *INRA Productions Animales*, 18(4), 301-310.

Alves Moreira, J. A., de Araújo, E. F., & Sousa, F. N. (2019). Heat stress effects on the growth and development of maize: Impacts and adaptations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19(1), 1-12.

Rouan, L., Bonnal, L., & Destrac, I. (2013). Evolution des pratiques culturales pour la culture du maïs-grain en Midi-Pyrénées. *Innovations Agronomiques*, 32, 317-327.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Nombre de jours chauds impactant le confort thermique des bovins

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

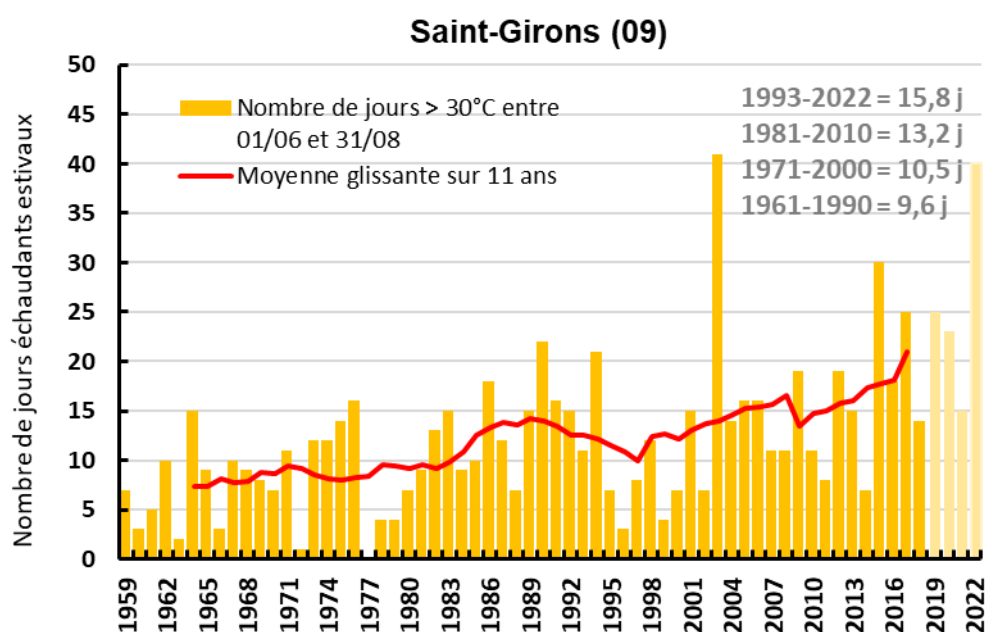
- Saint-Girons (09) : 1959 à 2022
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2022

🧮 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 30°C du 01/06 au 31/08
- Moyennes trentenaires du nombre de jours échaudant du 01/06 au 31/08 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

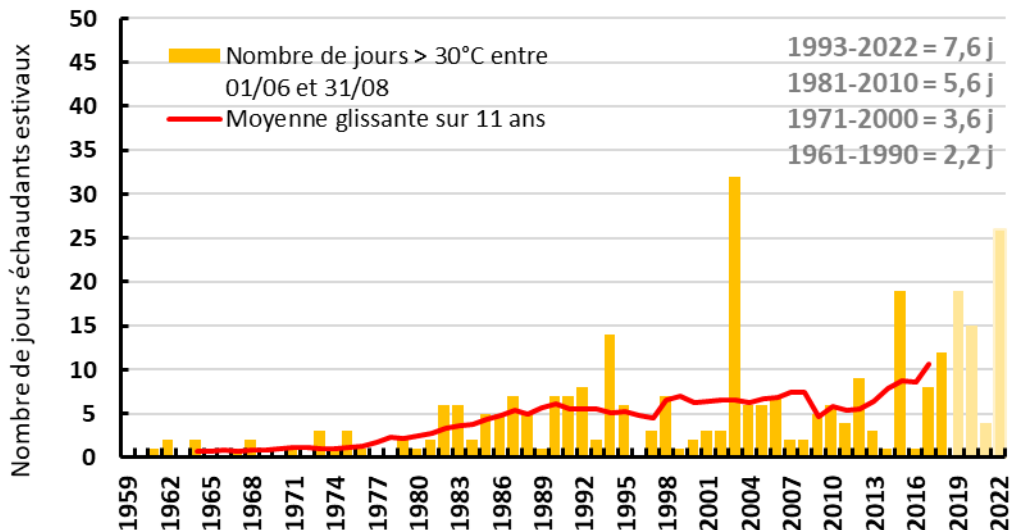
📈 Évolution observée

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





Salles-Curan (12)



Analyse

Le stress thermique ressenti dès 20°C chez les bovins, a des conséquences d'autant plus importantes que les températures excèdent ce seuil. En Ariège et en Aveyron, départements avec une dominante d'élevage, les animaux sont ainsi de plus en plus touchés par l'augmentation des jours où la température est supérieure à 30°C et qui altère leur métabolisme et leur comportement.

En comparant les deux départements, l'Ariège comptabilise un nombre bien plus important de jours chauds, 11,67 en moyenne sur 60 ans contre 4,08 pour l'Aveyron. Néanmoins, l'évolution tend à la même conclusion : une augmentation du nombre de jours chauds et une fréquence plus accrue d'épisodes extrêmes à l'image de 2003. A titre indicatif, en 2003, à Saint-Girons (09), le nombre de jours supérieur à 30°C était 3,5 fois plus élevé que la moyenne et à Salles-Curan (12), 8 fois plus élevé.

Après la réalisation de tests statistiques, cette tendance peut être qualifiée de hautement significative (p -value < 0,001), en d'autres termes, il y a un effet du changement climatique avec une augmentation de :

- + 2,33 j par décennie à Saint-Girons, soit + 14,70 j en 63 ans
- + 1,80 j par décennie à Salles-Curan, soit + 11,34 j en 63 ans

Lorsque les températures dépassent 30°C, les bovins subissent un stress de modéré à sévère et certaines de leurs fonctions métaboliques s'en trouvent altérées. Pour maintenir une température corporelle d'environ 38,5 °C, les bovins diminuent leur ingestion de 10 à 35% selon la digestibilité de la ration et de l'accessibilité aux zones d'ombre. Ils boivent davantage et se déplacent moins. Cette baisse générale de leur état nutritionnel et leur santé impacte



les systèmes laitiers où la production baisse et perd en qualité ; de même pour les systèmes allaitants qui observe une baisse de la qualité de la viande (Optilait ; IDELE, 2021).

Une attention particulière doit donc être portée sur la présence de zones d'ombre au pâturage, l'accès aux points d'eau, à la ventilation des bâtiments ou encore à l'alimentation des vaches en période caniculaire afin d'anticiper les risques d'acidoses (Optilait ; IDELE, 2021).

A retenir

- ✓ Le nombre de jours de stress thermique pour les bovins est en hausse dans les deux départements avec + 2,33 j par décennie à Saint-Girons et + 1,80 à Salles-Curan.
- ✓ Les conséquences sont une vulnérabilité accrue des bovins via une baisse de leur état nutritionnel qui vient directement impacté la qualité et la quantité de la production.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés: régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour aller plus loin :

- Afin d'être plus précis sur l'état de stress thermique du bovin, il est possible d'utiliser l'indice THI (Temperature Humidity Index) qui en plus de la température prend en compte l'humidité relative.
- Ils existent des projets portant sur l'adaptation de l'élevage au changement climatique portés par les chambres d'agriculture comme ClimAgil ou Batcool. Mais également des études réalisées par l'IDELE comme CLIMALAIT.
- Une vieille bibliographique réalisée par l'IDELE, recense l'évaluation génétique de la résistance à la chaleur des bovins laitiers que vous pouvez retrouver [à cette adresse](#).

Pour en savoir plus

Optilait, C. d'agriculture P.A.-L. (no date) *Stress thermique en élevage laitier*. Disponible sur: https://pa.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/106_Inst-Pyrenees-Atlantiques/Documents/Technique_et_innovation/Elevage/Bovins_lait/Stress_thermique_en_elevage_laitier.pdf.

Vallée, R. (2021) 'Impacts du stress thermique sur les vaches laitières', p. 12. Disponible sur: https://idele.fr/umt-ebis/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F6e71a361-6b6e-460d-a140-aed81d7c8e89&cHash=50557fae57f74ca602d0212ba1ae25bd.



Nombre de jours échaudants pour la vigne de mars à septembre

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

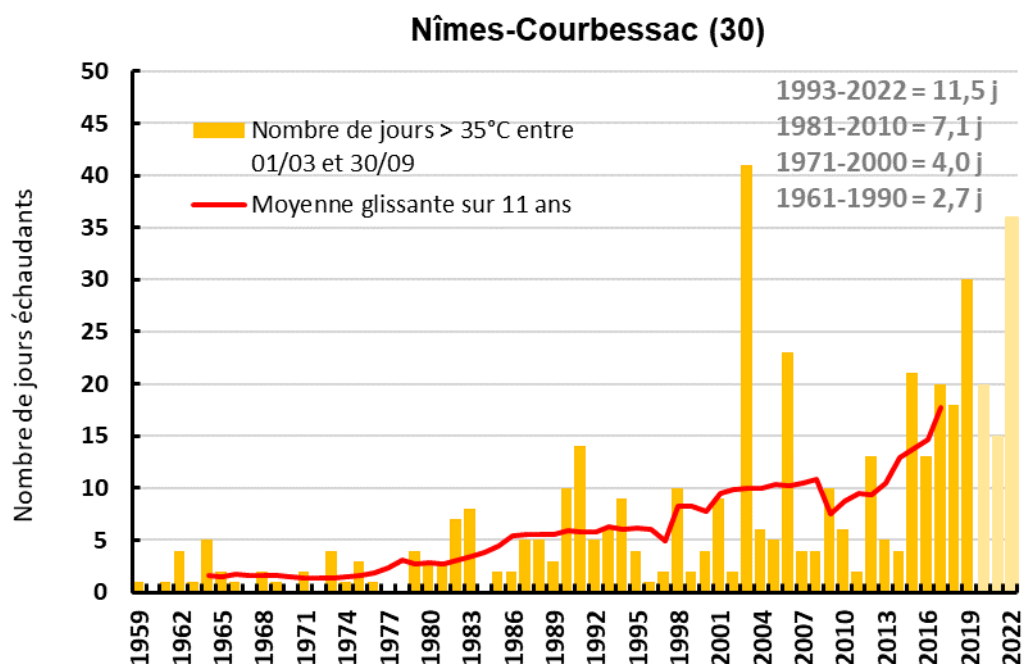
- Nîmes-Courbessac (30) : 1959 à 2022
- Maumusson-Laguian (32) : 1963 à 2022
- Montpellier (34) : 1959 à 2022
- Perpignan (66) : 1973 à 2022
- Montauban (82) : 1959 à 2022

📊 Calcul de l'indicateur

- Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 35°C du 01/03 au 30/09
- Moyennes trentenaires du nombre de jours échaudant du 01/03 au 30/09 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre de jours échaudants entre mars et septembre

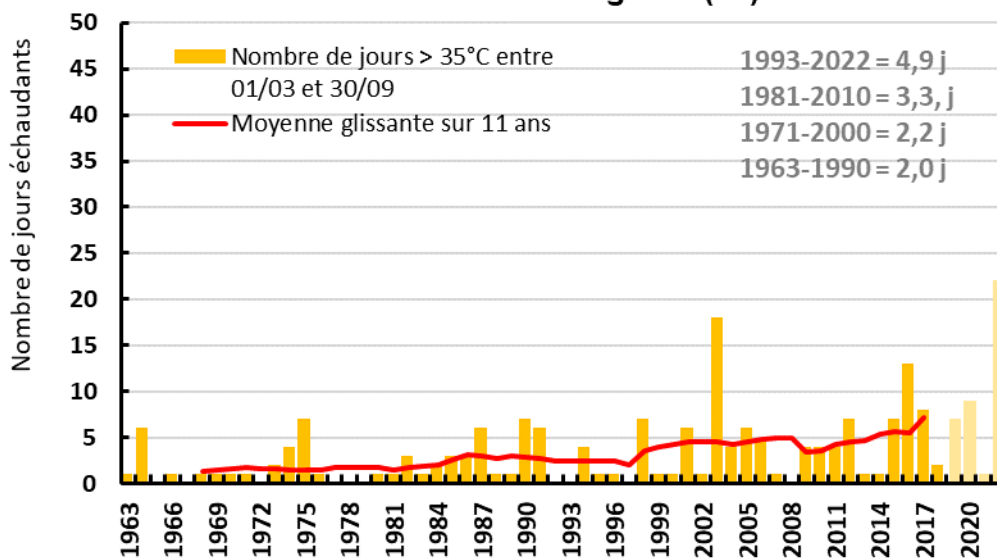


2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

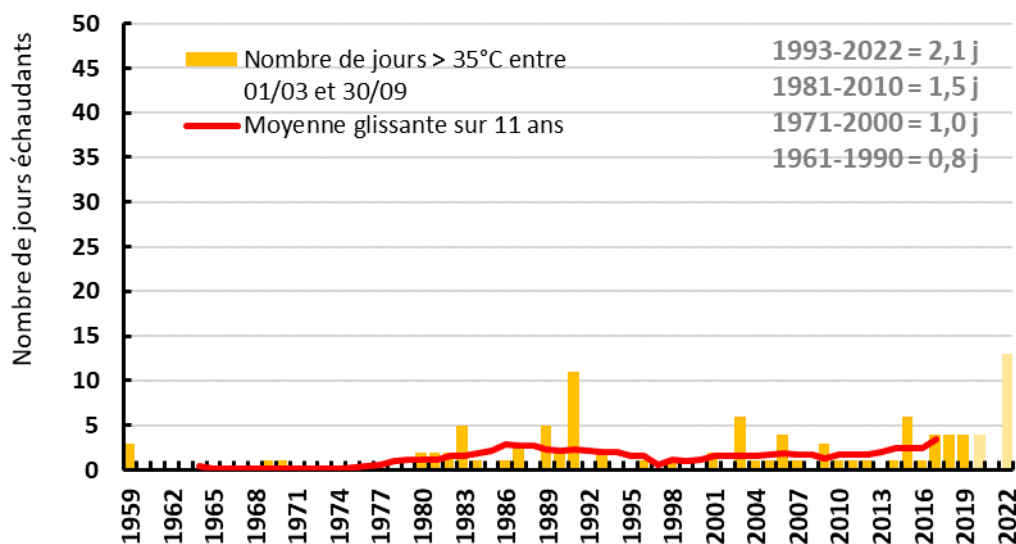


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Maumusson-Laguian (32)



Montpellier (34)

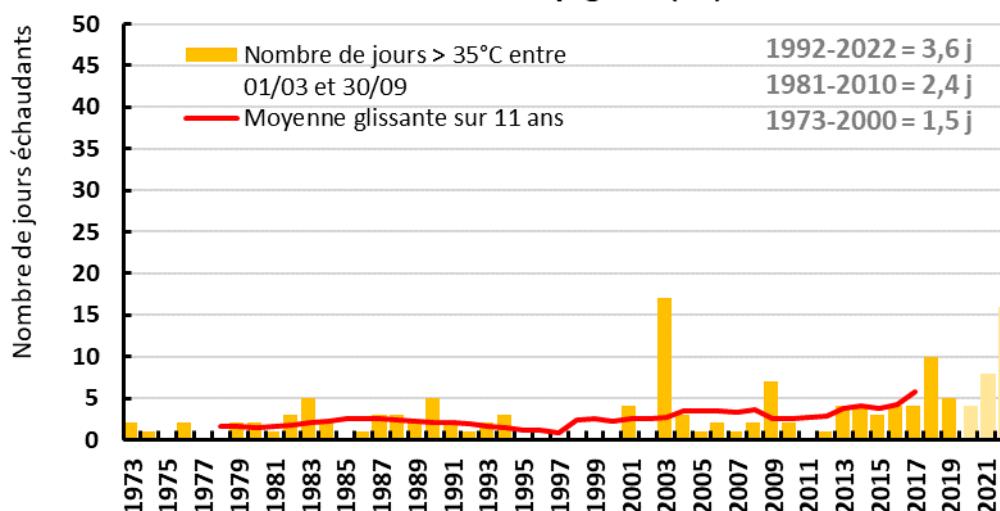


2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

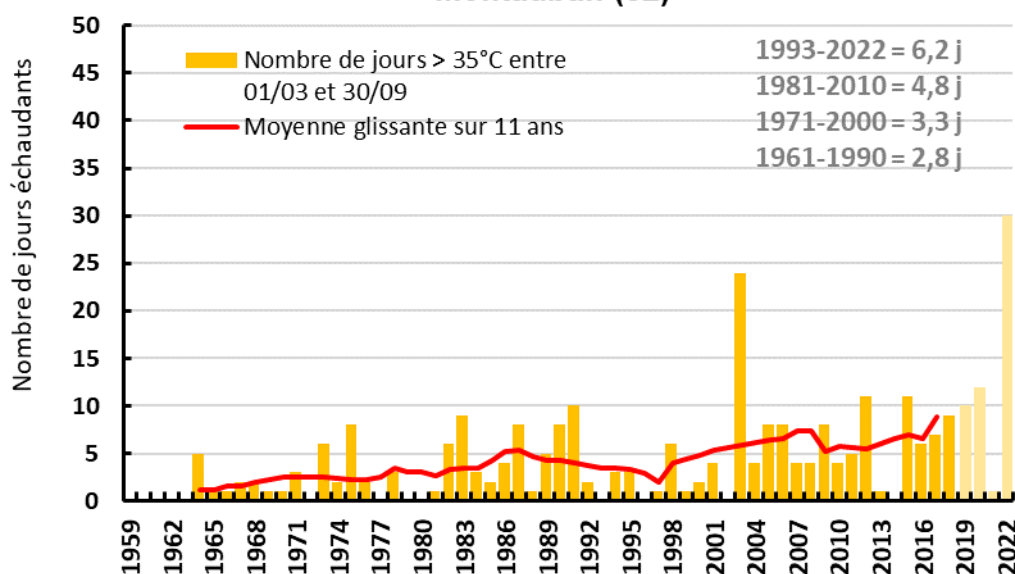


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

Perpignan (66)



Montauban (82)



Analyse

La hausse générale des températures et l'augmentation des fortes chaleurs fragilisent la filière viticole. Alors que l'Occitanie possède le 1^{er} vignoble national, représente 45% de la production nationale de vins rouges et rosés et produit 80% des volumes IGP, l'adaptation au changement climatique est indispensable (Agri'scopie, 2021).

Les quatre villes représentées, Nîmes (30), Maumusson-Laguian (32), Montpellier (34), Perpignan (66) et Montauban (82) ont une augmentation du nombre de jours échaudants hétérogène ces 60 dernières années. Alors que Nîmes et Montauban enregistrent une moyenne entre 1961 et 1990 de 2,75 jours où la température est supérieure à 35°C, l'évolution dans le Gard est beaucoup plus rapide et intense



puisqu'elle passe à 11,5 jours entre 1993 et 2022 soit une moyenne 3,7 fois plus élevée. Les autres villes voient quant à elles leur moyenne doublée sur ces mêmes périodes.

Après la réalisation de tests statistiques, cette tendance peut être qualifiée de significative (p -value < 0,05), en d'autres termes, il y a un effet du changement climatique avec une augmentation de :

- + 1,09 j par décennie à Maumusson-Laguian, soit + 6,44 j en 59 ans
- + 0,52 j par décennie à Montpellier, soit +3,28 j en 63 ans
- + 1,06 j par décennie à Perpignan, soit + 5,30 j en 50 ans
- + 1,38 j par décennie à Montauban, soit + 8,71 j en 63 ans

Pour Nîmes, au vu du nombre de jours de forte chaleur qui accélère significativement (*), il ne serait pas rigoureux de quantifier l'évolution de la même manière. C'est pourquoi, il est possible de se référer aux moyennes sur 30 ans qui sont davantage représentatives.

Avec l'augmentation des températures, les cycles végétatifs et de reproduction de la vigne sont avancés. La maturation est également plus précoce en s'étalant plus tôt en été où, en plus des températures plus élevées, sont également recensés de plus en plus de canicules. En phase de maturation, les baies atteignent leur volume final et se transforment chimiquement. Ainsi, leur exposition aux températures supérieures à 35°C désorganise leur structure cellulaire et détruit leurs protéines. La vigne est également sujette au risque de brûlure qui touche d'abord la face exposée de la baie avant de s'étendre à l'entièreté de grappe en cas de stress aigu. Il est aussi observé un brunissement du limbe et enroulement des feuilles pouvant aller jusqu'à la nécrose. Selon l'exposition aux rayonnements, la composition du raisin peut ainsi être déséquilibrée que ce soit sur son potentiel aromatique ou son état de santé général (INRAe, 2018).

Pour limiter les impacts des jours chauds, certaines solutions existent comme l'irrigation par aspersion, l'ombrage artificiel, une exposition au Nord de la parcelle ou la sélection de cépages résistants (van Leeuwen *et al.*, 2020).

A retenir

- ✓ Le nombre de jours échaudants augmente progressivement dans les quatre localisations mais avec une hausse bien plus marquée à Nîmes, dont la moyenne ces 30 dernières années s'élève à 11,5 j.
- ✓ Avec une maturité plus précoce, la vigne est davantage exposée aux risques de brûlures, qui couplés au stress hydrique affaiblissent le potentiel de rendement et déséquilibrent la composition du raisin.

Note statistique : sur ce jeu de données trois tests statistiques ont été réalisés: régression polynomiale pour Nîmes, régression linéaire pour les autres villes et le test de tendance non paramétrique de Mann Kendall sur toutes les localisations.

Pour aller plus loin

Les stratégies de la filière viticole face au changement climatique sont répertoriées dans le projet LACCAGE (porté par l'IFV, INRAe, l'INAO et FranceAgriMer) disponible à l'adresse suivante :



https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2021/09/Strategie-de-la-filiere-viticole-face-au-changement-climatique_web.pdf

Pour en savoir plus

Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie, C. d'Occitanie (2021) *AGRISCOPIE-Viticulture*. Disponible sur : https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/076_Inst-Occitanie/Documents/Agriscopie/Agriscopie_2021/AGRISCOPIE-Viticulture-crao2021.pdf

INRAe (2018) *Vigne - Rayonnement solaire et chaleur, Ephytia*. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/7064/Vigne-Rayonnement-solaire-et-chaleur>

van Leeuwen, C. and Darriet, P. (2020) *Leviers-d'adaptation-au-changement-climatique-Van-Leeuwen.pdf*. Bordeaux. Disponible sur : <https://hal.inrae.fr/hal-02743208>



Cumul de chaleur pour les cultures dérobées

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

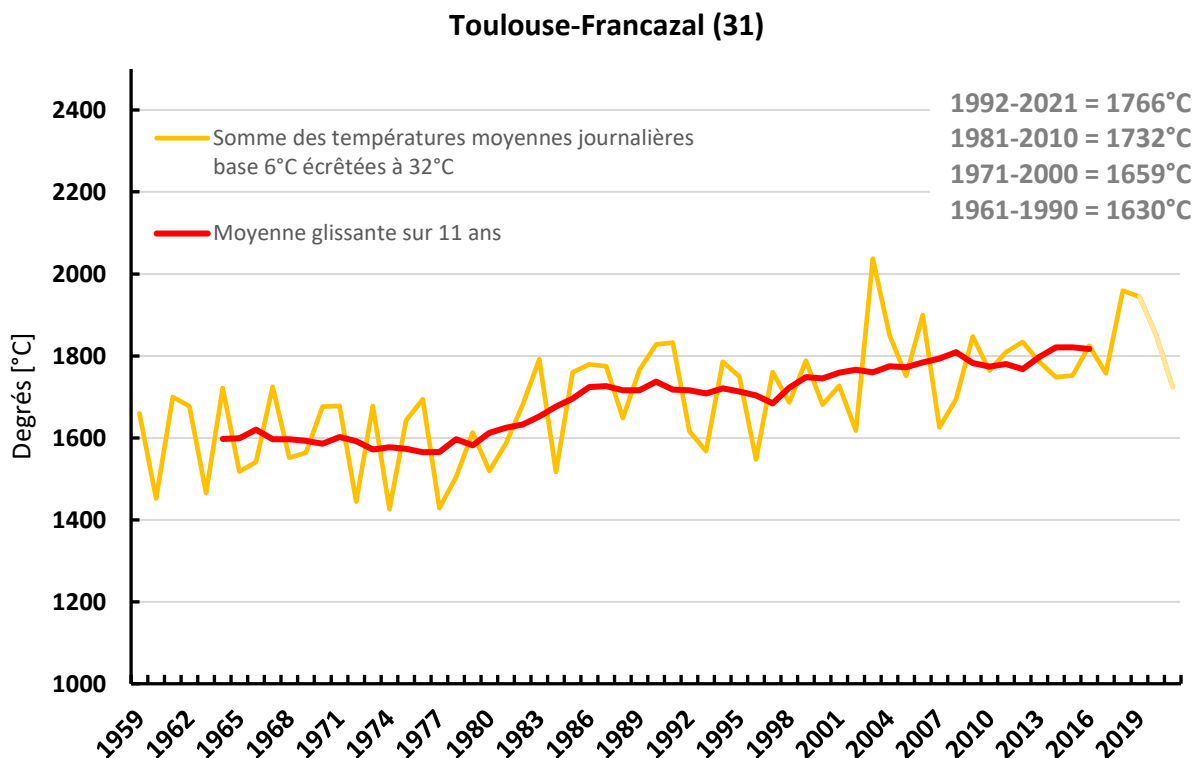
- Toulouse-Francazal (31) : 1959 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Somme des températures moyennes journalières base 6°C écrêtées à 32°C du 20/06 au 15/10 pour Toulouse-Francazal
- Moyenne trentenaire de la somme des températures moyennes journalières : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Somme des températures moyennes journalières base 6°C





La somme des degrés jours est la quantité de chaleur nécessaire au développement d'une plante. Les cultures implantées en dérobé ont ainsi besoin d'un cumul de chaleur donnée pour arriver à maturité et avoir une valorisation en grain. Or, plus il fait chaud, plus les stades phénologiques s'enchaînent rapidement. Et a contrario, plus il fait froid, plus la croissance de la plante sera ralentie. Il est donc commun d'utiliser en France les cumuls de températures moyennes journalières supérieures à 6°C car en-dessous, la croissance est limitée.

Les cultures dérobées sont des cultures intercalaires semées après la récolte d'une culture principale et avant le semis de la culture suivante. Elles ont pour objectif de couvrir et d'améliorer la qualité du sol, et peuvent être utilisées comme fourrage pour les animaux ou être récoltées pour la production de biocarburants.

En Occitanie, les cultures dérobées ont une place importante dans les rotations culturales en raison de leurs bénéfices agronomiques, environnementaux et économiques. Elles permettent notamment de réduire l'utilisation des engrais et des pesticides, de lutter contre l'érosion du sol et de favoriser la biodiversité. En Haute-Garonne, le potentiel pour les cultures dérobées est important en raison de la présence d'une agriculture diversifiée et de la nécessité de préserver les sols face aux aléas climatiques. Dans ce département, les cultures dérobées les plus fréquemment utilisées sont les légumineuses comme le pois fourrager, la vesce, le trèfle ou la féverole. Le potentiel pour les cultures dérobées dépend de plusieurs facteurs dont la température. En effet, une grande disponibilité thermique est cruciale pour ces cultures car elle favorise la bonne germination et la croissance.

L'évolution observée du cumul de températures de juin à octobre pour la station de Toulouse-Franczal depuis 1959 est de + 46,26°C par décennie, soit une augmentation de + 286,83°C en 62 ans (résultat très significatif avec p-value < 0,001). Une tendance globale à l'augmentation de ce cumul se remarque ainsi au fil des années, malgré une variabilité notable entre les années (par exemple 2017 avec un cumul de 1757,6°C et 2018 avec un cumul de 1958,7°C).

Cette évolution de la disponibilité thermique pourrait ainsi contribuer à un potentiel de production de cultures dérobées élevé. En général, des températures élevées sont bénéfiques pour la croissance des cultures dérobées car elles favorisent la photosynthèse et la production de biomasse. Cependant, il est important de noter que d'autres facteurs peuvent également influencer le potentiel pour les cultures dérobées, tels que la disponibilité en eau, la qualité du sol et la présence de ravageurs. Par exemple, ces températures élevées peuvent notamment entraîner un stress thermique pour les plantes lorsqu'elles sont combinées à une faible disponibilité en eau.

Il est néanmoins important de prendre en compte cette évolution de la disponibilité thermique entre juin et octobre dans la planification des rotations culturales et dans les décisions agricoles.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

A retenir

- ✓ Le cumul des températures journalières supérieures à 6°C et inférieures à 32°C entre juin et octobre est en augmentation pour la station de Toulouse-Francazal (+46,26°C par décennie).
- ✓ Cette augmentation de la disponibilité thermique contribue à un potentiel élevé pour les cultures dérobées et est à prendre en compte dans la planification des rotations culturales.

Note statistique : sur ce jeu de données, un test statistique a été réalisé : celui de la régression linéaire.

Pour aller plus loin :

D'Annunzio, R., & Mérot, A. (2019). Les pratiques agroécologiques en cultures intermédiaires : leviers, limites et perspectives. *Écologie & politique*, 49(1), 29-44.

INRAE. (2018). Cultures intermédiaires : des atouts environnementaux et agronomiques.

Legrand, M., & Leroux, G. D. (2020). Dynamique des cultures intermédiaires et des successions de cultures en France métropolitaine : bilan des campagnes 2013-2018. *Agreste primeur*, 328.



Date de mise à l'herbe

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

- Saint-Girons (09) : 1989 à 2022
- Carcassonne (11) : 1959 à 2022
- Salles-Curan (12) : 1959 à 2022
- Gourdon (46) : 1961 à 2022

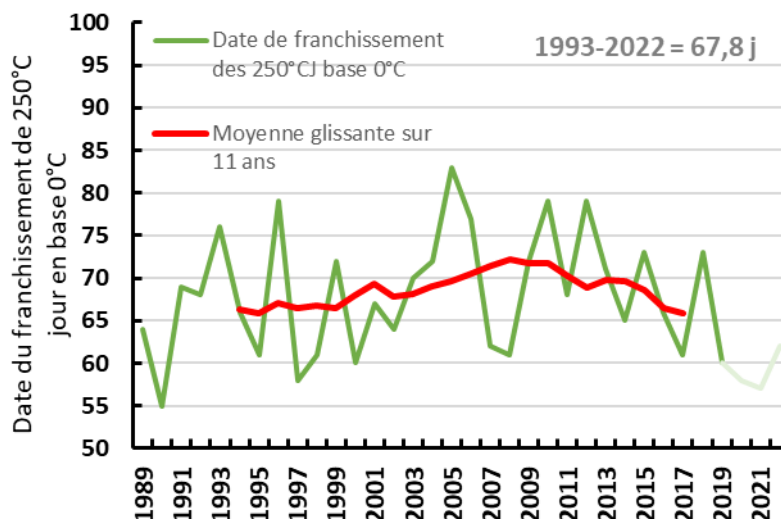
🧮 Calcul de l'indicateur

- Date de franchissement du seuil 250°C jour en base 0°C à partir du 01/02 (pour Saint-Girons, Salles-Curan et Gourdon)
- Moyenne trentenaire de la date de franchissement : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

📈 Évolution observée

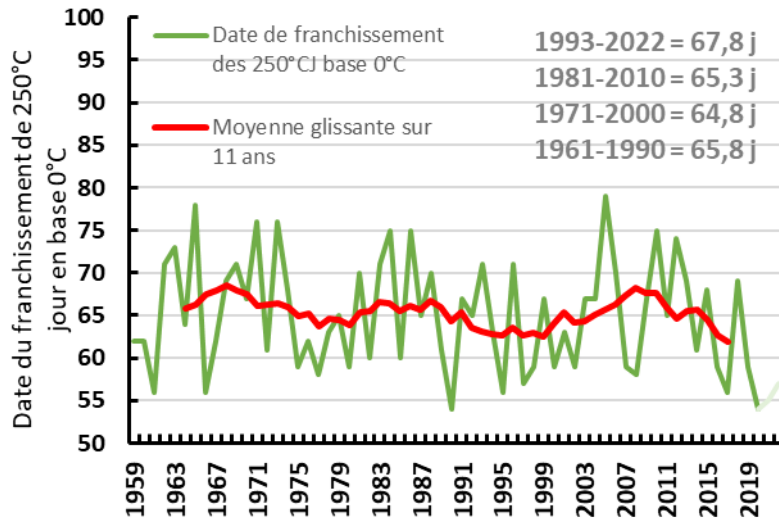
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date de franchissement du seuil à partir du 01/02

Saint-Girons (09)

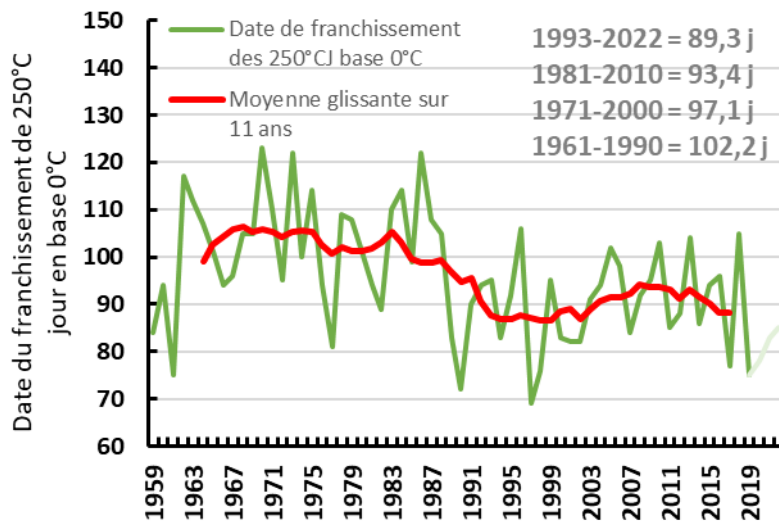




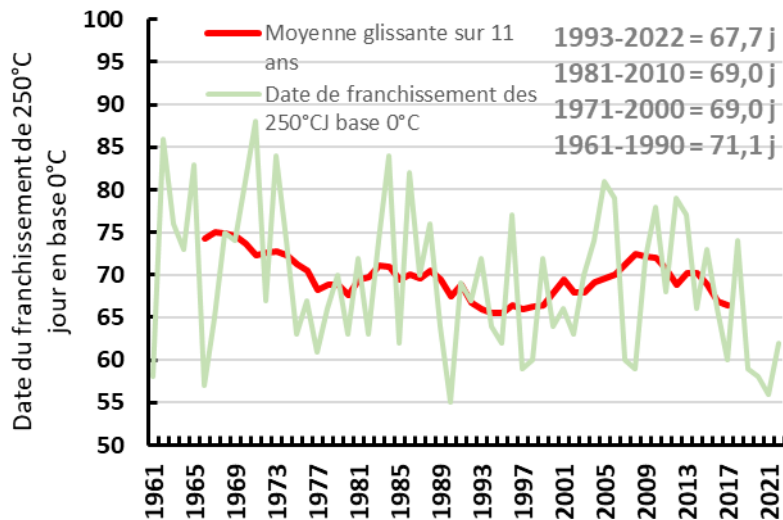
Carcassonne (11)



Salles-Curan (12)



Gourdon (46)





Analyse

La date de mise à l'herbe est déterminée au moyen de la somme des degrés jours en base 0 à compter du 01/02 de l'année. Dès que cette somme atteint un seuil (ici défini à 250°CJ) on estime que la croissance de l'herbe est suffisante pour supporter le pâturage.

Il a déjà été montré dans la partie précédente que les températures printanières ont augmenté significativement dans toute la région depuis les années 1960 d'en moyenne 0,33°C par décennie (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Cela peut laisser supposer une date de mise à l'herbe potentiellement plus précoce puisque la somme de 250°CJ pourra être atteinte plus rapidement.

L'évolution observée de la date de mise à l'herbe en région Occitanie depuis 1959 (1961 pour la station de Gourdon et 1988 pour la station de Saint-Girons), pour chaque station est de :

- + 1,2 jour par décennies à Saint-Girons, soit + 3,6 jours plus tard en 30 ans (S)
- - 2,5 jours par décennies à Salles-Curan, soit - 15 jours plus tôt en 60 ans (S)
- - 0,8 jours par décennies à Gourdon, soit - 4,6 jours plus tôt en 58 ans (S)
- - 0,7 jours par décennies à Carcassonne, soit - 4,4 jours plus tôt en 62 ans (NS)

Seule la station de Carcassonne affiche un résultat non significatif sur cet indicateur. Pour les autres stations, deux montrent une faible augmentation de la précocité (Gourdon et Carcassonne) et l'autre montre même un recul de la date de mise à l'herbe (Saint-Girons). Ces trois résultats sont néanmoins significatifs.

Des études tendent à montrer une augmentation nette de la précocité des prairies (Soussana et al. 2002). Un résultat étonnant est que ces trois stations avaient été choisies pour suivre l'évolution de la température moyenne saisonnière, et qu'elles montraient toutes une augmentation significative des températures printanières au moins égales à la moyenne de l'Occitanie (+ 0,33°C par décennie). Ainsi il semble que pour les stations de Gourdon, de Carcassonne et de Saint-Girons, le réchauffement ne soit pas réparti également sur tout le printemps, mais plutôt concentré à la fin de la saison (car faible significativité ici). D'après l'Institut de l'Élevage, ces changements n'entraînent pas nécessairement des évolutions de rendements fourragers. Cependant le réchauffement de la fin du printemps raccourcit la période de fauche, ce qui rend celle-ci plus complexe à mettre en œuvre.

A retenir

- ✓ On constate une évolution significative de la date de mise à l'herbe pour trois des quatre stations étudiées, mais l'évolution reste très faible. Toutes les stations montrent un réchauffement printanier significatif, cela peut s'expliquer par un réchauffement concentré à la fin de la saison.
- ✓ Le réchauffement de la fin du printemps conduit à un raccourcissement de la période de fauche.

Note statistique : sur ce jeu de données, deux tests statistiques ont été réalisés : la régression linéaire et la régression polynomiale.



Pour aller plus loin :

- Les autres régions montrent des résultats similaires, sans gain de précocité (ORACLE Centre-Val de Loire, Grand-Est, Pays de la Loire, Nouvelle Aquitaine).
- Les projections laissent supposer qu'un gain de pâture est attendu en automne (Soussana et al. 2002), ce qui pourrait compenser les risques au printemps. Cependant, nous venons de voir que le gain prédit au printemps ne se voit que très peu sur le terrain. Il serait donc pertinent de valider expérimentalement la présence de ce gain automnal.
- L'indicateur observé ici est une simplification de la date de mise à l'herbe. En effet, elle ne dépend pas seulement de la température mais également de la portance du sol. Pour cela, une période de 1 à 4 jours sans pluie, selon le type du sol, est nécessaire (ITB, 2012).

Pour en savoir plus :

ITB (2012). Jours disponibles pour le désherbage mécanique. La technique betteravière N°963. 1p

SOUSSANA et al. (2002) : « Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production » Fourrages 169, 3-24



Cumul des pluies estivales du 1^{er} juillet au 30 septembre

Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

Indicateur

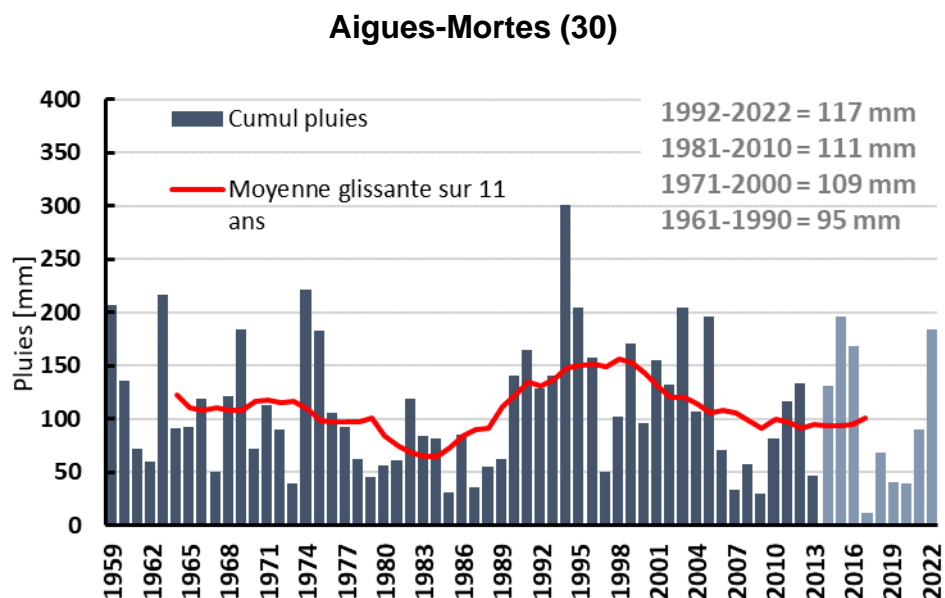
- Aigues-Mortes (30) : 1959 à 2022
- Auch (32) : 1982 à 2022
- Montauban (82) : 1959 à 2022

Calcul de l'indicateur

- Cumul des précipitations du 01/07 au 30/09.
- Moyennes trentenaires des précipitations annuelles du 01/07 au 30/09 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

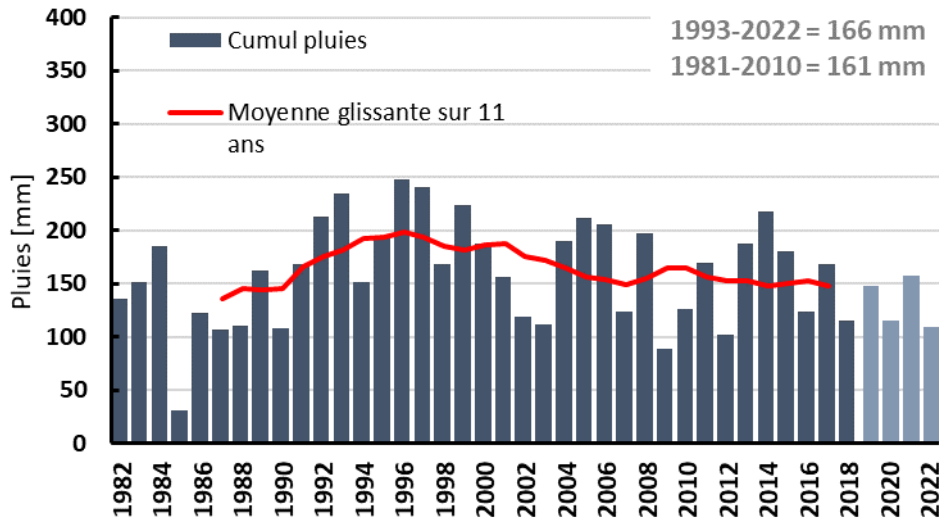
Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Cumul des précipitations du 01/07 au 30/09 [mm]

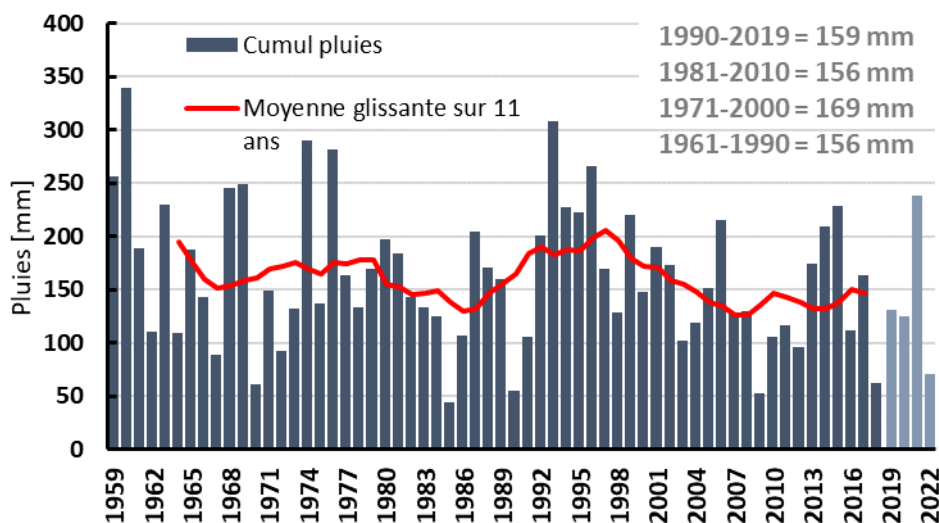




Auch (32)



Montauban (82)



Analyse

Les précipitations de juillet à septembre sont très importantes pour les grandes cultures et notamment pour permettre aux couverts végétaux semés après les moissons de lever. Les tendances observées sont les suivantes :

- - 2 mm par décennie à Aigues-Mortes, soit - 11 mm en moins en 63 ans (NS)
- - 1 mm par décennie à Auch, soit -3 mm en moins en 40 ans (S)
- - 8 mm par décennie à Montauban, soit - 50 mm de moins en 63 ans (NS)

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

Deux de ces tendances sont non significatives. Tout d'abord, les baisses observées sont très faibles et les variations interannuelles sont très élevées, cela s'illustre par des R^2 très faibles (dans les trois cas, $R^2 < 0,05$). Ensuite, il se dessine des tendances de hausses et de baisses successives d'une dizaine d'années, qui ne sont alors pas visibles sur une tendance globale de 60 ans.

Néanmoins, ces trois départements sont le lieu d'un réchauffement estival très significatif compris entre + 0,42°C par décennie et + 0,54°C par décennie (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Cette augmentation de température accrue l'évapotranspiration. Sans hausse des précipitations, le déficit hydrique s'intensifie rendant ainsi la levée des couverts végétaux plus incertaine.

A retenir

- ✓ Les précipitations estivales, bien que très variables d'une année sur l'autre n'ont en moyenne que peu évoluées 60 ans.
- ✓ La température ayant de son côté augmentée, le stress hydrique estival est aujourd'hui plus fort ce qui rend la levée des couverts plus incertaine.

Note statistique : sur ce jeu de données trois statistiques ont été réalisés : régression polynomiale ou régression linéaire et le test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall.

Pour en savoir plus

Samir Meridja. Approche biophysique des processus de développement et de croissance des couverts végétaux : Interaction avec le stress hydrique et optimisation des pratiques culturales en climat méditerranéen. Sciences agricoles. AgroParisTech, 2011.



Rechargement hivernal

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2022

🕒 Indicateur

- Aigues-Mortes (30) : 1959 à 2022
- Auch (32) : 1983 à 2022
- Cordes (81) : 1959 à 2022

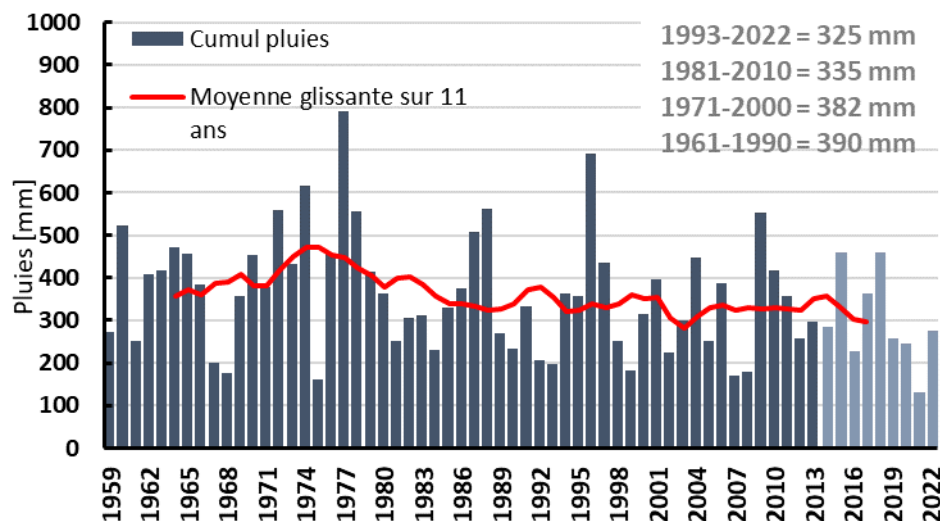
🧮 Calcul de l'indicateur

- Cumul des précipitations du 30/09 au 01/04.
- Moyennes trentenaires des précipitations du 30/09 au 01/04 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1993-2022 (sauf stations avec une profondeur de données inférieure).

📈 Évolution observée

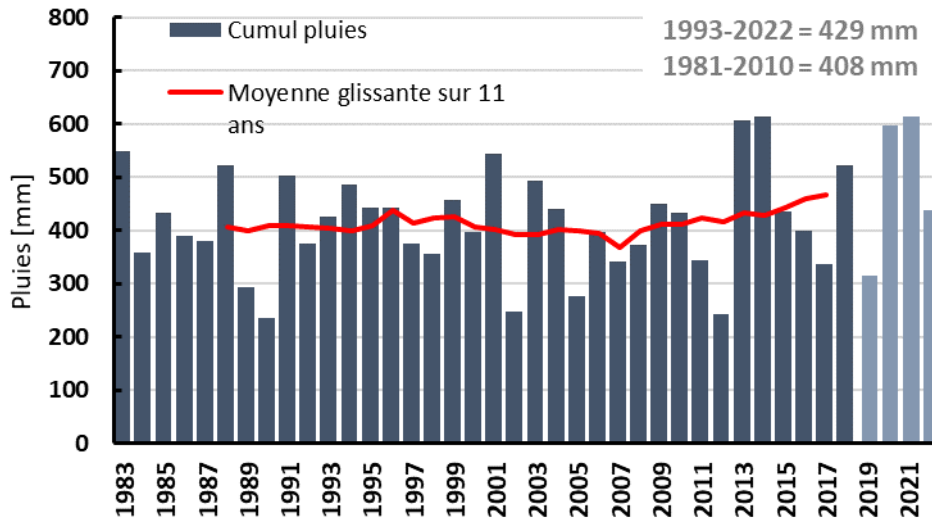
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Cumul des précipitations du 30/09 au 01/04 [mm]

Aigues-Mortes (30)

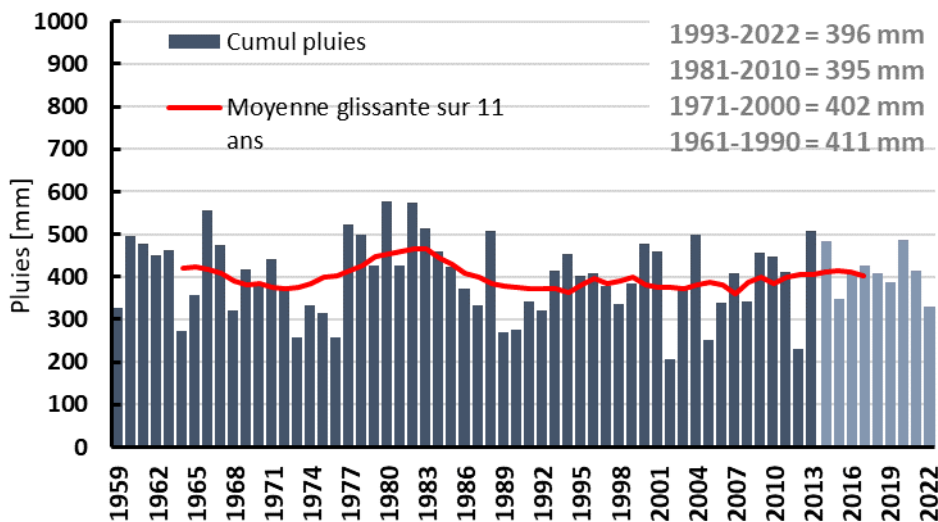




Auch (32)



Cordes (81)


Analyse

Les précipitations d'octobre à avril sont très importantes car c'est à cette période que se remplissent les aquifères et les retenues, qui serviront de réserves d'eau pendant la période estivale où le bilan hydrique est généralement négatif en Occitanie. Les évolutions observées sont les suivantes :

- - 19 mm par décennie à Aigues-Mortes, soit 118 mm en moins en 63 ans (NS)
- + 15 mm par décennie à Auch, soit 60 mm en plus en 39 ans (NS)
- - 3 mm par décennie à Cordes, soit 21 mm de moins en 63 ans (NS).



Toutes ces tendances sont non significatives. Cela est principalement dû à une très grande variabilité interannuelle. On peut en effet observer un écart de plus de 350 mm à Aigues-Mortes entre 2008 et 2009. Cette variabilité s'illustre par des R^2 très faibles ($R^2 < 0,05$) qui font que même à Aigues-Mortes où l'on observe une forte diminution en moyenne (-17 mm par décennies), on ne peut pas conclure sur l'existence d'une réelle tendance. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus précédemment dans la fiche « Cumul saisonnier des précipitations » qui ne montrent pas de tendance d'évolution significative des précipitations sur l'automne, l'hiver et le printemps. Néanmoins, la hausse des températures est réelle (fiche « Températures moyennes saisonnières ») et conduit à une hausse de l'ETP ce qui peut réduire la quantité d'eau disponible pour la recharge hivernale des nappes ou des retenues.

A retenir

- ✓ Des baisses des précipitations durant la recharge des aquifères et des retenues sont observées, cependant les fortes variations interannuelles nous empêchent de conclure sur l'existence d'une réelle tendance sur les 63 dernières années.
- ✓ Ces données sont notamment à mettre en parallèle avec l'évolution de l'évapotranspiration potentielle sur cette période afin d'identifier une réduction de la recharge des nappes et des retenues.

Note statistique : sur ce jeu de données un test statistique a été réalisé : la régression linéaire.

Pour en savoir plus

BRGM, 2016. Recharge des nappes et adaptation au changement climatique. *Dossier de presse.*



Nombre maximal de jours secs consécutifs d'avril à octobre

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021

🕒 Indicateur

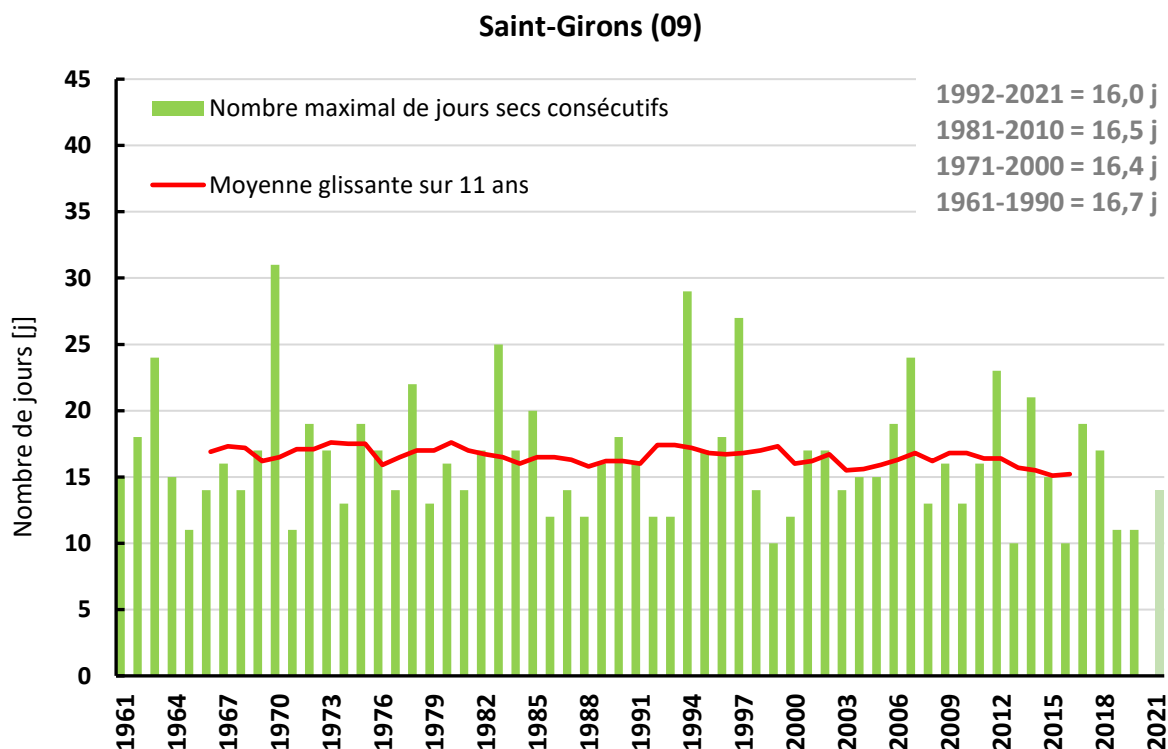
- Saint-Girons (09) : 1961 à 2021
- Verdun (09) : 1959 à 2021
- Belcaire (11) : 1980 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Nombre maximal de jours consécutifs avec cumul de précipitations inférieur à 1 mm du 01/04 au 31/10
- Moyenne trentenaire du nombre de jours secs du 01/04 au 31/10 : 1961-1990 ; 1971-2000 ; 1981-2010 ; 1992-2021 (sauf stations avec une profondeur de données différente)

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Nombre maximal de jours secs consécutifs entre avril et octobre



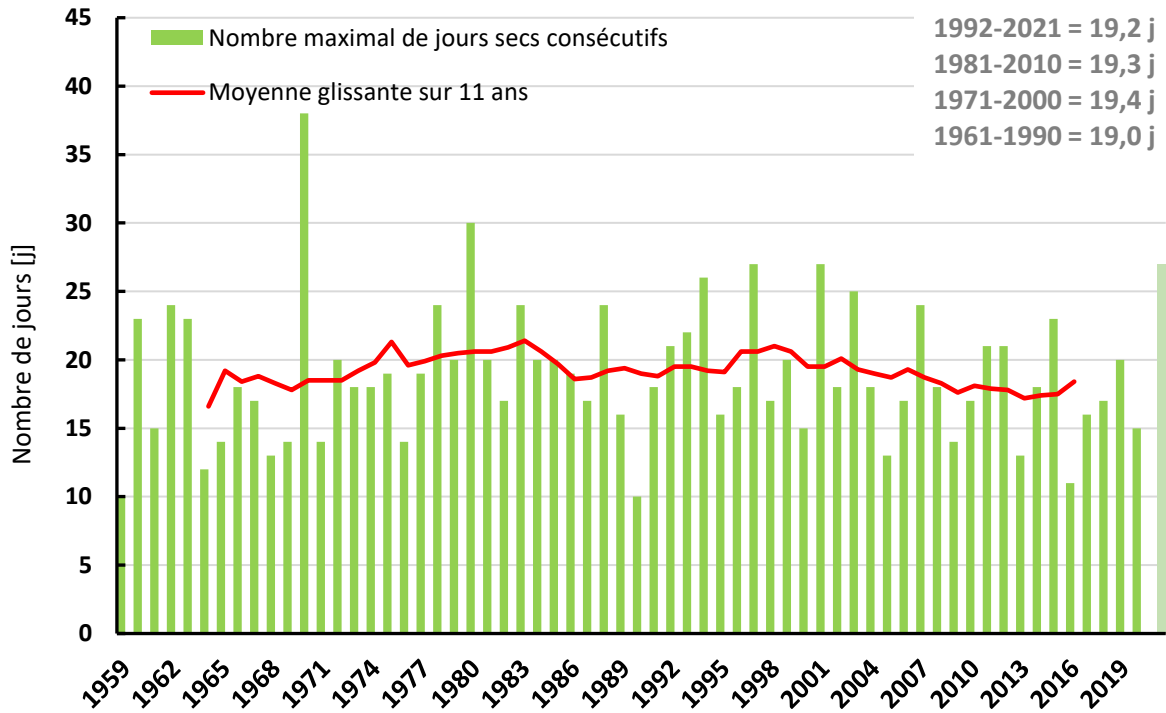
2

CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

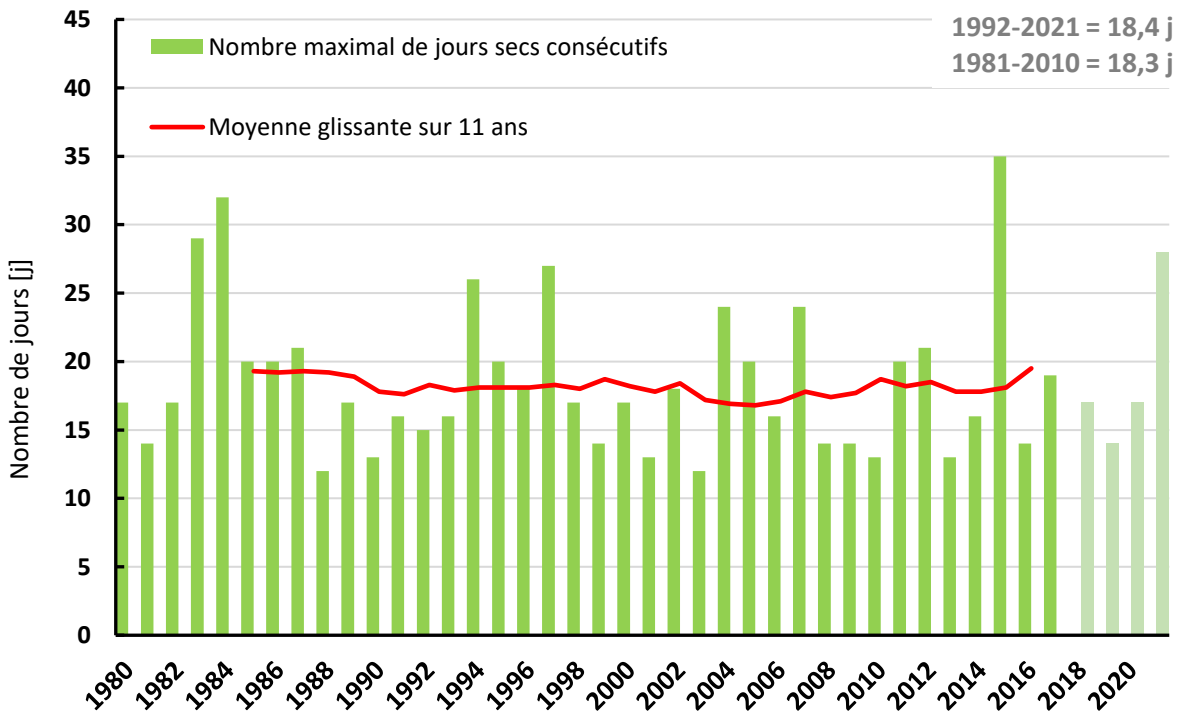


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Verdun (09)



Belcaire (11)





Analyse

Les jours secs consécutifs sont un facteur important pour l'agriculture, notamment dans les régions où les pluies sont rares pendant la période de croissance des cultures. Les plantes ont besoin d'eau pour leur croissance et si cette eau manque, leur développement peut être entravé, voire stoppé. Cela peut entraîner une diminution de la production agricole, avec des conséquences économiques importantes pour les agriculteurs et les régions agricoles.

Pour les trois stations étudiées, les tendances observées pour les jours secs consécutifs sont les suivantes :

- - 0,33 jours par décennie à Saint-Girons, soit 2 jours en moins en 60 ans (NS)
- + 0,02 jours par décennie à Verdun, soit 0,1 jours en plus en 62 ans (NS)
- - 0,17 jours par décennie à Belcaire, soit 0,7 jours en moins en 40 ans (NS)

Toutes ces tendances sont non significatives. Cela peut s'expliquer par des baisses (pour Saint-Girons et Belcaire) et une hausse (pour Verdun) très faibles et des variations interannuelles très élevées. Il y a par exemple un différentiel de 9 jours à Saint-Girons entre 2016 et 2017, de 12 jours à Verdun entre 2020 et 2021, et de 11 jours à Belcaire entre 2015 et 2016.

Néanmoins, ces deux départements sont le lieu d'un réchauffement estival très significatif : +0,43°C par décennie pour la station de Lorp-Sentaraille en Ariège, et + 0,42°C par décennie pour la station de Carcassonne dans l'Aude (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Or, cette augmentation de température accroît l'évapotranspiration. Ainsi, sans réelle hausse des précipitations, le déficit hydrique pourrait s'intensifier rendant alors la levée des cultures plus incertaine.

A retenir

- ✓ Les jours secs consécutifs, bien que très variables d'une année sur l'autre, n'ont que très peu évolués en 60 ans sur la période 1/04 - 31/10.
- ✓ La température ayant de son côté augmenté, le stress hydrique estival pourrait s'intensifier.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés : régression linéaire et test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall.

Pour aller plus loin :

Makowski, D., & Ancey, V. (2018). Impacts du changement climatique sur les cultures annuelles. In Les effets du changement climatique en France (pp. 337-352). Springer.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.

Du Tertre, X., & Larrue, C. (2014). Le rôle de l'irrigation dans l'adaptation des agriculteurs au changement climatique en France. Innovations Agronomiques, 37, 213-226.



Stress hydrique estival

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1991 à 2021

🕒 Indicateur

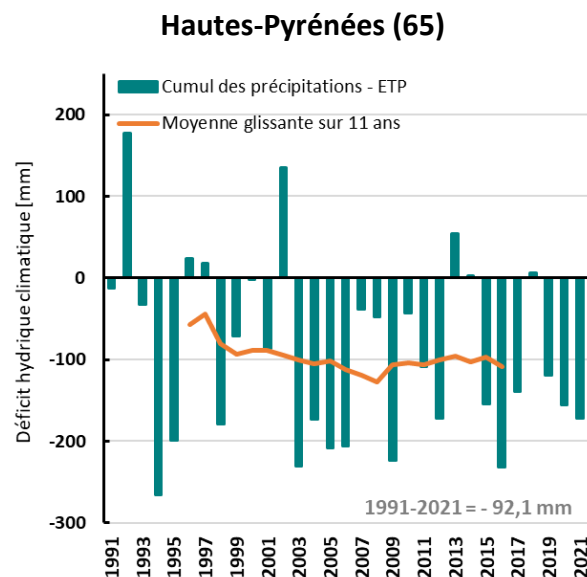
- Hautes-Pyrénées (65) : 1991 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Cumul saisonnier des précipitations - ETP par maille du 01/05 au 31/08
- L'EvapoTranspiration Potentielle provient d'une grille d'environ 12 km (0,125° x 0,125°). L'ETP est obtenue à partir de la formule de Penman au pas décadaire après interpolation spatiale des données observées nécessaires au calcul.
- Moyenne trentenaire du cumul saisonnier des précipitations - ETP : 1992-2021

📈 Évolution observée

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



📈 Analyse

Sur une période donnée (approximativement la période d'irrigation des cultures d'été dans le cas étudié ici), la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle constitue une appréciation du degré de pénurie hydrique dans le climat. Le changement climatique se traduisant par une hausse de l'évapotranspiration (liée à l'accroissement de la

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

température) et – bien que peu nettement jusqu'à présent – par une baisse des précipitations, le déficit hydrique climatique estival a vocation à se renforcer sur le long terme, signal d'une contrainte hydrique climatique croissante.

Sur la période étudiée, le déficit hydrique observé dans les Hautes-Pyrénées depuis 1991 est de - 30,1 mm par décennie, soit une diminution de - 90,2 mm en 30 ans (NS).

Cette valeur pourrait confirmer le caractère de plus en sec des étés mais elle n'est cependant pas significative. Cela peut s'expliquer par une variabilité interannuelle particulièrement marquée, avec une gamme de valeurs allant de + 177 mm (1992) à - 265 mm (1994), ce qui traduit des étés très différents sur le plan hydrique. A de nombreuses reprises, la différence entre deux années consécutives dépasse 100 voire 150 mm. Cette forte variabilité masque ainsi fortement la tendance, qui est pourtant visible dans d'autres départements (cf. « Stress hydrique pour la vigne »).

Enfin, il est bon de rappeler 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) ce qui implique un paramétrage précis de la réserve utile des sols, et des dynamiques de croissance foliaire des plantes.

A retenir

- ✓ De 1991 à 2021, le déficit hydrique dans les Hautes-Pyrénées n'est pas significatif de mai à août.
- ✓ Cette non-significativité peut s'expliquer par une forte variabilité interannuelle qui pourrait masquer la tendance pourtant présente dans les autres départements étudiés (cf. « Stress hydrique pour la vigne »).

Note statistique : sur ce jeu de données, un test statistique a été appliqué : celui de la régression linéaire.

Pour aller plus loin :

Jacob F., et al. (2018). Les impacts du changement climatique sur l'eau et l'agriculture : une approche par modélisation régionale en France. *La Météorologie*, 101, 51-59.

Lebon E., et al. (2015). Impacts du changement climatique sur la disponibilité en eau et la gestion des ressources en eau. In : Les impacts du changement climatique en France - Édition 2015 (pp. 317-339). Paris : CNRS.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Stress hydrique pour la vigne

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1991 à 2021

🕒 Indicateur

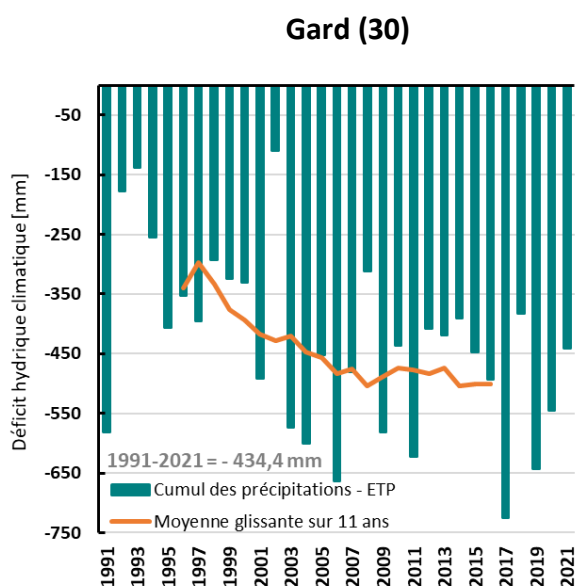
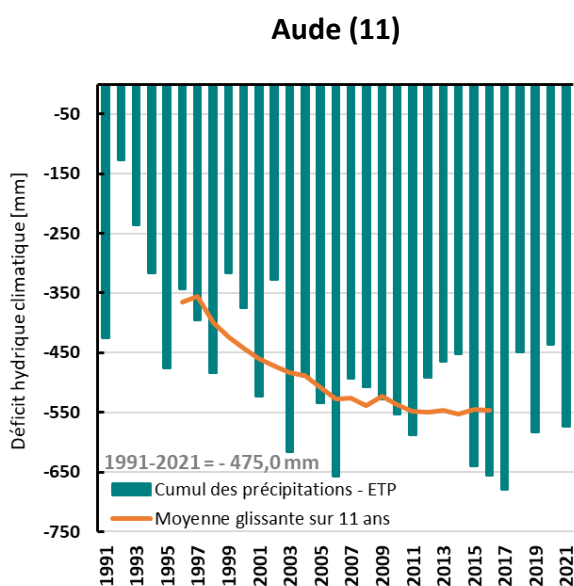
- Aude (11) : 1991 à 2021
- Gard (30) : 1991 à 2021
- Haute-Garonne (31) : 1991 à 2021
- Gers (32) : 1991 à 2021
- Hérault (34) : 1991 à 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

- Cumul saisonnier des précipitations - ETP par maille du 01/04 au 30/09
- L'ÉvapoTranspiration Potentielle provient d'une grille d'environ 12 km (0,125° x 0,125°). L'ETP est obtenue à partir de la formule de Penman au pas décadaire après interpolation spatiale des données observées nécessaires au calcul.
- Moyenne trentenaire du cumul saisonnier des précipitations - ETP : 1992-2021

📈 Évolution observée

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

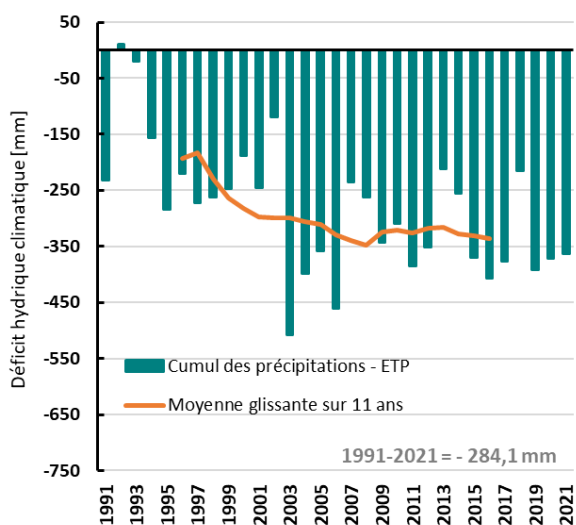


2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE

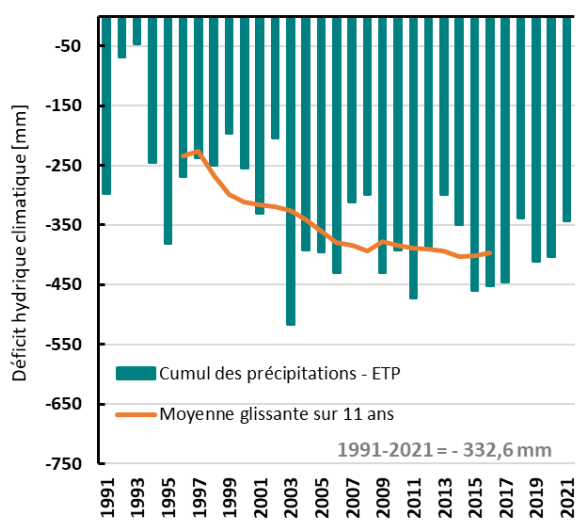


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

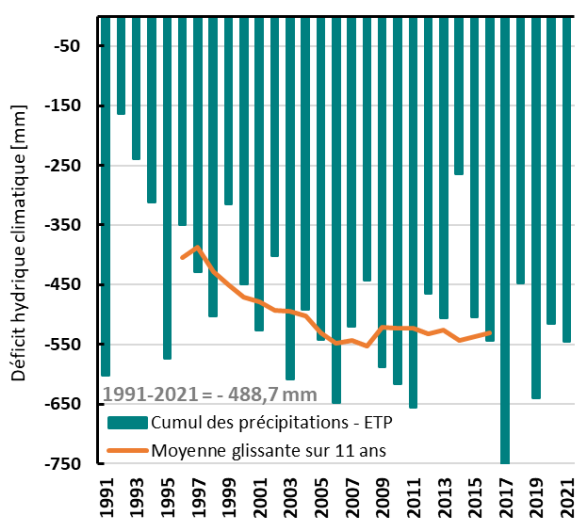
Haute-Garonne (31)



Gers (32)



Hérault (34)



Sur une période donnée (approximativement la période d'irrigation des cultures d'été dans le cas étudié ici), la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle constitue une appréciation du degré de pénurie hydrique dans le climat. Le changement climatique se traduisant par une hausse de l'évapotranspiration (liée à l'accroissement de la température) et – bien que peu nettement jusqu'à présent – par une baisse des précipitations, le déficit hydrique climatique estival a vocation à se renforcer sur le long terme, signal d'une contrainte hydrique climatique croissante.



Or l'Occitanie possède le 1er vignoble national et représente 45% de la production nationale de vins rouges et rosés et 80% des volumes IGP (Agri'scopie, 2021). Pour cette filière, l'adaptation face au changement climatique est donc indispensable.

Sur la période étudiée, le déficit hydrique observé est de :

- - 91,4 mm par décennie, soit - 274,1 mm en 30 ans dans l'Aude (S)
- - 80,0 mm par décennie, soit - 240,0 mm en 30 ans dans le Gard (S)
- - 71,9 mm par décennie, soit - 215,6 mm en 30 ans en Haute-Garonne (S)
- - 76,5 mm par décennie, soit - 229,6 mm en 30 ans dans le Gers (S)
- - 65,9 mm par décennie, soit - 197,7 mm en 30 ans dans l'Hérault (S)

Les bilans hydriques estivaux affichent donc tous une valeur significativement négative. Sans adaptation des vignobles, des répercussions sont donc à attendre. Tout d'abord, le stress hydrique peut réduire la croissance végétative des vignes, ce qui peut avoir un impact sur la photosynthèse, entraînant alors une diminution de la production de sucres nécessaires à la maturation des raisins. Le stress hydrique peut également influencer la qualité des raisins, en diminuant la taille des baies, ou en provoquant une concentration plus élevée en composés phénoliques et une diminution de l'acidité.

En Occitanie, où le climat est souvent caractérisé par des étés chauds et secs, le stress hydrique peut être un défi majeur pour les viticulteurs. La région est déjà confrontée à des épisodes de sécheresse réguliers, et une augmentation du déficit hydrique pourrait aggraver cette situation.

Cette augmentation significative du déficit hydrique souligne ainsi l'impact du changement climatique sur la disponibilité en eau pour la culture de la vigne dans ces départements. Il est donc important de prendre en compte cette contrainte hydrique croissante pour adapter les pratiques viticoles. Cette adaptation peut passer par plusieurs moyens tels que le choix de cépages plus résistants à la sécheresse, l'ajustement des pratiques de taille et la limitation de l'effeuillage et du rognage. Cependant, l'élément clé pour permettre aux viticulteurs de s'adapter à ce stress hydrique est de renforcer leur accès à l'eau. Cela constitue en effet une condition essentielle pour la réalisation des autres pratiques d'adaptation.

A retenir

- ✓ Le déficit hydrique est significativement en hausse dans les départements étudiés sur la période d'avril à septembre.
- ✓ Ce déficit peut impacter la vigne, compromettant la qualité et la productivité des raisins, et obligeant les viticulteurs à adapter leurs pratiques, notamment en renforçant leur accès à l'eau.
- ✓ L'accroissement observé du déficit hydrique estival résulte d'une augmentation de l'évapotranspiration potentielle. Les précipitations estivales ne montrent, elles, aucune évolution statistiquement significative.

2 CHANGEMENT CLIMATIQUE RELU POUR L'AGRICULTURE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Note statistique : sur ce jeu de données, trois tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour aller plus loin :

Dupraz C., et al. (2019). Adaptation au changement climatique dans les systèmes viticoles : étude de cas dans le sud-ouest de la France. Cahiers Agricultures, 28, 17.

Jacob F., et al. (2018). Les impacts du changement climatique sur l'eau et l'agriculture : une approche par modélisation régionale en France. La Météorologie, 101, 51-59.

Lebon E., et al. (2015). Impacts du changement climatique sur la disponibilité en eau et la gestion des ressources en eau. In : Les impacts du changement climatique en France - Édition 2015 (pp. 317-339). Paris : CNRS.



Date de première fauche

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1989 à 2021



Indicateur

- Saint-Girons (09) : 1989 à 2021



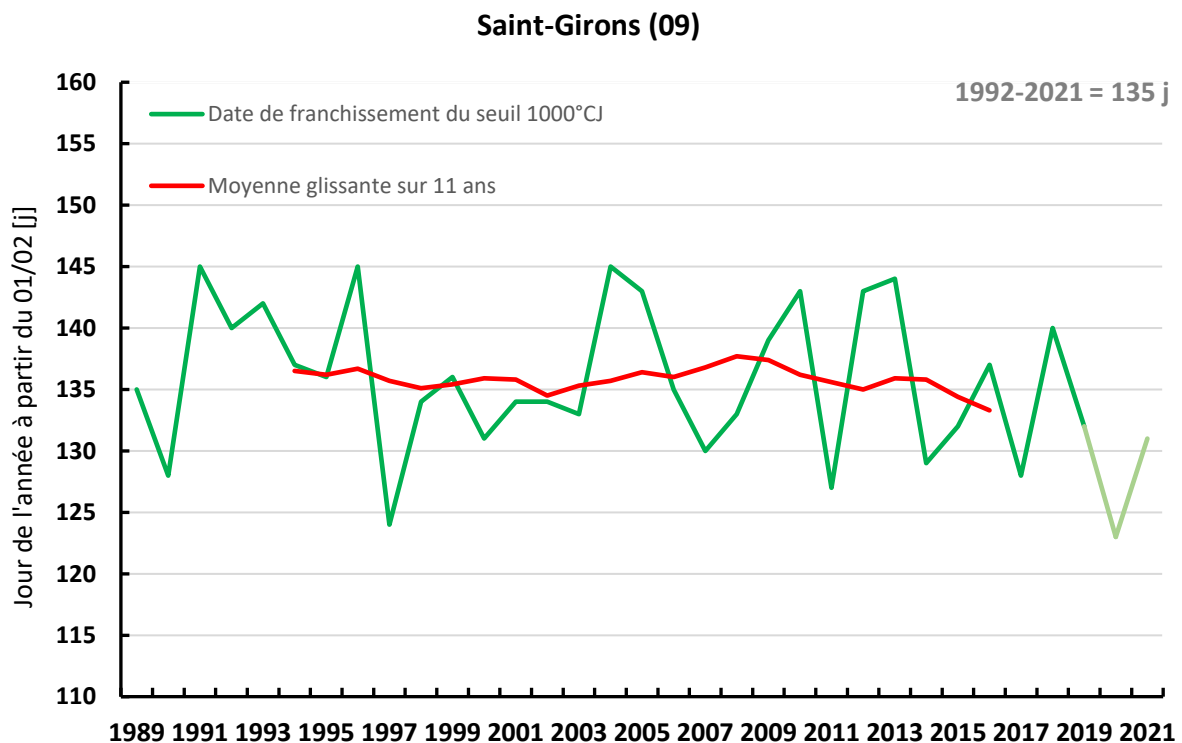
Calcul de l'indicateur

- Date de franchissement (en jours juliens) du seuil de 1000°C jour en base 0°C initialisée au 01/02
- Moyenne trentenaire de la date de franchissement : 1992-2021



Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date de franchissement du seuil 1000°C à partir du 01/02





La date de première fauche est déterminée au moyen de la somme des degrés jours en base 0°C à compter du 01/02 de l'année. Dès que cette somme atteint un seuil (ici défini à 1000°CJ) on estime que la croissance de l'herbe est suffisante pour réaliser la première fauche.

Il a déjà été montré dans la partie précédente que les températures printanières ont augmenté significativement dans toute la région depuis les années 1960 d'en moyenne 0,34°C par décennie (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Cela peut laisser supposer une date de première fauche potentiellement plus précoce puisque la somme de 1000°CJ pourra être atteinte plus rapidement.

L'évolution observée de la date de première fauche pour la station de Saint-Girons depuis 1989 est de - 1,5 jour par décennie (station de Saint-Girons), soit - 4,4 jours plus tôt en 30 ans (NS). Cependant cette évolution n'est pas significative, on ne peut pas conclure de l'effet du changement climatique sur l'avancement de la date de la première fauche. Cette tendance pourrait en effet être due aux conditions météorologiques particulières, ou à une forte hétérogénéité spatiale du réchauffement printanier.

Ce résultat reste cependant étonnant du fait de l'augmentation significative des températures printanières présente sur cette station qui est supérieure à la moyenne de l'Occitanie (+ 0,36°C par décennie pour Saint-Girons contre + 0,34°C pour l'Occitanie), et ce notamment avec les études qui tendent à montrer une augmentation nette de la précocité des prairies (Soussana et al. 2002). Ainsi, il semble que pour cette station, le réchauffement ne soit pas réparti également sur tout le printemps, mais plutôt concentré à la fin de la saison. D'après l'Institut de l'Élevage, ces changements n'entraînent pas nécessairement des évolutions de rendements fourragers. Cependant, le réchauffement de la fin du printemps raccourcit la période de fauche, ce qui rend celle-ci plus complexe à mettre en œuvre.

Attention, l'indicateur observé ici est une simplification de la date de première fauche. En effet, elle ne dépend pas seulement de la température mais également de la portance du sol. Pour cela, une période de 1 à 4 jours sans pluie, selon le type du sol, est nécessaire (ITB, 2012).

A retenir

- ✓ On ne constate pas d'évolution significative de la date de la première fauche, et ce malgré le réchauffement printanier significatif présenté plus haut. Cela pourrait s'expliquer par un réchauffement concentré à la fin de la saison.
- ✓ Le réchauffement du printemps conduit à un raccourcissement de la période de fauche

Note statistique : sur ce jeu de données un test statistique a été réalisé : la régression linéaire.



Pour aller plus loin :

Raynal, D., & Lemaire, G. (2000). La production de fourrages de qualité pour les élevages bovins et ovins en zone herbagère. *Fourrages*, (162), 319-336.

Benot, M. L., Brunschwig, G., & Dumont, B. (2014). Le changement climatique peut-il modifier la date de première fauche des prairies permanentes ?. *Fourrages*, (217), 49-54.

Schmidely, P., Chenu, C., & Bonnemoy, F. (2012). Effets du changement climatique sur la phénologie des prairies permanentes. *Fourrages*, (212), 113-119.



Rendement du blé tendre

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE de 1989 à 2021

🕒 Indicateur

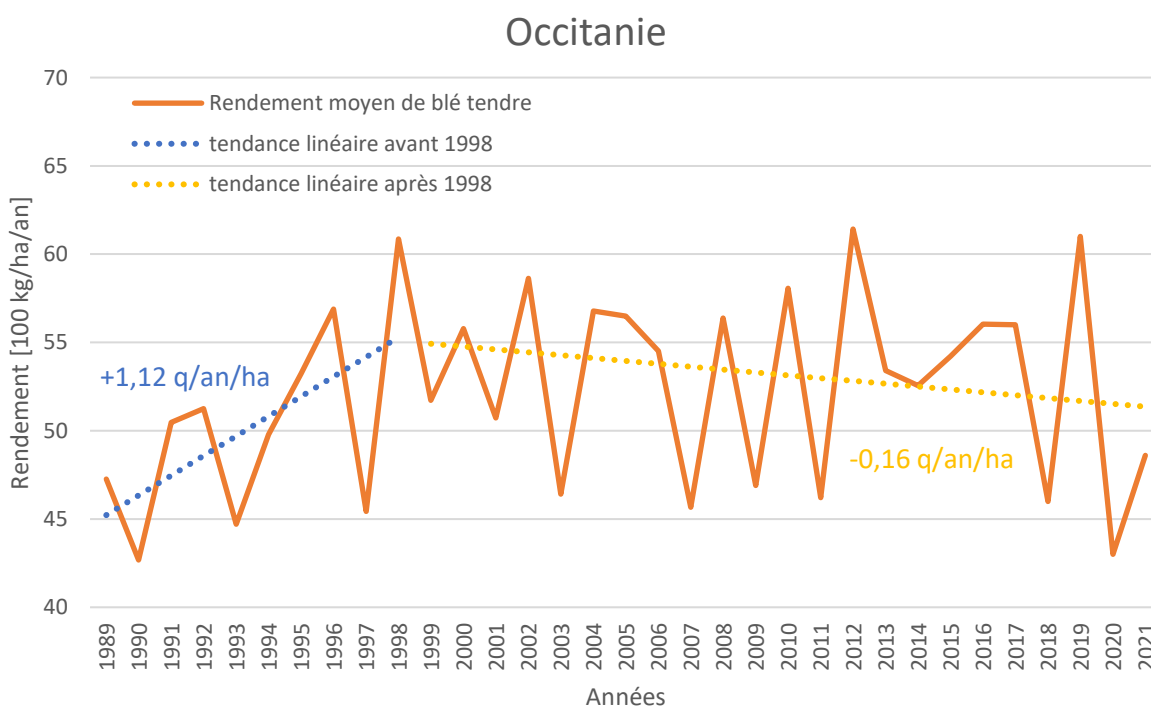
- Occitanie : 1989 à 2021
- Aveyron, Haute-Garonne, Gers, Tarn, Tarn-et-Garonne : 1989 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Rendement moyen annuel du blé tendre

📈 Evolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Rendement du blé tendre [100 kg/ha]



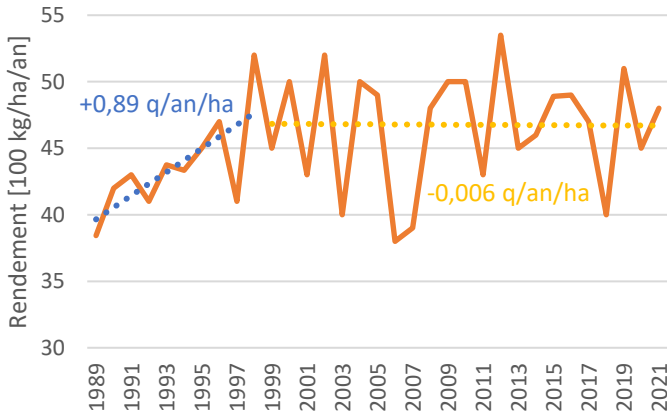
3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

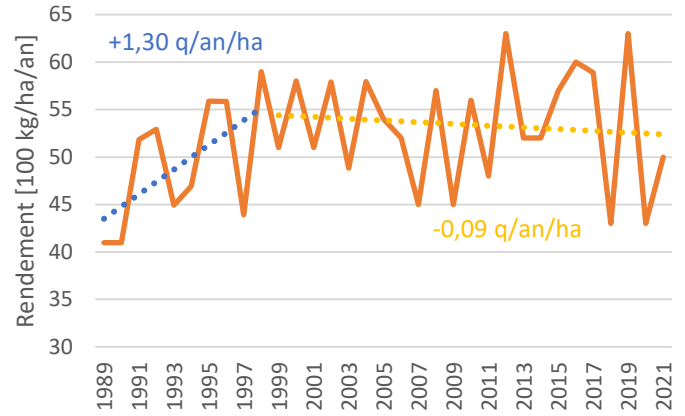


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

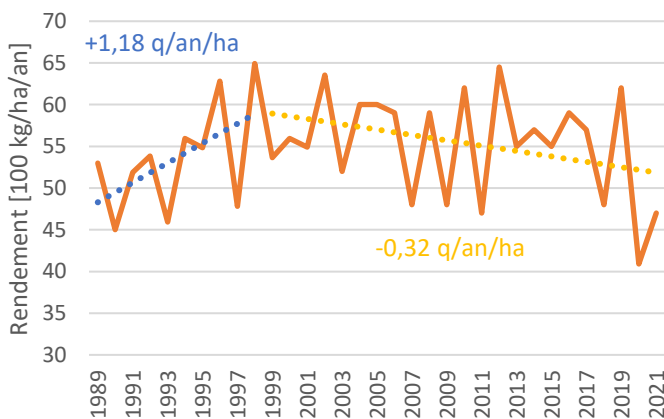
Aveyron



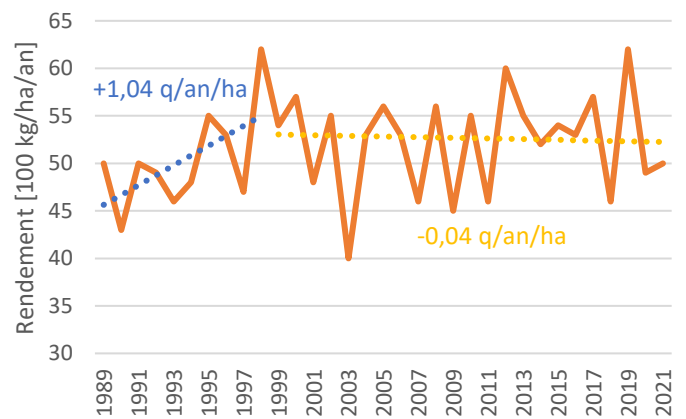
Haute-Garonne



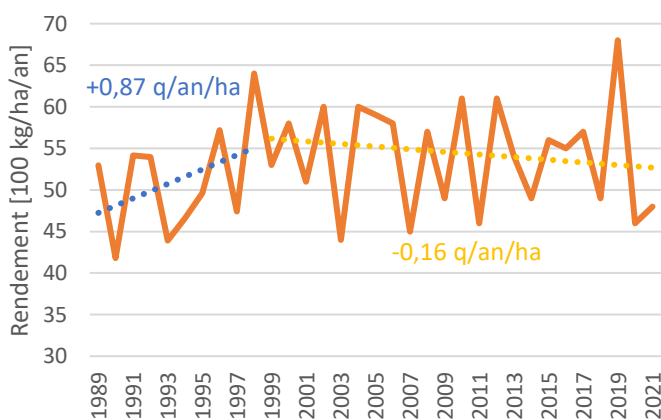
Gers



Tarn



Tarn-et-Garonne





Analyse

Analyse des tendances linéaires sur les périodes 1989 - 1998 et 1998 - 2021 :

	Avant 1998	Après 1998
Occitanie	+ 1,12 (NS)	- 0,16 (NS)
Aveyron (12)	+ 0,89 (S)	- 0,006 (NS)
Haute-Garonne (31)	+ 1,3 (NS)	- 0,09 (NS)
Gers (32)	+ 1,18 (NS)	- 0,32 (NS)
Tarn (81)	+ 1,04 (NS)	- 0,04 (NS)
Tarn-et-Garonne (82)	+ 0,87 (NS)	- 0,16 (NS)

Evolution en q/ha par année (S = significatif ; NS = Non significatif)

L'évolution des rendements de blé tendre a été observée dans tous les départements d'Occitanie depuis 1989. Le rendement moyen de la région est assez faible. Il est de 52,9 q/ha lors des 20 dernières années en Occitanie contre 71,4 q/ha en France. Les dynamiques sont néanmoins très similaires sur tout le territoire français où deux périodes se distinguent :

- D'abord une phase d'augmentation des rendements de 1989 jusqu'en 1998. Cette augmentation est due aux progrès techniques et génétiques, et à la mécanisation des exploitations.
- Puis une seconde phase, de 1998 à 2021 où l'on assiste à une stagnation des rendements.

Numériquement, cela se traduit par des coefficients directeurs très différents pour les deux régressions linéaires. Ainsi pour la moyenne régionale on obtient :

- Une augmentation de + 1,12 q/ha/an de 1989 à 1998, ce qui correspond à la progression moyenne nationale sur cette période.
- Une stagnation de - 0,16 q/ha/an de 1998 à 2020, correspondant à la seconde phase décrite précédemment.

On observe des résultats très similaires dans les 5 départements concentrant 90% de la production de blé tendre de la région. Ces tendances ne sont cependant pas significatives, puisque les p-value sont grandes. Cela est dû à un manque de profondeur des données (seulement 9 ans avant 1998), et à de très fortes variations interannuelles. Ces fortes variations peuvent alors masquer les effets des adaptations de pratiques.



Cette dynamique en deux temps se retrouve dans toute la France, et même dans d'autres pays d'Europe. Les ORACLE des régions de Bretagne, Centre-Val de Loire, Grand Est, Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine présentent des courbes similaires à celles présentées ci-dessus.

Une équipe de chercheurs menée par Nadine Brisson a apporté des explications nationales à ce phénomène (N. Brisson et al., 2010). Ils ont tout d'abord remarqué que la hausse des rendements due à l'amélioration variétale s'est maintenue depuis 1989, à un niveau compris entre +1,0 et +1,2 q/ha/an. Les progrès génétiques ne sont donc pas en cause dans cette stagnation. Cela signifie que d'autres mécanismes entraînant ces baisses sont à l'œuvre :

- Il a été observé des changements de pratiques culturales. Le colza a eu tendance à remplacer les légumineuses dans les rotations culturales (cf. fiche : « Surface en légumineuses en grandes cultures et prairies artificielles »). Cela a provoqué une diminution des rendements de blé tendre de l'ordre de - 0,35 q/ha/an. C'est une première cause de stagnation, mais elle n'est pas suffisante pour compenser l'amélioration variétale constatée.
- Les chercheurs ont noté une baisse dans la fertilisation azotée du blé entre les années 2000 à 2007 du fait de l'application de la Directive Nitrates. La perte de rendement associée à cette diminution des engrais est néanmoins faible car en bonne partie compensée par le fractionnement des apports de nitrates qui permet une meilleure efficacité des fertilisants. La baisse due à ce phénomène est estimée autour de - 0,1 q/ha/an.
- Les deux explications précédentes n'expliquent même pas la moitié de la baisse de rendement. Le dernier facteur est donc celui ayant le plus d'impact sur les rendements du blé. Il s'agit du changement climatique.

Le changement climatique impacte les rendements de blé tendre via deux mécanismes, l'augmentation des jours échaudants durant le remplissage des grains (cf. fiche : « Jours échaudants au printemps ») et l'augmentation du stress hydrique durant la période d'élongation de la tige.

Le dernier phénomène marquant sur l'ensemble des graphes est l'immense variabilité interannuelle du rendement. Ainsi, il n'est pas rare d'observer une différence de rendement de l'ordre de 20 q/ha sur deux années consécutives. Cette variabilité est essentiellement due aux grandes variations climatiques.

A retenir

- ✓ Les rendements de culture du blé tendre sont en stagnation en Occitanie depuis la fin des années 1990 malgré une amélioration génétique continue. Trois facteurs de baisses ont été identifiés. Le plus important est le changement climatique via l'échaudage thermique pendant le remplissage des grains et le stress hydrique durant l'élongation de la tige. Les deux autres facteurs sont un changement des rotations culturales et une baisse de la fertilisation azotée.
- ✓ Le changement climatique entraîne aussi une grande variabilité interannuelle des rendements, rendant tout prévisionnel très incertain.



Note statistique : ce jeu de données a été traité par régression linéaire.

Pour en savoir plus :

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

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



Rendement du blé dur

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE 1989 à 2021

🕒 Indicateur

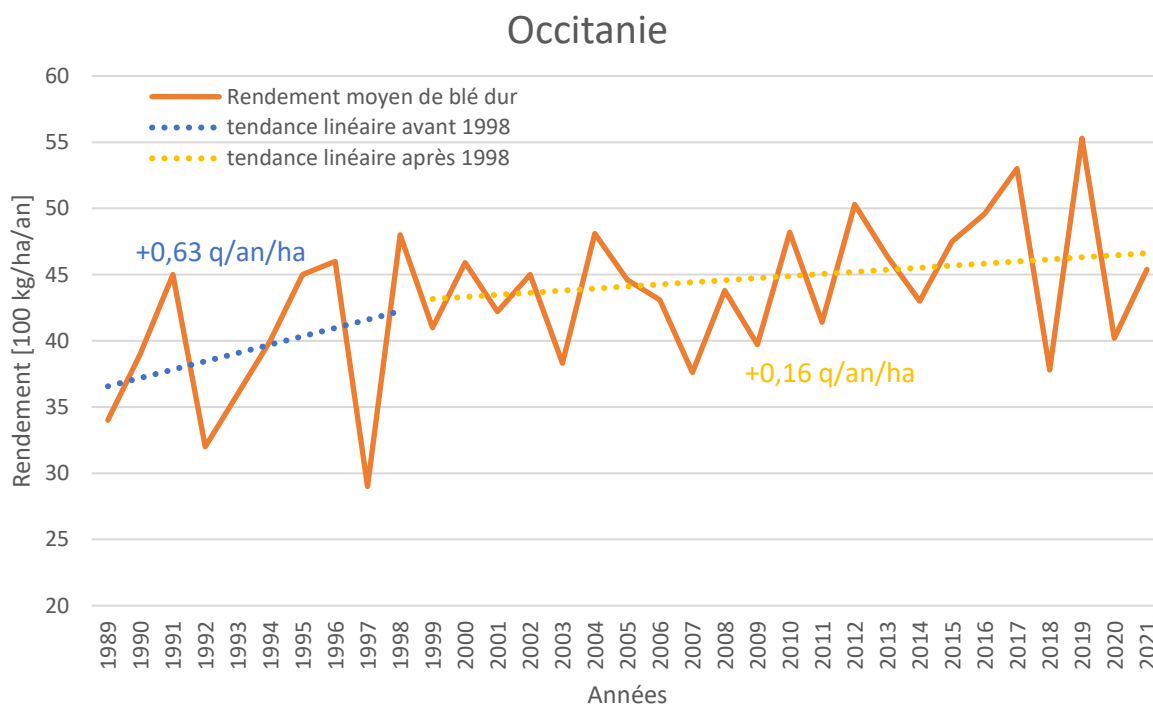
- Occitanie : 1989 à 2021
- Aude, Gard, Haute-Garonne, Gers, Hérault : 1989 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Rendement moyen annuel du blé dur

📈 Evolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Rendement du blé dur [q/ha]

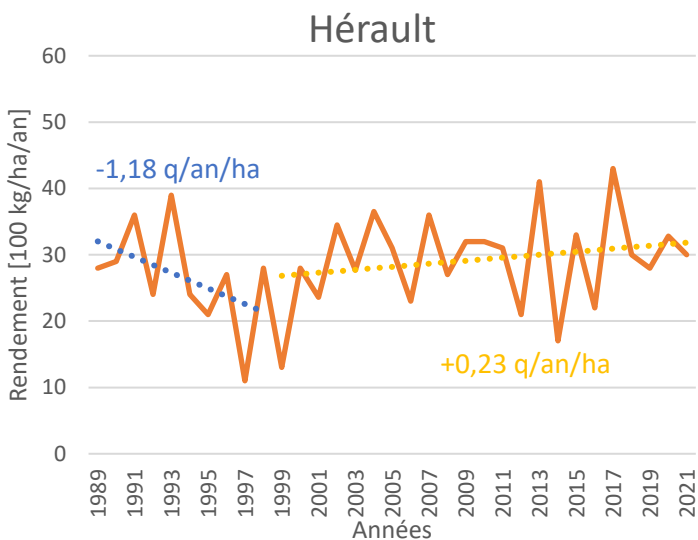
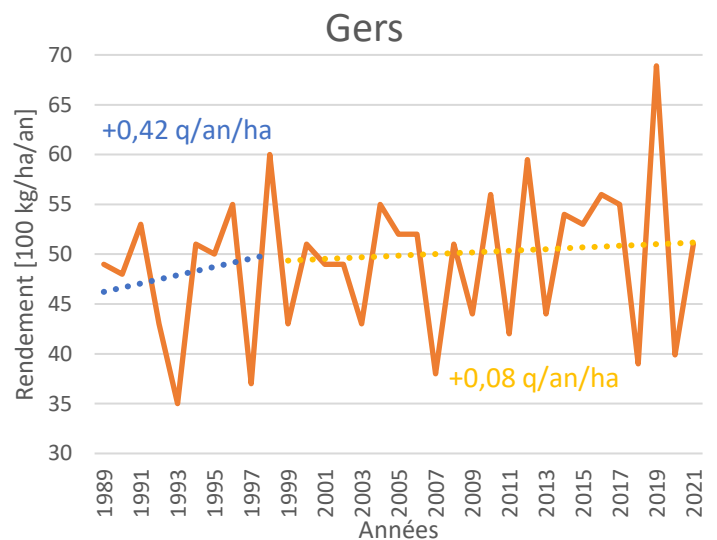
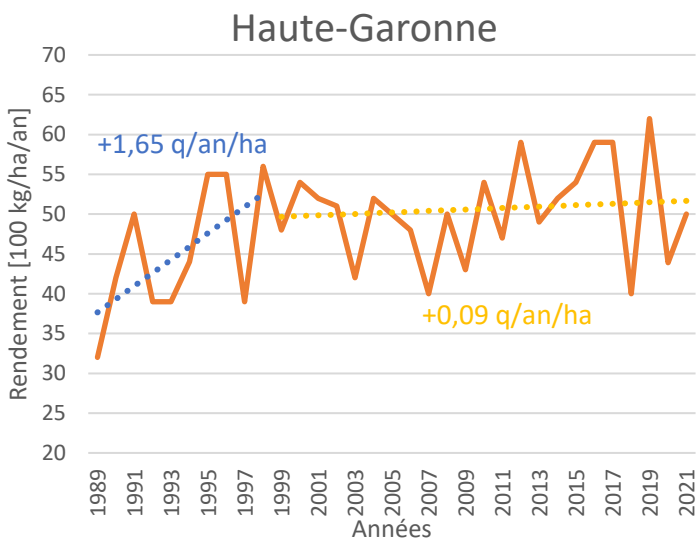
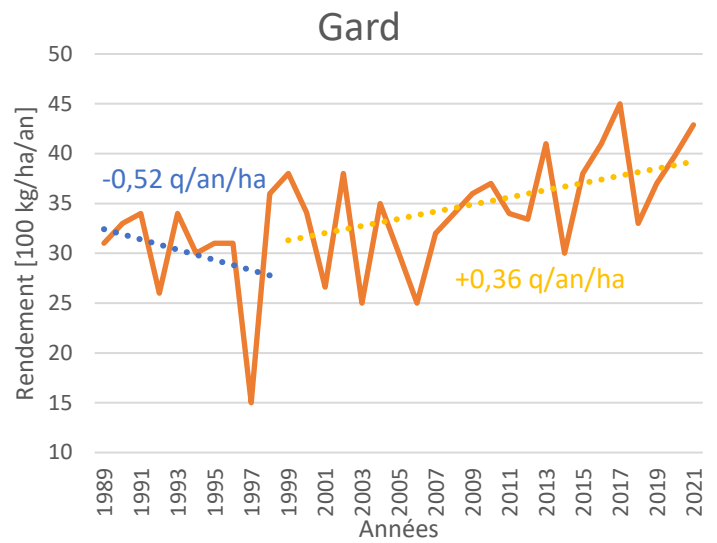
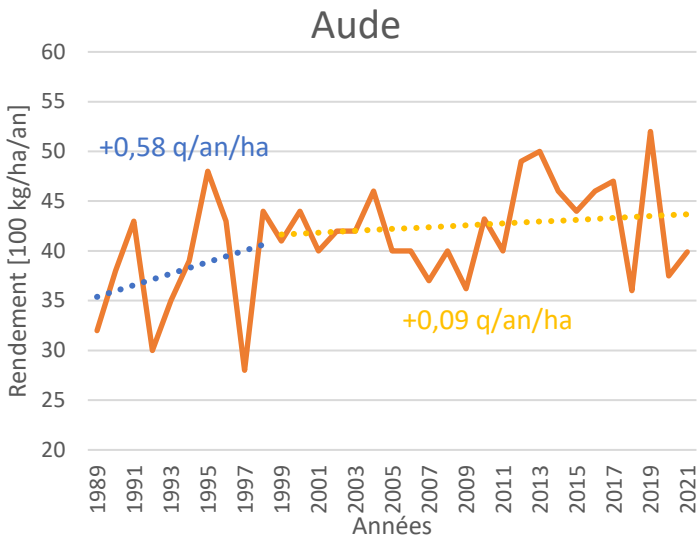


3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE





Analyse

En Occitanie, la hausse du rendement est visible avec une hausse significative (**) :

- + 2,9 q/ha par décennie soit + 9,4 q/ha en 32 ans.

Au sein des départements, l'évolution des rendements est également visible. L'Aude, le Gard et la Haute-Garonne affichent une tendance significative avec une augmentation de :

- +2,3 q/ha par décennie dans l'Aude et une moyenne ces 32 dernières années de 41,2 q/ha
- +3,2 q/ha par décennie dans le Gard et une moyenne ces 32 dernières années de 33,5 q/ha
- +3,1 q/ha par décennie en Haute-Garonne et une moyenne ces 32 dernières années de 48,8 q/ha

Les départements qui se démarquent sont le Gers et l'Hérault puisqu'aucune tendance n'a pu être mise en évidence. Ces départements enregistrent des moyennes sur 32 ans de :

- 49,3 q/ha dans le Gers
- 28,5 q/ha dans l'Hérault

Les rendements du blé dur, comme pour le blé tendre, n'ont cessé d'augmenter jusque dans les années 90 où la hausse s'est amoindrie jusqu'à atteindre un plafonnement qu'il est possible d'observer ici. Le progrès génétique continue mais ne s'exprime plus pour plusieurs raisons, qui lient agronomie (rotation, fertilisation), politique et économie mais surtout le changement climatique. Considéré comme à 70% responsable, le changement climatique se traduit par la hausse de la température, l'augmentation des épisodes caniculaires et des sécheresses que le blé subit de plus en plus fréquemment. Cela impacte ainsi les rendements du blé via le remplissage des grains affecté par les jours chauds (cf. fiche : « Jours échaudants au printemps ») et l'élongation de la tige affectée par le stress hydrique (Brisson *et al.*, 2010).

A retenir

- ✓ A l'échelle de la région, deux comportements sont visibles : une faible hausse des rendements (Aude, Gard, Haute-Garonne) ou un plafonnement (Gers, Hérault). Dans les deux cas, les rendements présentent une grande variabilité interannuelle.
- ✓ Le ralentissement de la hausse des rendements qui a pu mener à un plafonnement s'explique majoritairement par les conséquences du changement climatique que l'on peut caractériser par des événements climatiques extrêmes plus fréquents et plus intenses.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés, celui de la régression linéaire et le test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall.



Pour en savoir plus :

Brisson, N. *et al.* (2010) 'Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France', *Field Crops Research*, 119(1), pp. 201–212. doi:[10.1016/j.fcr.2010.07.012](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.012).

Frontout, Y. (2018) *S'adapter au changement climatique en grandes cultures*, *Terre-net*. Disponible sur : <https://www.terre-net.fr/meteo-agricole/article/anticipation-et-souplesse-les-maitres-mots-face-au-changement-climatique-2179-138897.html>



Rendement du maïs grain

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE de 1989 à 2021

🕒 Indicateur

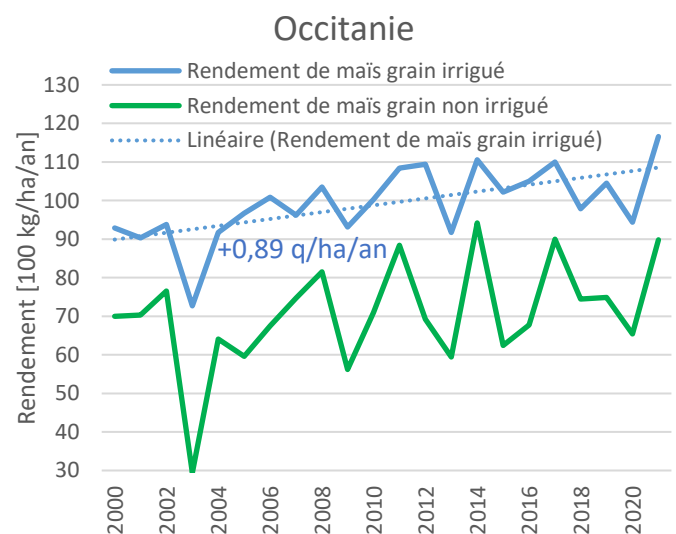
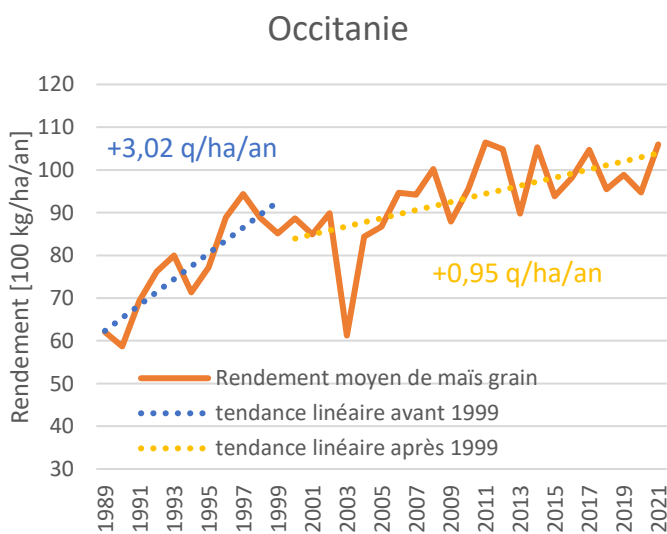
- Occitanie : 1989 à 2021 rendements cumulés en irrigué et non irrigué, 2000 à 2021 rendements en irrigué et non irrigué séparés
- Dans les départements : rendements cumulés en irrigué et non irrigué
 - Haute-Garonne : 1989 à 2021
 - Gers : 1989 à 2021
 - Hautes-Pyrénées : 1989 à 2021
 - Tarn : 1989 à 2021
 - Tarn-et-Garonne : 1989 à 2021

📊 Calcul de l'indicateur

- Rendement moyen annuel du maïs grain

📈 Evolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Rendement du maïs grain [100kg/ha]



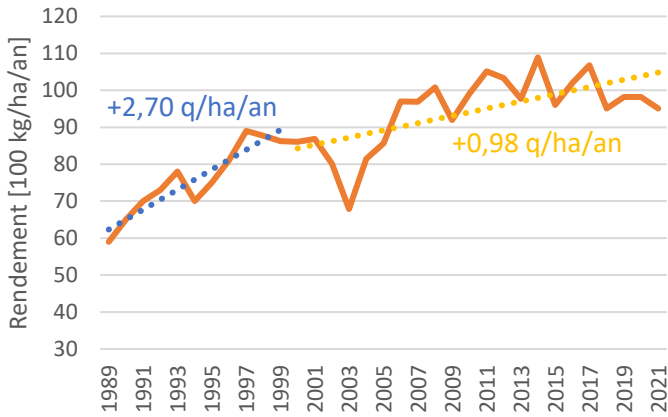
3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

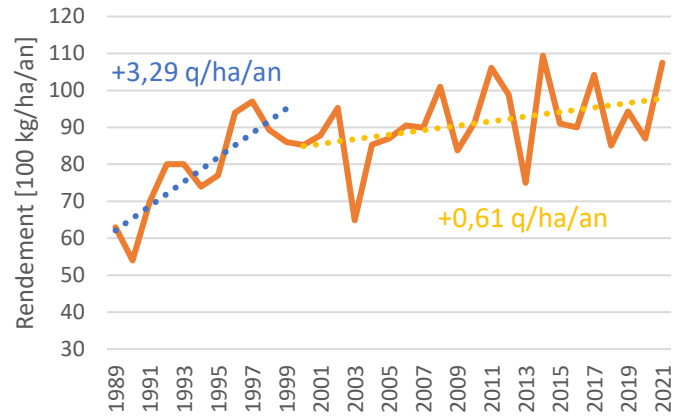


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

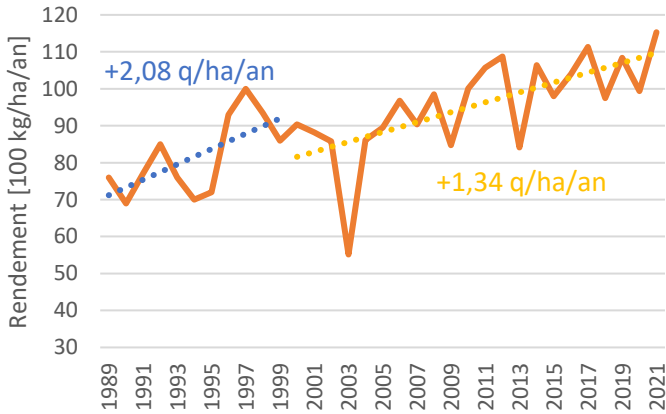
Haute-Garonne



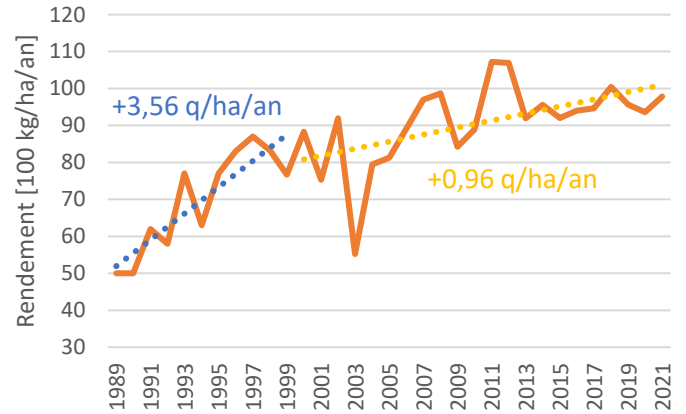
Gers



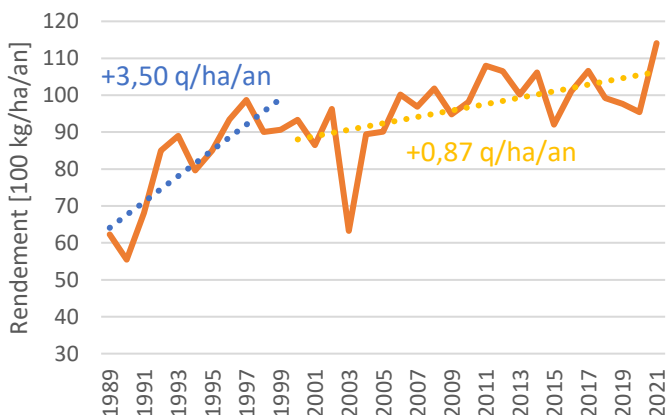
Hautes-Pyrénées



Tarn



Tarn-et-Garonne





Analyse

Analyse des tendances linéaires des rendements sur les périodes 1989 - 1999 et 1999 - 2021 :

	Avant 1999	Après 1999
Occitanie	+ 3,02 (S)	+ 0,95 (S)
Haute-Garonne (31)	+ 2,70 (S)	+ 0,98 (S)
Gers (32)	+ 3,29 (S)	+ 0,61 (NS)
Hautes-Pyrénées (65)	+ 2,08 (S)	+ 1,34 (S)
Tarn (81)	+ 3,56 (S)	+ 0,96 (S)
Tarn-et-Garonne (82)	+ 3,50 (S)	+ 0,87 (S)

Analyse des tendances linéaires des rendements en Occitanie, irrigués ou non sur la période 2000 – 2021 :

	Tendance 2000-2020	Valeur moyenne sur la période
Irrigué	+ 0,89 (S)	99,2 q/ha
Non-irrigué	+ 0,81 (NS)	70,8 q/ha

Evolution en q/ha par année (S = significatif ; NS = Non significatif)

L'évolution des rendements de maïs grain a été observée dans la région Occitanie depuis 1989. Deux périodes se distinguent :

- D'abord une phase d'augmentation importante des rendements de 1989 jusqu'en 1999. Cette augmentation est due aux progrès techniques et génétiques, et à la mécanisation des exploitations.
- Puis une seconde phase, de 1999 à 2021, où l'on assiste aussi à une augmentation des rendements, mais de façon beaucoup plus modeste.



Numériquement, cela se traduit sur la région par des coefficients directs différents pour les deux régressions linéaires. Ainsi on obtient :

- Une augmentation très importante de + 3,02 q/ha/an de 1989 à 1999, ce qui correspond au double de la progression moyenne nationale sur cette période (+ 1,45 q/ha/an).
- Une augmentation plus faible de + 0,95 q/ha/an de 1999 à 2021, à nouveau bien supérieure à la croissance nationale sur cette période (+ 0,35 q/ha/an pour la France).

Ces deux tendances régionales sont très significatives (p -value < 0,01) malgré une profondeur de données limitée. On retrouve des tendances très similaires dans les 5 départements concentrant plus de 90% de la production régionale (voir tableau ci-dessus).

Le deuxième graphique illustre les effets de l'irrigation sur les rendements de maïs grain. Durant les 20 ans de suivi, les surfaces de maïs grain cultivées ont diminué mais la proportion de ces surfaces irriguées est restée stable, autour de 75%. On note deux effets principaux :

- Un rendement moyen supérieur de presque 30 q/ha pour les surfaces irriguées.
- Des variations interannuelles nettement moins marquées pour les surfaces irriguées.

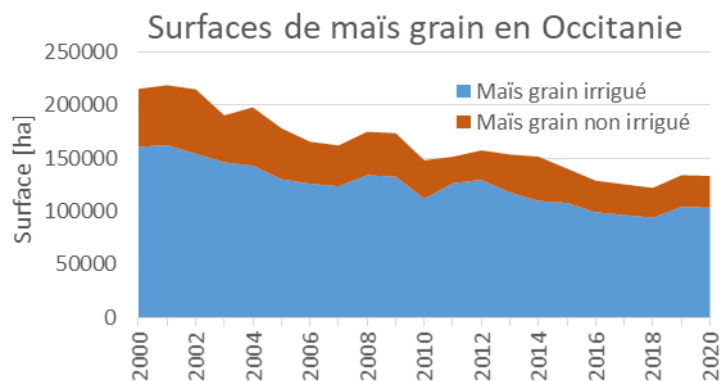
Ainsi, l'irrigation est un moyen d'assurer un rendement correct même dans les années les plus rudes.

Globalement, bien que la hausse de rendement soit encore significative depuis 1999, elle est désormais en dessous de l'accroissement génétique qui est de l'ordre de 1,2 q/ha/an en France depuis 1986 (Lorgeou et al, 2019). En effet, avant 1999, l'augmentation du rendement était bien supérieure à l'accroissement génétique du fait des progrès techniques et du développement de l'irrigation. La baisse de l'augmentation de rendement dans les années 2000 est due d'une part à un progrès technique de moins en moins important et au changement climatique. Le réchauffement climatique a pu d'abord être un avantage pour les cultures de maïs en permettant d'utiliser des variétés plus tardives (Brisson & Levrault, 2010), mais il pose aujourd'hui des problèmes. Les hausses de chaleurs sans augmentation des précipitations (cf fiches « Température moyenne saisonnière », « Cumul saisonnier des précipitations ») mènent à une augmentation de l'ETP qui conduit à un stress hydrique important. Les pics de chaleurs provoquent aussi des phénomènes d'échaudage thermique durant les moments critiques de la croissance du maïs, créant ainsi des pertes comme lors de la canicule de 2003 où le rendement a chuté de 20 q/ha/an. Ce phénomène se retrouve dans une moindre mesure l'année 2013, sans que tous les départements soient autant affectés.

Durant les 20 dernières années, les surfaces de maïs cultivées en Occitanie sont passées de 215 000 ha à 134 000 ha. Cette diminution du nombre de maïsiculteur a sélectionné ceux qui obtenaient les meilleurs rendements. Cela explique une part de la hausse de rendement de ces 20 dernières années.



L'évolution des surfaces cultivées en maïs grain en Occitanie :



Enfin, il existe des pistes d'adaptations à travailler pour contrebalancer ces effets négatifs, comme l'utilisation de variétés plus résistantes à la sécheresse, et des conduites de cultures plus précoces pour éviter les périodes les plus chaudes durant la croissance de l'épi.

A retenir :

Les rendements de culture du maïs grain sont en hausse modérée en Occitanie depuis le début des années 2000 malgré une amélioration génétique plus importante et continue. Le changement climatique est l'un des facteurs importants de cette réduction, via l'échaudage thermique et le stress hydrique durant la croissance de la tige et de l'épi. Cette baisse est très visible durant les années de canicule comme 2003 et 2013. Les pistes d'adaptations sont principalement l'amélioration génétique et la précocité de la conduite culturale. L'irrigation est aussi un moyen efficace de garantir de bons rendements malgré le contexte climatique, mais le contexte de l'accès et la disponibilité de la ressource en eau reste une question prégnante.

Note statistique : ce jeu de données a été traité par régression linéaire.

Pour en savoir plus :

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

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

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



Rendement des fourrages

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE de 2000 à 2020

🕒 Indicateur

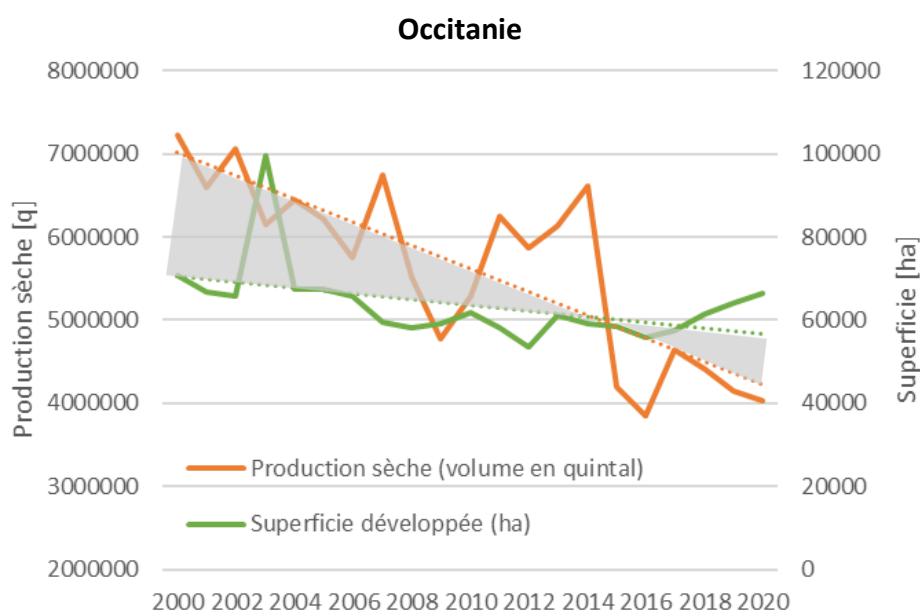
- Occitanie et tous les départements d'Occitanie, de 2000 à 2020

📊 Calcul de l'indicateur

- Evolution du volume annuel de la production sèche des fourrages en quintal

📈 Evolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée principale : Volume de la production sèche de fourrages en quintal
- En ordonnée secondaire : Surface développée pour les fourrages en hectare



Préambule

La production sèche de fourrages désigne la quantité totale de matière végétale récoltée dans le but d'être utilisée comme alimentation pour le bétail, une fois qu'elle a subi un processus de séchage pour réduire sa teneur en eau. Les fourrages peuvent inclure différentes cultures. Ici est seulement représentée l'évolution des fourrages annuels (donc le maïs fourrage et ensilage et les autres fourrages annuels). Les données analysées ne comprennent pas les



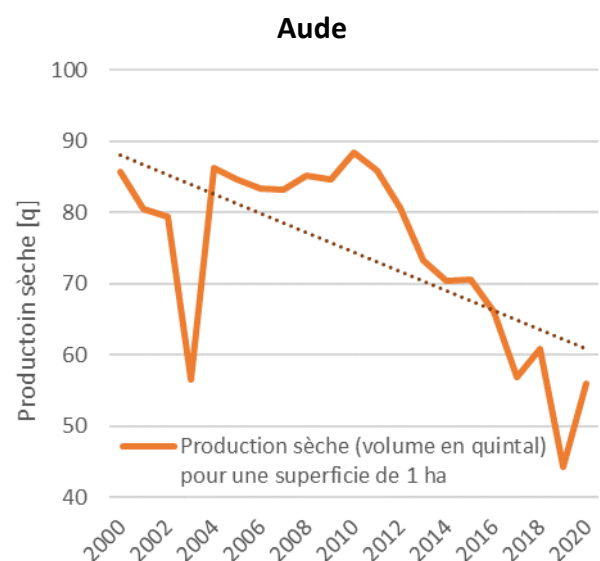
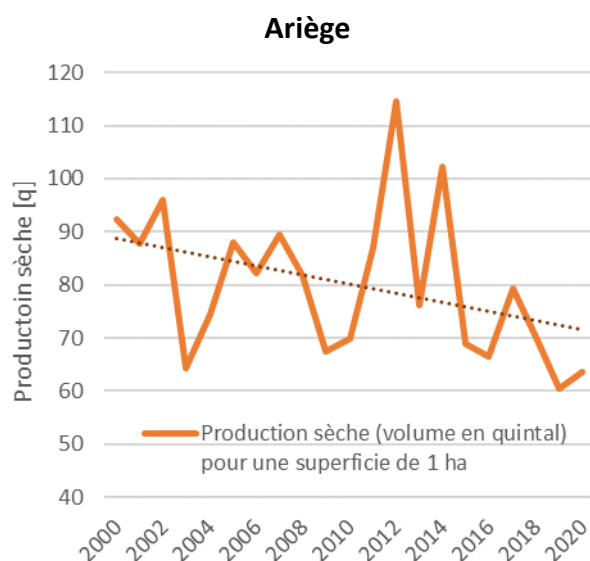
prairies non permanentes et les surfaces toujours en herbe (comme par exemple, les prairies artificielles de luzerne ou de trèfle).

Le graphique ci-dessus représente l'évolution de la production sèche de fourrages (courbe orange) et l'évolution des surfaces de production de fourrages (courbe verte) entre 2000 et 2020 en Occitanie. Ce graphique montre ainsi que la production sèche de fourrages diminue au fil des décennies, tout comme la superficie dédiée à cette production. Dans les départements d'Occitanie, on constate ainsi une augmentation de ces deux paramètres pour le Gard, l'Hérault, la Lozère et les Pyrénées-Orientales, et une diminution pour tous les autres départements.

Or, cela ne permet pas de voir l'impact réel du changement climatique sur cette production car la production reste fortement liée à l'évolution des surfaces. Il est quand même possible d'observer cet impact sur le graphique ci-dessus en regardant l'écart entre les deux courbes (parties grisées) : en effet, même si le volume de production et la surface diminuent tous les deux, le volume de production diminue cependant plus vite que la surface utilisée. Ainsi, même si l'évolution de la production de fourrages reste fortement liée à l'évolution des surfaces de production, le changement climatique vient néanmoins accentuer les tendances de production.

Ce que l'on cherche à observer ici, au-delà de la production de fourrages en fonction des surfaces, c'est donc est-ce que le changement climatique a un impact sur ce rendement de fourrages. La production de chaque département a ainsi été ramenée à une surface constante de 1 hectare.

Les graphiques ci-dessous ont ainsi été faits afin d'étudier l'impact du changement climatique sur cette production sans que les tendances soient faussées par l'évolution des surfaces. Ils représentent l'évolution de la production sèche de fourrages en quintal sur 20 ans (2000-2020) pour une superficie de production constante de 1 hectare.

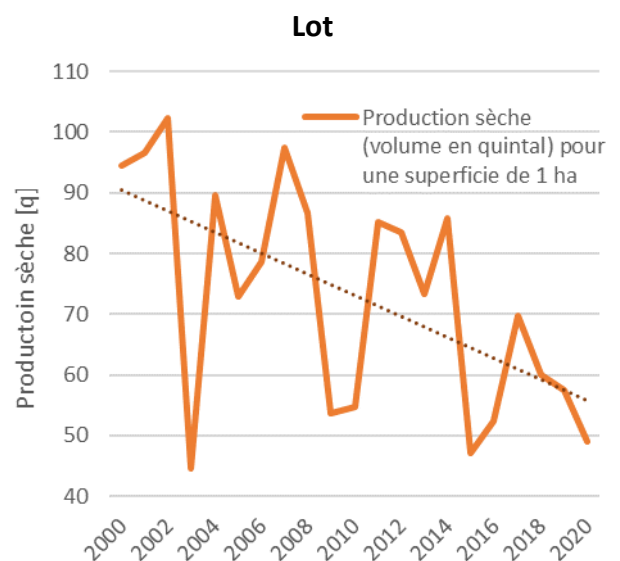
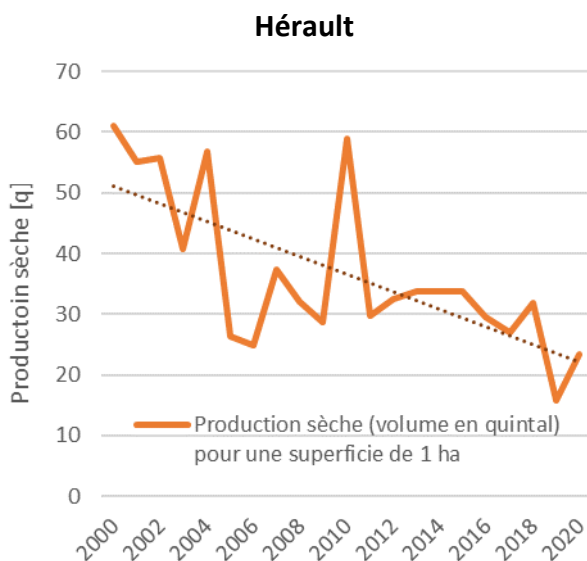
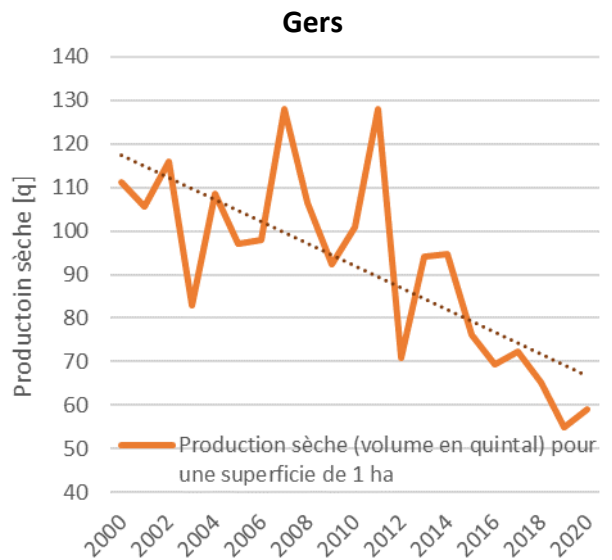
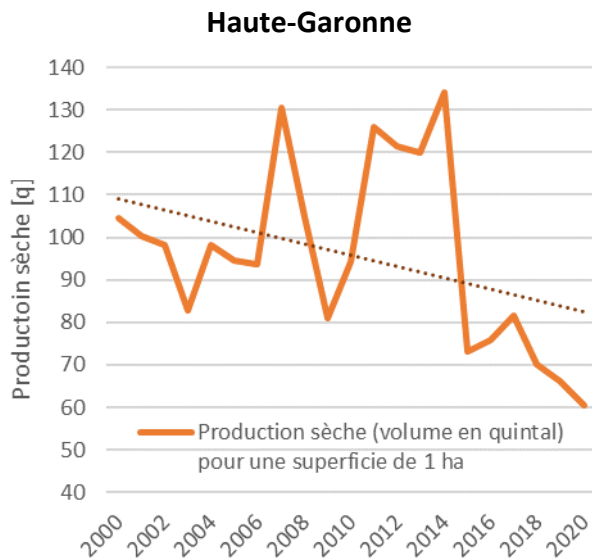
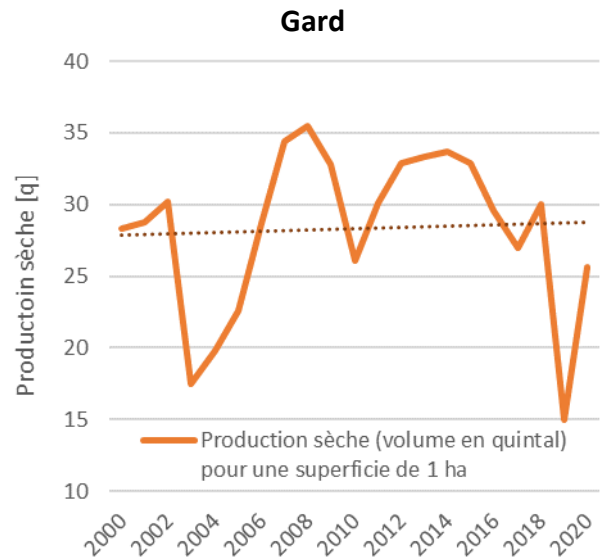
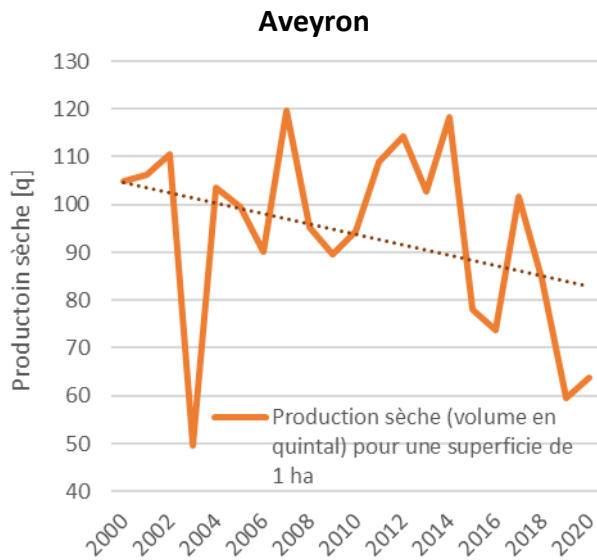


3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE



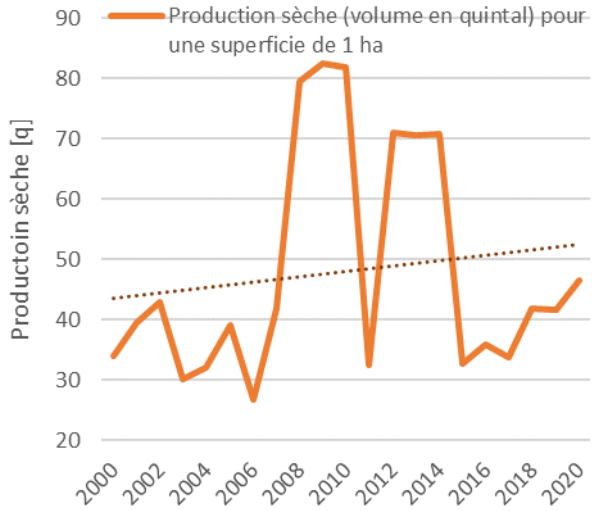
3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

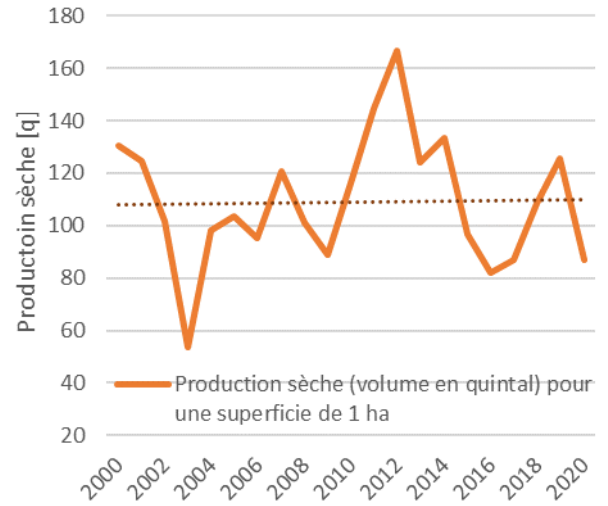


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

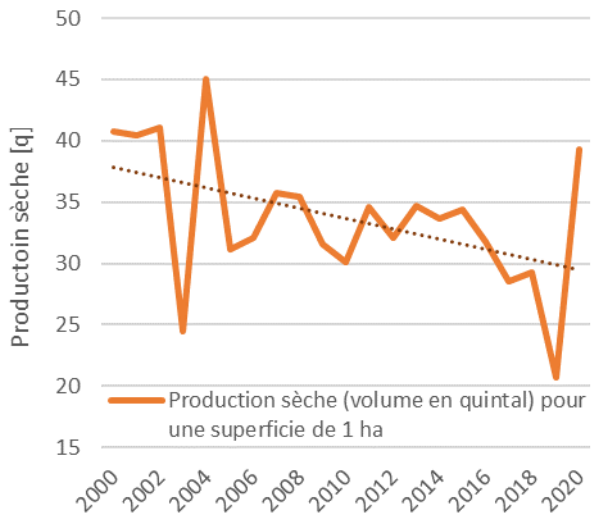
Lozère



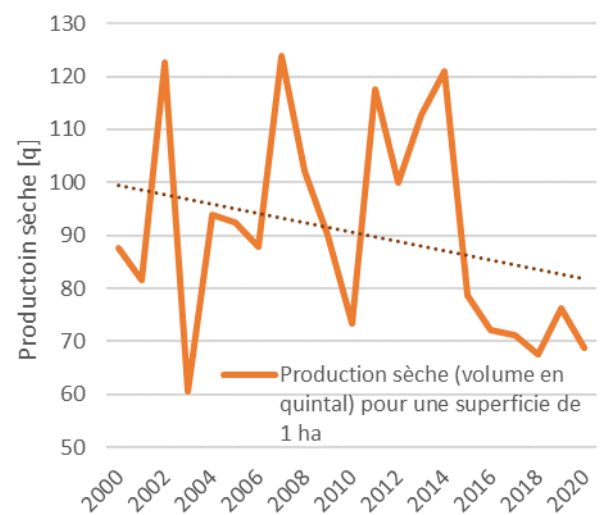
Hautes-Pyrénées



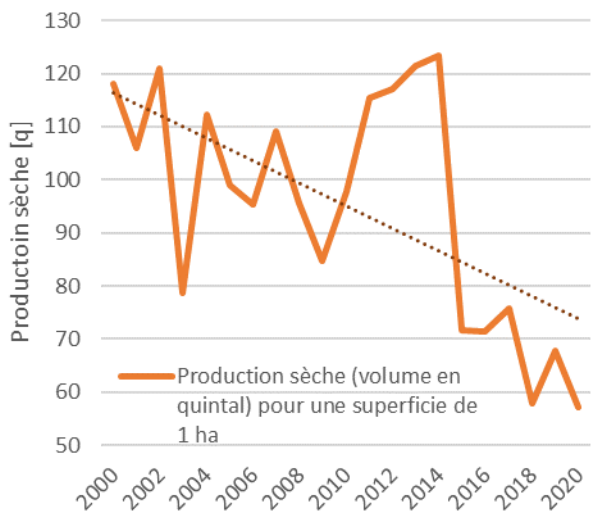
Pyrénées-Orientales



Tarn



Tarn-et-Garonne





Analyse

Analyse de la tendance du volume annuel de la production sèche de fourrages pour une superficie de production constante de 1 hectare sur la période 2000 - 2020 des 13 départements d'Occitanie :

	Evolution moyenne par décennie	Significativité des données
Ariège	- 8 q/ha	<i>Non significatif</i>
Aude	- 14 q/ha	Significatif
Aveyron	- 11 q/ha	<i>Non significatif</i>
Gard	+ 0,4 q/ha	<i>Non significatif</i>
Haute-Garonne	- 13 q/ha	Significatif
Gers	- 25 q/ha	Significatif
Hérault	- 15 q/ha	Significatif
Lot	- 17 q/ha	Significatif
Lozère	+ 5 q/ha	<i>Non significatif</i>
Hautes-Pyrénées	+ 1 q/ha	<i>Non significatif</i>
Pyrénées-Orientales	- 4 q/ha	Significatif
Tarn	- 9 q/ha	<i>Non significatif</i>
Tarn-et-Garonne	- 21 q/ha	Significatif

On observe ainsi que 7 départements d'Occitanie ont une évolution significative de leur production de fourrages. Or, tous ces départements montrent une diminution de leur production, cette fois-ci indépendante de l'évolution des surfaces. On peut notamment citer le Gers qui a vu en 20 ans sa production sèche de fourrages diminuer de 51 quintaux/ha. Etudier l'évolution de cette production avec une superficie de production fixe permet donc de montrer l'effet négatif du changement climatique sur la production sèche de fourrages.

Or, les systèmes d'élevage, basés sur l'exploitation de l'herbe, sont directement dépendants des effets du climat qui déterminent la constitution des stocks fourragers (Lemaire et Pfimlin, 2007). Cette filière devra donc nécessairement adapter non seulement la conduite des prairies (fertilisation notamment) mais aussi l'exploitation, avec une plus grande diversification de la



production fourragère (autres espèces herbacées, légumineuses, sorgho...), afin d'assurer une production suffisante compte tenu de l'évolution climatique (Ruget et al., 2012).

Il serait également intéressant de prendre en compte dans cette analyse le facteur de la diminution de la population de bétail en Occitanie

A retenir

- ✓ En Occitanie, la production sèche de fourrages diminue au fil des décennies.
- ✓ Cette évolution reste cependant fortement liée à l'évolution des surfaces de production, l'impact du changement climatique n'étant visible que dans la vitesse de diminution de la production sèche de fourrages.
- ✓ Si l'on s'affranchit de l'évolution des surfaces de production, 7 départements sur 13 montrent alors une diminution significative de la production sèche des fourrages entre 2000 et 2020.
- ✓ Cette diminution de la production oblige les systèmes d'élevage à s'adapter, notamment en diversifiant leurs fourrages pour assurer une production suffisante.

Note statistique : sur ce jeu de données, trois tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

Pour en savoir plus :

Plantureux, S., & Gavaland, A. (2017). Adaptation de la production fourragère aux changements climatiques. *Fourrages*, (229), 109-116.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69.

Taupier-Létage, B., & Baumont, R. (2010). Adaptation des prairies permanentes aux changements climatiques. *INRA Productions Animales*, 23(1), 53-64.

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



Rendement de la vigne

Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE de 2000 à 2021

Indicateur

- Midi-Pyrénées : 2000 à 2021
 - Gers
 - Lot
 - Tarn
 - Tarn-et-Garonne
- Languedoc-Roussillon : 2000 à 2021
 - Aude
 - Gard
 - Hérault
 - Pyrénées-Orientales

Calcul de l'indicateur

- Rendement moyen annuel des vignes AOP (2000-2021)
- Rendement moyen annuel des vignes IGP (2009-2020)
- Rendement moyen annuel des vignes sans label (SIG) (2000-2021)

Evolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Rendement de la vigne [hl/ha]

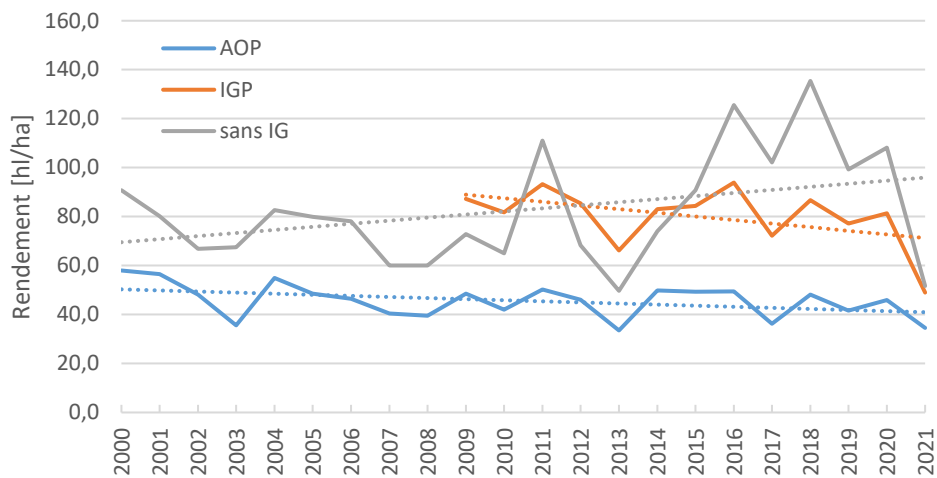
3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

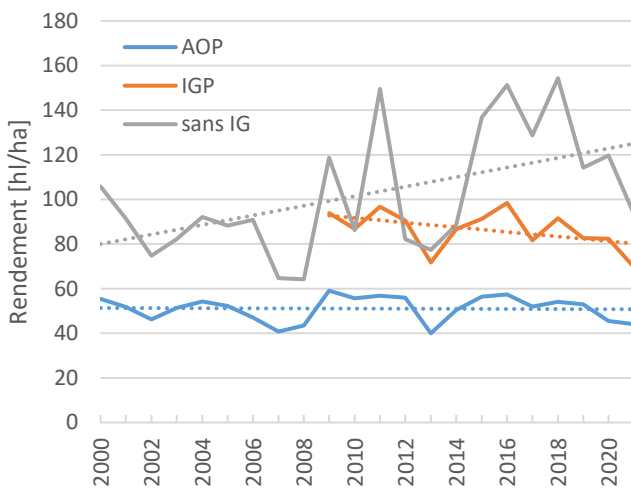


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

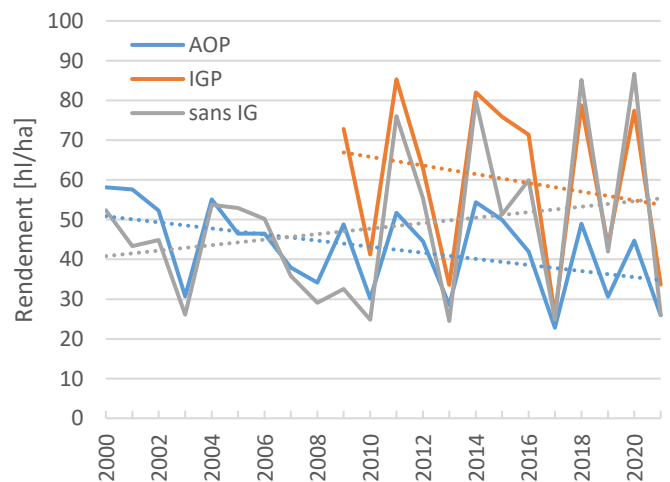
Midi-Pyrénées



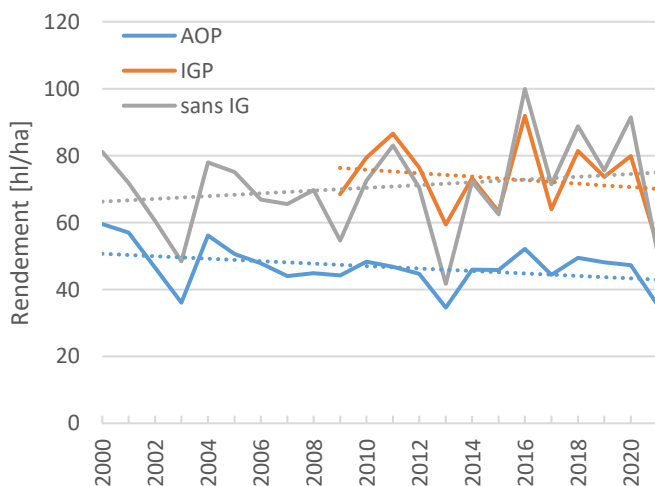
Gers



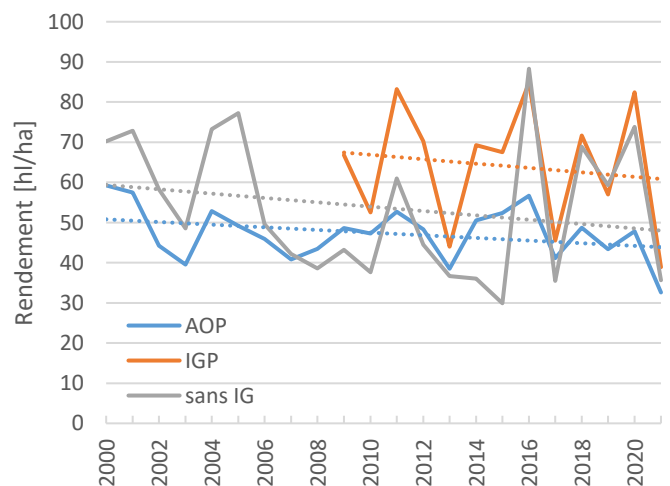
Lot



Tarn



Tarn-et-Garonne



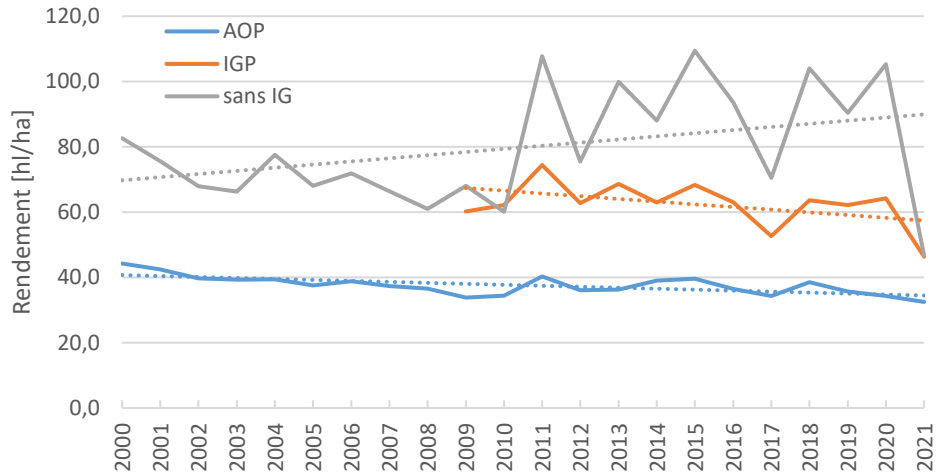
3

IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

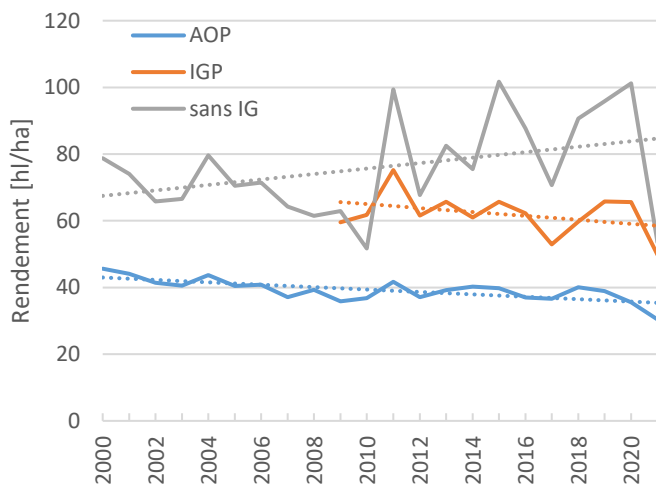


Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

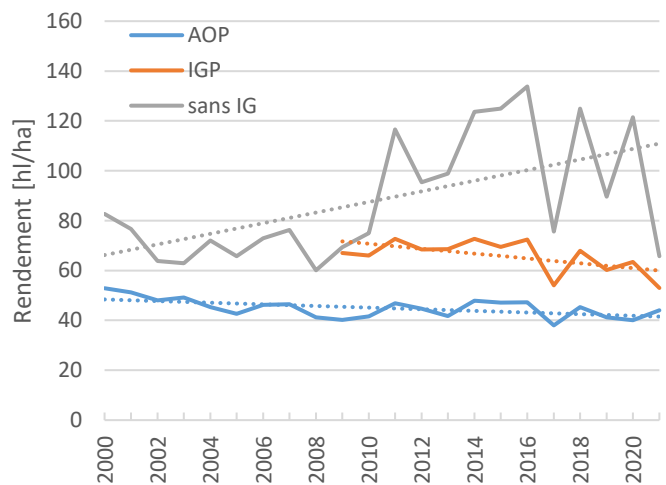
Languedoc-Roussillon



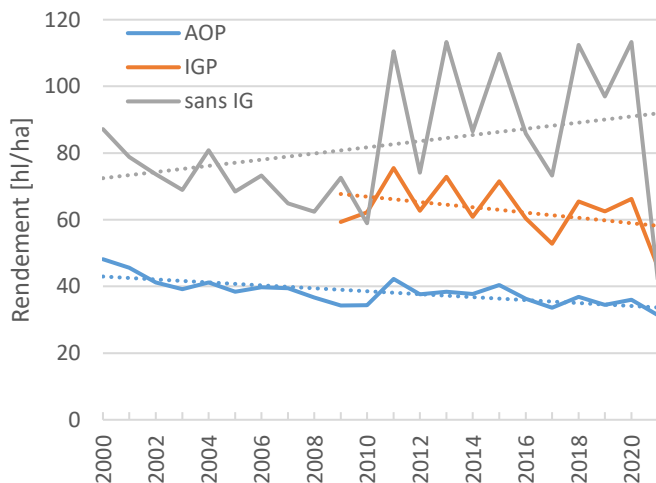
Aude



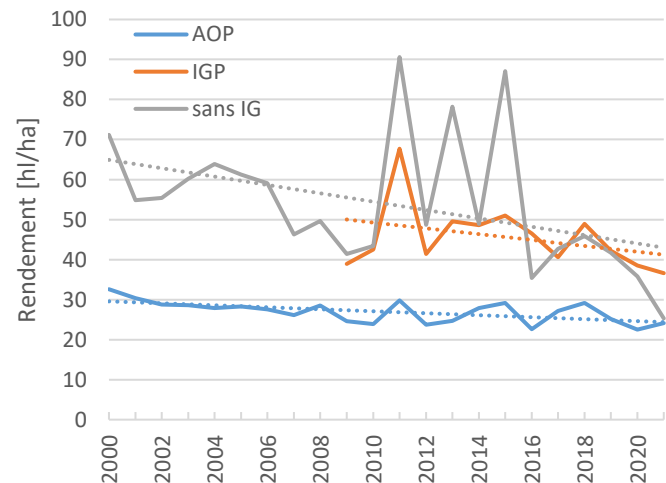
Gard



Hérault



Pyrénées-Orientales



3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Analyse des tendances linéaires sur la période 2000-2020 :

Zone	Catégorie	Evolution annuelle du rendement en hl/ha par an	Evolution du rendement sur la période en hl/ha
Midi-Pyrénées	Vins AOP	- 0,44 (NS)	- 9,34 en 21 ans
	Vins IGP	- 1,48 (NS)	- 17,70 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 1,26 (S)	+ 26,41 en 21 ans
Gers	Vins AOP	- 0,03 (NS)	- 0,58 en 21 ans
	Vins IGP	- 1,04 (NS)	- 12,51 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 2,14 (S)	+ 45,00 en 21 ans
Lot	Vins AOP	- 0,77 (S)	- 16,10 en 21 ans
	Vins IGP	- 1,09 (NS)	- 13,12 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 0,69 (NS)	+ 14,50 en 21 ans
Tarn	Vins AOP	- 0,37 (NS)	- 7,73 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,52 (NS)	- 6,27 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 0,41 (NS)	+ 8,66 en 21 ans
Tarn-et-Garonne	Vins AOP	- 0,33 (NS)	- 6,93 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,55 (NS)	- 6,57 en 12 ans
	Vins sans IG	- 0,54 (NS)	- 11,36 en 21 ans

(S = significatif ; NS = Non significatif)

3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Zone	Catégorie	Evolution annuelle du rendement en hl/ha par an	Evolution du rendement sur la période en hl/ha
Languedoc-Roussillon	Vins AOP	- 0,30 (S)	- 6,26 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,83 (NS)	- 9,97 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 0,96 (S)	+ 20,18 en 21 ans
Aude	Vins AOC	- 0,36 (S)	- 7,59 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,59 (NS)	- 7,09 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 0,82 (S)	+ 17,19 en 21 ans
Gard	Vins AOP	- 0,36 (S)	- 6,89 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,98 (NS)	- 11,71 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 2,13 (S)	+ 44,70 en 21 ans
Hérault	Vins AOP	- 0,44 (S)	- 9,29 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,80 (NS)	- 9,54 en 12 ans
	Vins sans IG	+ 0,93 (S)	+ 19,44 en 21 ans
Pyrénées-Orientales	Vins AOP	- 0,25 (S)	- 5,19 en 21 ans
	Vins IGP	- 0,73 (NS)	- 8,80 en 12 ans
	Vins sans IG	- 1,04 (NS)	- 21,93 en 21 ans

(S = significatif ; NS = Non significatif)

Préambule

L'Occitanie est l'une des premières régions viticoles de France. La vigne est connue pour être une plante résistante au changement climatique. Cela est principalement dû à ses besoins en eau modérés et à ses racines profondes et persistantes lui permettant de chercher de l'eau en profondeur durant les périodes de sécheresse. Néanmoins, il est très important de bien connaître les réactions de la vigne au changement climatique étant donnée sa place centrale dans l'économie agricole de la région.



Il est analysé ici le rendement de la production de vin pour réaliser une analyse quantitative qui viendra compléter l'analyse qualitative de la fiche « Degré potentiel de vin à la récolte ».

L'analyse est réalisée selon les anciennes régions Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées car elles correspondent mieux aux deux grands terroirs viticoles présents en Occitanie.

Le recul des données sur les vignes en Indication Géographique Protégée (IGP) est inférieur aux AOP et sans label car le label IGP n'existe que depuis 2009. Par ailleurs, ces trois catégories de vigne n'occupent pas la même part du territoire régional. Il est important d'avoir en tête les ordres de grandeurs de superficie et de production par catégorie. Voici ces chiffres en Occitanie pour l'année 2020 :

Catégorie	Production totale en 2020	Surface occupée en 2020
Vins AOP	2 332 144 hl	67 960 ha
Vins IGP	8 100 798 hl	161 203 ha
Vins sans IG	1 079 668 hl	14 737 ha

Midi-Pyrénées

Sur l'ancienne région Midi-Pyrénées, les variations interannuelles sont très fortes dans la plupart des départements. Ainsi, seulement deux tendances linéaires sont significatives sur les douze calculées. Il est donc difficile de conclure sur l'existence d'une dynamique précise. Cela alors que les vingt dernières années ont vu de grands progrès techniques et une restructuration du vignoble (notamment dans les vignes sans labels). Les conseillers notent aussi une hausse de l'irrigation afin d'assurer des rendements corrects dans les périodes de sécheresse. Ces progrès auraient logiquement dû s'accompagner de hausses de rendement.

Les tendances des rendements en AOP sont très faibles et jamais significatives (excepté pour le Lot). Cela est essentiellement dû au fait que les objectifs de ces vignobles sont de privilégier un savoir-faire local et de la qualité. On utilise alors des techniques qui ne visent pas à atteindre le potentiel maximal de rendement.

Languedoc-Roussillon

La production des départements du Languedoc-Roussillon est bien supérieure à celle des départements de Midi-Pyrénées. On observe le plus souvent deux tendances opposées et significatives entre les vins sans label et les vins AOP. Le faible recul des productions IGP ne permet pas de conclure sur l'existence d'une tendance (excepté pour le Gard).

Le rendement des vins sans label augmente beaucoup grâce aux progrès techniques et génétiques, à l'irrigation et à la restructuration du vignoble. L'augmentation globale de la région est de plus de 30 hl/ha en 21 ans avec le record de + 58,2 hl/ha dans le Gard. On observe ici aussi de grandes variations interannuelles.



La tendance des vignobles AOP est une légère diminution significative. On observe très peu de variation d'une année sur l'autre à cause des objectifs des cultures AOP énoncés plus haut.

La tendance des Pyrénées-Orientales est à l'opposé du reste du Languedoc-Roussillon avec une diminution même pour les vins sans label.

Analyse conjointe

Le rendement de la vigne dépend de multiples facteurs climatiques. Un des principaux est la régularité de l'apport en eau estival (Agenis-Nevers M., et al) qui permet la bonne croissance des baies.

A cela s'ajoute le fait que le rendement de la vigne peut être fortement impacté par des événements extrêmes. Ainsi, une sécheresse estivale longue va diminuer le rendement de façon significative. Les vignes autres qu'AOP peuvent plus facilement traverser ces périodes de sécheresse en ayant recours à l'irrigation. Cette pratique est encadrée plus strictement dans les cahiers des charges des vignes AOP. Un assouplissement de ces règles a néanmoins été décidé en septembre 2017 pour faire face aux sécheresses de plus en plus précoces. A cela s'ajoute les nouvelles pratiques d'ombrages qui sont en cours d'essais afin de limiter l'impact des canicules dans les vignes.

Il existe d'autres événements climatiques susceptibles de diminuer les rendements, il s'agit des gelées tardives et des grêles. Le réchauffement printanier rend ces épisodes potentiellement plus dévastateurs. A l'inverse de la sécheresse, il n'existe pas à ce jour de méthode fiable permettant d'éviter ces risques. Ils affectent donc tous les vignobles, labellisés ou non.

Enfin, il est important d'étudier ces très fortes variations interannuelles. Il n'est pas rare de voir une différence de plus de 20 hl/ha entre deux années dans les vignobles sans indications géographiques. Les phénomènes pouvant expliquer ces fluctuations sont la présence de maladies et les perturbations climatiques, sachant que les secondes peuvent amener les premières.

**A retenir**

- ✓ Les rendements de viticultures suivent des dynamiques différentes entre les vignes AOP et sans label en Occitanie. Les vignes AOP ont un rendement qui décroît faiblement, alors que celui des vignes sans label a beaucoup augmenté ces 20 dernières années. Des événements climatiques extrêmes (gelées tardives, grêles, sécheresses) ont eu des impacts négatifs sur les rendements. La sécheresse est un événement plus facile à contrer dans le cadre d'une viticulture sans label car les cahiers des charges des AOP sont assez restrictifs sur l'irrigation. L'écart de rendement entre les deux courbes est dû au fait que la viticulture AOP privilégie la qualité à la quantité.
- ✓ Les deux anciennes régions ont des tendances d'évolutions assez proches, même si les rendements peuvent être assez différents. On observe des hausses plus nettes dans le vignoble sans IG de Languedoc-Roussillon et moins de variations dans le vignoble AOP.

Note statistique : sur ce jeu de données deux tests statistiques ont été réalisés, celui de la régression linéaire et le test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall.

Pour en savoir plus :

Site internet du Plan National Déperissement du Vignoble : <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/recherches/resultats-de-recherche/diagnostic-des-bas-rendement-methodologie>

AGENIS-NEVERS M., et al. ; 2005. Impact du changement climatique sur les activités viticoles ; note technique n°3,

AUGUSTIN DURA. Impact du changement climatique sur les rendements viticoles en vallée du Rhône. Sciences agricoles. 2018. hal-03138652



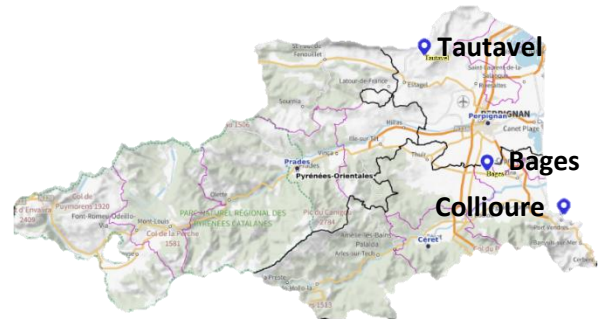
Date de franchissement des 14 degrés alcooliques du vin

🔑 Nature et source des données

Données issues du suivi de maturité des vignes effectué par la Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales.

🕒 Indicateur

- Bages (LD Candeil) : 2004 à 2021
- Collioure (LD Val de Pintes) : 2000 à 2021
- Tautavel (LD Devèze) : 2001 à 2021



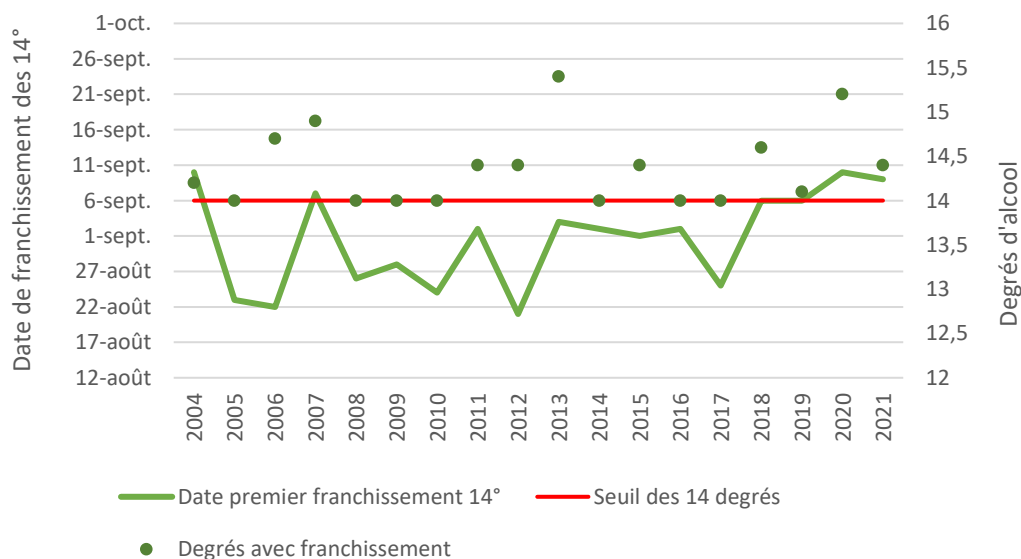
📊 Calcul de l'indicateur

- Repérage de la date de franchissement des 14 degrés alcooliques sur 3 localisations des Pyrénées-Orientales avec une concentration sur le Grenache Noir.

📈 Evolution observée

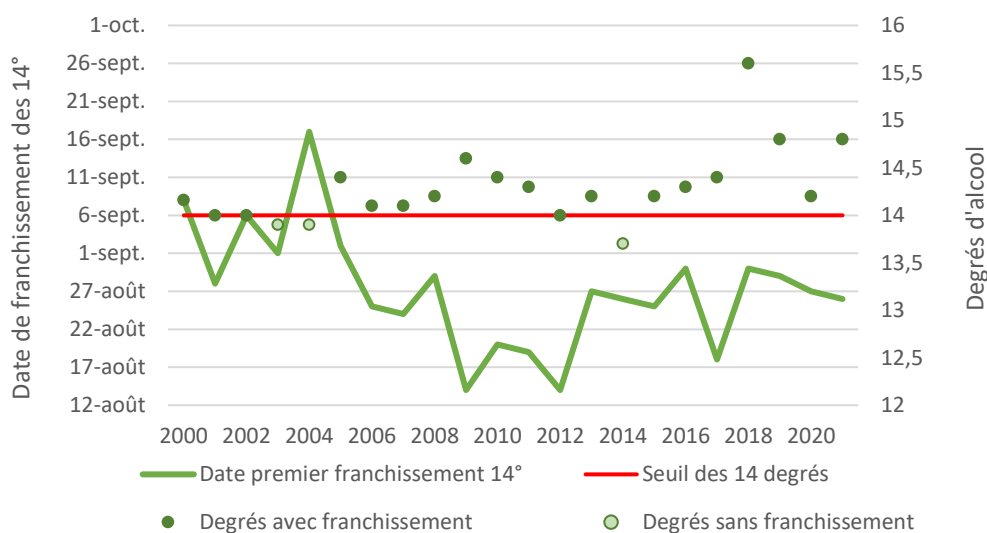
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Date de franchissement et degrés alcooliques associés

Évolution de la date de franchissement des 14° d'alcool du Grenache noir à Bages (66)

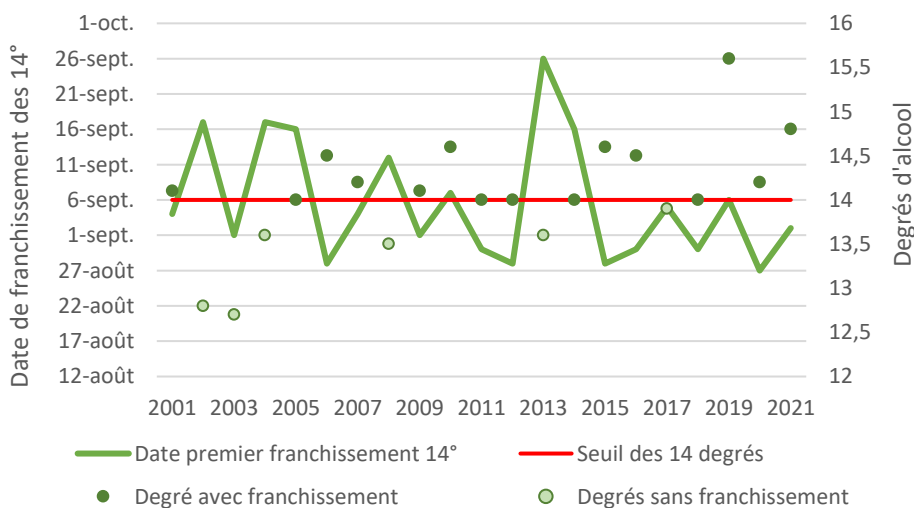




Évolution de la date de franchissement des 14° d'alcool du Grenache noir à Collioure (66)



Évolution de la date de franchissement des 14° d'alcool du Grenache noir à Tautavel (66)



Précisions

Les suivis de maturité ont été réalisés majoritairement tous les 3 à 4 jours ainsi la comparaison des années ne doit pas être prise au jour près, on considèrera plutôt la tendance générale.

Les 14 degrés n'étant pas systématiquement atteints, est également représenté sur les graphiques le maximum de degrés atteint avant les vendanges. Le reste du jeu de données correspond bien à la première date de franchissement des 14 degrés et non pas le degré final à la vendange.



Analyse

Sur les trois suivis de maturité effectués sur le Grenache Noir, seul Collioure semble présenter une évolution de sa date de franchissement des 14 degrés alcooliques. En effet, avant 2005, le franchissement s'effectuait sur la première semaine de septembre alors qu'elle est désormais davantage concentrée sur la dernière semaine d'août. A Bages, en 17 ans, les 14° ont systématiquement été atteints sans tendance d'évolution visible, avec un franchissement généralement étalé sur la première semaine de septembre. Quant à Tautavel, même si les 14° sont aussi majoritairement obtenus sur la première semaine de septembre, le suivi de maturité affiche un plus grand nombre d'année où les 14 degrés d'alcool ne sont pas franchis (2002, 2003, 2004, 2008, 2013, 2017).

Le tableau ci-dessous résume les chiffres clés du suivi de maturité :

	Bages	Collioure	Tautavel
Historique du suivi	17 ans	21 ans	20 ans
Nombre d'années où les 14 degrés ne sont pas franchis	0	3	6
Évolution de la date de franchissement	/	-1 semaine	/
Date plus précoce de franchissement	21 août	14 août	27 août
Date plus tardive de franchissement	10 septembre	8 septembre	16 septembre
Amplitude	20 jours	25 jours	20 jours

Les différents projets de recherches de l'impact du changement climatique sur la vigne ont montré que les stades phénologiques sont de plus en plus précoces et que la teneur en alcool est de plus en plus élevée (depuis 1980, une augmentation passée de 11 à 14 degrés). C'est pourquoi, via le suivi de maturation du Grenache Noir dans les Pyrénées-Orientales, l'hypothèse était que le franchissement des 14° soit de plus en plus précoce. Ainsi, seul Collioure semble y répondre affirmativement. Néanmoins, des données supplémentaires seraient nécessaires afin d'avoir davantage de recul sur l'évolution et pouvoir conclure sur l'hypothèse émise.

A retenir :

- ✓ Seul Collioure semble présenter un avancement de la date de franchissement des 14 degrés d'alcool
- ✓ Étant donné des stades de développement de la vigne de plus en plus précoces et l'augmentation de la teneur en alcool des vins, les 14 degrés d'alcool devraient être atteints de plus en plus tôt.

Note statistique : sur ce jeu de données, aucun test statistique n'a été effectué étant donné de la présence de rupture (année où les 14 degrés ne sont pas franchis). Le choix a ainsi été fait de rester purement descriptif.

**Pour aller plus loin :**

Le projet « LACCAGE : La vigne, le vin, et le changement climatique en France » qui présente l'évolution du vin via le climat passé et futur avec des propositions d'adaptation et d'atténuation. Synthèse du projet disponible à l'adresse suivante : https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/laccage-infographies-du-projet-1_0.pdf

Pour en savoir plus :

Chambre d'agriculture des Pyrénées-Orientales (2022) *Viticulture, Chambre Agriculture Pyrénées-Orientales*. Disponible sur : <https://po.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/viticulture/>

Meillon, S., Urbano, C. and Schlich, P. (2009) 'GOUT ET ACCEPTABILITE DES VINS A TENEUR REDUITE EN ALCOOL', *IFV France* [Preprint]. Disponible sur : <https://www.infowine.com/intranet/libretti/libretto8046-01-1.pdf>

Touzard, J.-M. and Ollat, N. (2021) 'Adaptation au changement climatique pour la vigne et le vin : une approche interdisciplinaire et participative', *RECO*. Disponible sur : <https://hal.inrae.fr/hal-03404146/document>



Evolution de la date des vendanges

🔑 Nature et source des données

Données annuelles issues de la Maison des Vignerons du 66 et la Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales

🕒 Indicateur

- Deux cépages des Pyrénées-Orientales : le Muscat Petit Grain (divisé en 3 zones d'étude) et le Muscat d'Alexandrie (divisé en 3 zones d'étude) sur les périodes :
 - de 1986 à 2021 pour le Muscat Petit Grain zone 1 et pour le Muscat d'Alexandrie zone 1 et zone 2
 - de 1986 à 1995 et de 1997 à 2021 pour le Muscat Petit Grain zone 2 et zone 3
 - de 1986 à 2020 pour le Muscat d'Alexandrie zone 3

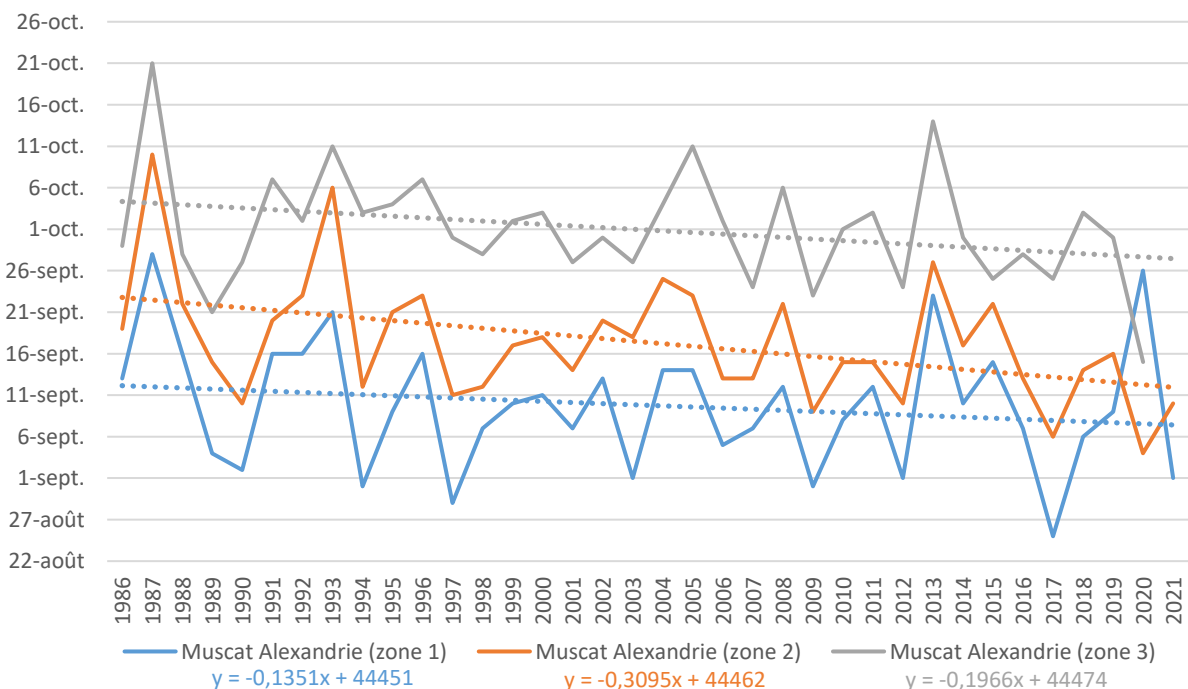
📊 Calcul de l'indicateur

- Evolution de la date d'ouverture des bans de vendange pour les 3 zones d'étude du Muscat Petit Grain et pour les 3 zones du Muscat d'Alexandrie

📈 Evolution observée

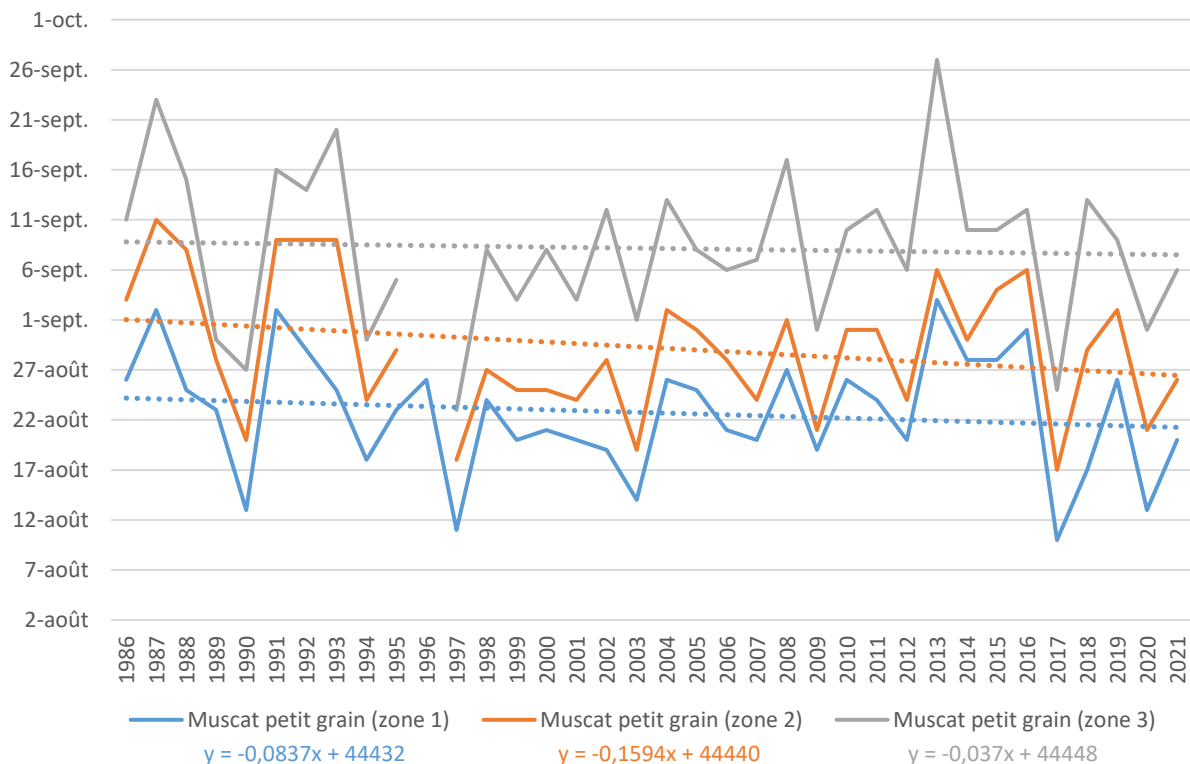
- En abscisse : Années
- En ordonnée : Dates en jours

Evolution des dates de vendanges pour le Muscat d'Alexandrie





Evolution des dates de vendanges pour le Muscat Petit Grain


Analyse

Avec près de 250 000 ha de vigne, 2 milliards de chiffre d'affaires et 20 000 producteurs, la viticulture conserve en 2021 une place économique et sociale importante en Occitanie. Mais cette activité est très marquée par le changement climatique, dont les impacts sur les vignobles sont multiples. Comme il a déjà été montré dans les fiches précédentes, le printemps et l'été se sont réchauffés de manière significative entre 1959 et 2021 (cf. « Températures moyennes saisonnières »). Le réchauffement observé à Perpignan est en effet de + 0,27°C par décennie au printemps et de + 0,43°C par décennie pour l'été. Or, d'après la fiche « Cumul de chaleur pour la vigne du 1^{er} avril au 30 septembre », ce réchauffement entraîne une augmentation du cumul de chaleur de + 85°CJ par décennie à Perpignan, ce qui a pour conséquence des stades de développement de la vigne plus précoces, depuis le débourrement (induisant une vulnérabilité plus forte aux gels tardifs), jusqu'à la maturité des raisins et donc leur récolte.

Le but avec ces données est donc de connaître l'impact réel observé de l'augmentation du cumul de chaleur pour ces deux cépages sur l'évolution des dates de vendanges.

Or, il est intéressant de constater que cette tendance ne semble pas se refléter de manière uniforme pour les cépages Muscat Petit Grain et Muscat d'Alexandrie dans les Pyrénées-Orientales. En effet, seule la zone d'étude 2 du Muscat d'Alexandrie présente une évolution significative de la date d'ouverture des bans de vendange avec une avancée de 11 jours en 35 ans (entre 1986 et 2021). Toutes les autres zones d'étude, pour le Muscat d'Alexandrie et pour



le Muscat Petit Grain, montrent néanmoins une tendance à une récolte plus précoce au fil des ans, ce qui pourrait indiquer que d'autres facteurs locaux ou spécifiques à ces cépages influencent la maturation du raisin dans ce département.

Néanmoins, l'augmentation du cumul de chaleur observé à Perpignan sur les dernières décennies ne semble pas avoir de grandes conséquences sur la précocité des dates de vendanges pour ces deux cépages. Il serait ainsi intéressant d'étudier l'évolution de la date de débourrement pour ces mêmes cépages, pour savoir si l'augmentation du cumul de chaleur a un impact plus important sur les premiers stades de développement de la vigne.

Mais même si ces tendances ne sont en majorité pas significatives, les nombreux autres impacts du changement climatique sur les exploitations viticoles continuent d'augmenter avec les années et accentuent les contraintes pour produire du raisin et du vin en zone méditerranéenne. En effet, l'avancée des stades phénologiques entraîne un risque accru aux gels tardifs, qui peuvent avoir comme conséquences des baisses de rendement, et la hausse de chaleur reçue tend à modifier les qualités organoleptiques des vins produits, ainsi qu'une modification des temps de travail dans les vignes, obligeant les vendangeurs à travailler de nuit pour limiter la pénibilité du travail d'astreinte et les problèmes de vinification liés aux températures estivales.

A retenir

- ✓ Un autre impact du changement climatique sur la vigne est l'avancement des dates de vendange. Cependant sur ces données, seule une zone d'étude du Muscat d'Alexandrie est significative avec une avancée de 11 jours en 35 ans.
- ✓ Cette précocité amplifie l'augmentation des températures lors des vendanges, avec des risques accrus d'altération des moûts. Vendanger lorsque les températures sont encore estivales peut en effet engendrer des problèmes de vinification, et nécessiter des adaptations comme de récolter les raisins la nuit.

Note statistique : sur ce jeu de données le test statistique de la régression linéaire a été réalisé.

Pour en savoir plus :

Nathalie Ollat, Jean-Marc Touzard. La vigne, le vin, et le changement climatique en France - Projet LACCAVE - Horizon 2050. 2020.

Seguin B, de Cortazar IG., 2005 - Climate warming: Consequences for viticulture and the notion of 'terroirs' in Europe. Acta Hort. 689: 61-69.

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



Caractéristiques des vins rouges du Languedoc-Roussillon

🔑 Nature et source des données

Graphique issu des analyses des Laboratoires Dubernet et de l'INRAE Pech Rouge de 1984 à 2022

🕒 Indicateur

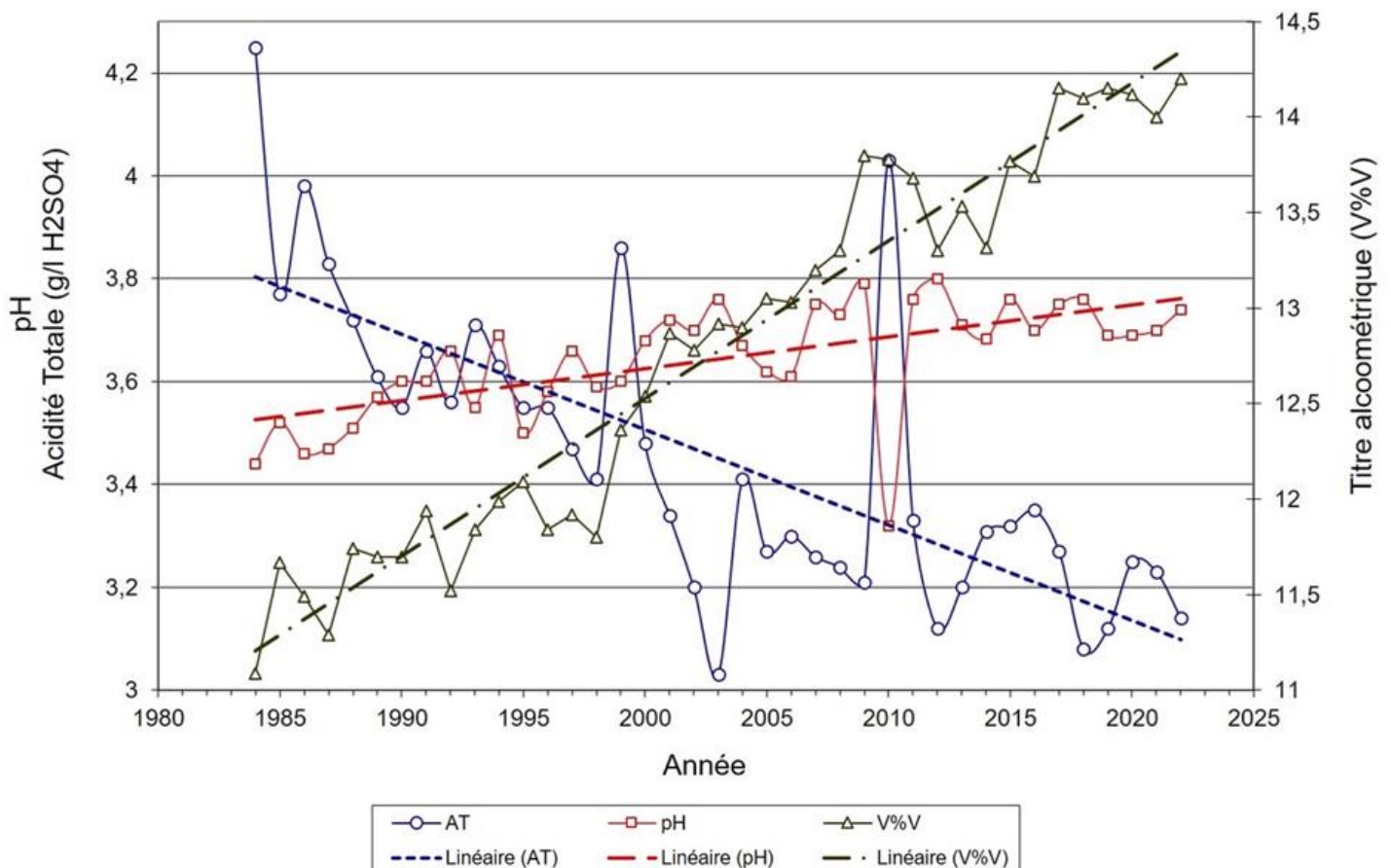
- Languedoc-Roussillon de 1984 à 2022


🧮 Calcul de l'indicateur

- Evolution de l'acidité totale, du pH et du degré alcoolique moyen de 1984 à 2022 sur un échantillon chaque année de plus de 2000 vins rouges du Languedoc-Roussillon

📈 Evolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée principale : Acidité totale (g/L H₂SO₄) et pH
- En ordonnée secondaire : Titre alcoolique (V%/V)



 Analyse

L'acidité totale, le pH et le degré alcoolique sont des paramètres essentiels qui influencent la qualité et le profil gustatif des vins. Avec le changement climatique et notamment l'augmentation des températures annuelles et estivales, ces caractéristiques sont amenées à évoluer. Sur le graphique ci-dessus fourni par les Laboratoires Dubernet et l'INRA Pech Rouge, on observe ainsi que depuis 1984, de fortes tendances se dégagent : le pH et le titre alcoolémique des vins rouges étudiés augmentent tandis que l'acidité totale diminue fortement.

Or, ces tendances peuvent être interprétées comme des signaux de changements dans les conditions de croissance des raisins, qui peuvent facilement être attribués au changement climatique. En effet, l'élévation des températures a un impact significatif sur les cycles de croissance et de reproduction de la vigne. Les différents stades phénologiques sont atteints plus précocement, ce qui entraîne une maturation des raisins qui arrive plus tôt dans la saison. En conséquence, les raisins sont exposés à des températures plus élevées pendant la période de maturation, à la fois en raison de l'augmentation générale de la température et de la maturation plus précoce.

Ainsi :

- Une baisse de l'acidité totale peut être associée à des climats plus chauds. Lorsque les températures augmentent, les raisins peuvent mûrir plus rapidement, ce qui peut réduire leur teneur en acides. Cela peut également avoir un impact sur la fraîcheur et l'équilibre gustatif du vin.
- L'augmentation du pH peut également découler d'une maturation plus rapide des raisins. Des pH plus élevés peuvent affecter la stabilité du vin et influencer sa couleur, son goût et sa texture. Cela pourrait indiquer une adaptation des cépages aux conditions climatiques changeantes.
- Une élévation du degré alcoolique peut résulter de niveaux de sucre plus élevés dans les raisins à la récolte, souvent liée à une période de maturation plus longue et à des températures plus chaudes. Cela peut impacter l'équilibre du vin et sa capacité à vieillir.

Il est important de noter que l'effet du changement climatique sur les caractéristiques des vins est un sujet complexe, car il peut également être influencé par des facteurs tels que le choix des cépages, les techniques de culture et les pratiques de vinification. L'adaptation des vigneronnes à ces changements pourrait impliquer la sélection de cépages mieux adaptés aux nouvelles conditions climatiques, des ajustements dans la gestion des vignobles et potentiellement des stratégies de vinification différentes. De plus, l'augmentation de la température aura également un effet sur le potentiel aromatique du raisin (Darriet et al., 2016).

**A retenir**

- ✓ Les impacts du changement climatique sur la vigne sont multiples. Depuis les années 80, les caractéristiques des raisins et vins se modifient : augmentation du taux d'alcool, du taux de sucre et du pH, et acidité en baisse.
- ✓ Ces effets accentuent les contraintes pour produire du vin en zone méditerranéenne, obligeant les viticulteurs à adapter leurs pratiques pour limiter l'évolution qualitative et gustative de leurs vins.

Pour en savoir plus :

Van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). Le changement climatique en viticulture : les leviers d'adaptation au vignoble. *Innovations Agronomiques*, 51, 271-285.

Brisson N. et Levrault F., 2010. Le Livre Vert du projet CLIMATOR. Ed. ADEME. 334p

DARRIET P., PONS A, THIBON C., SCHÜTTLER A., ALLAMY L. et VAN LEEUWEN, C., 2016. Quels impacts attendus du changement climatique sur les composés aromatiques et leurs précurseurs? 3èmes assises des vins du Sud-Ouest, IFV, Toulouse, 14 janvier 2016.



Aléas climatiques

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur Climat HD (Météo-France) de 1947 à 2021

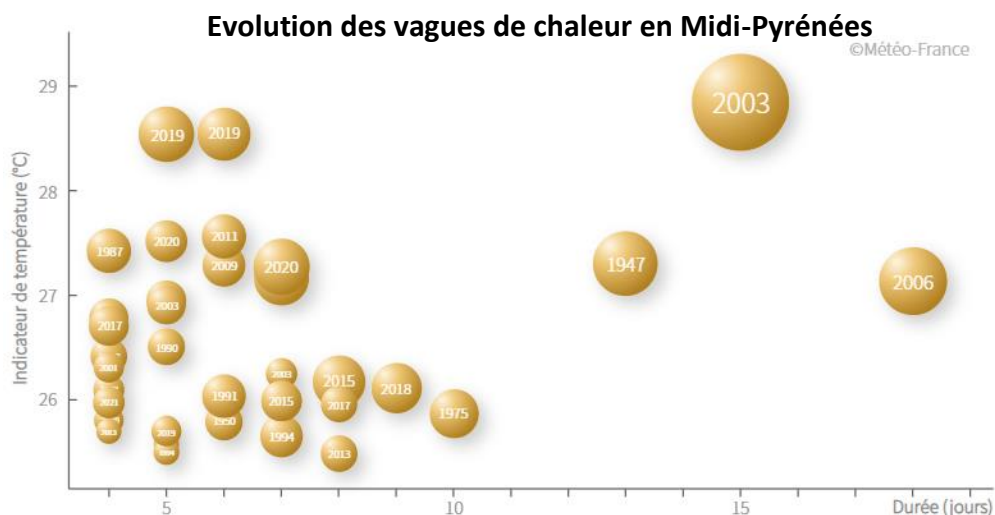
🕒 Indicateur

- Evolution des vagues de chaleur : données annuelles de 1947 à 2021 sur Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon
- Evolution des vagues de froid : données annuelles de 1947 à 2021 sur Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon

🧮 Calcul de l'indicateur

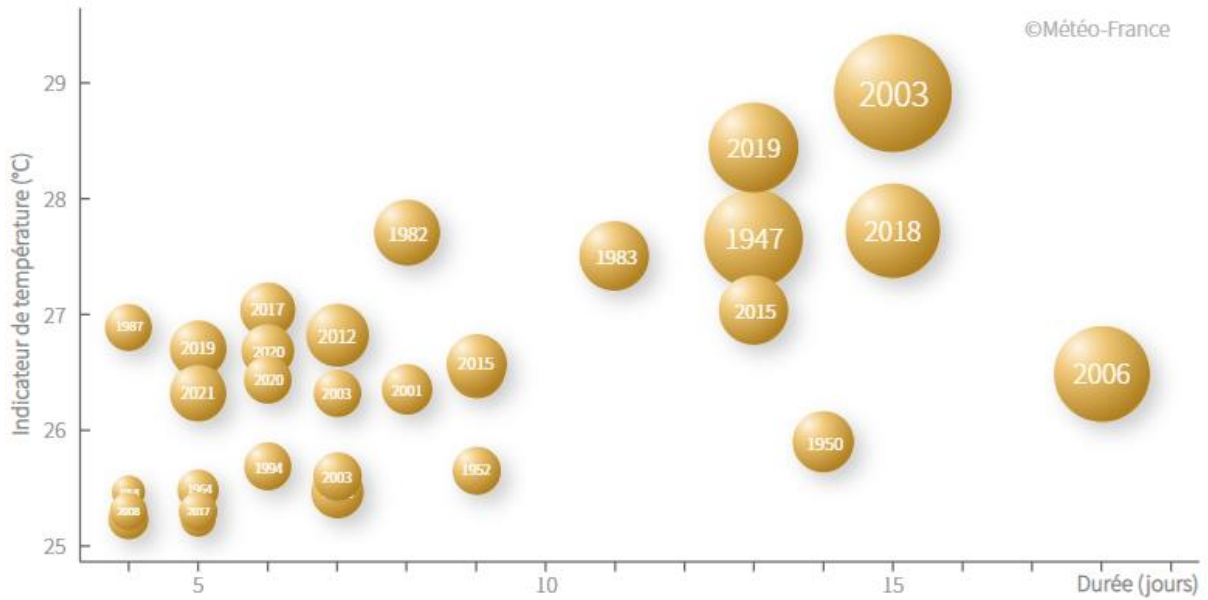
- Evolution des vagues de chaleur : Une vague de chaleur désigne un épisode de températures nettement plus élevées que les normales de saison pendant plusieurs jours consécutifs. Les vagues de chaleur sont identifiées à partir de l'indicateur thermique régional, sur la période de 1947 à nos jours (l'indicateur thermique régional se définit comme la moyenne sur l'ensemble de la région des données quotidiennes spatialisées de la température moyenne de l'air). Seules les vagues de chaleur de durée supérieure ou égale à 4 jours sont représentées.
- Evolution des vagues de froid : Une vague de froid est un épisode durable et étendu de froid caractérisé par des températures atteignant des valeurs nettement inférieures aux normales saisonnières de la région concernée. De même que pour les vagues de chaleur, les vagues de froid sont identifiées à partir de l'indicateur thermique régional, sur la période de 1947 à nos jours. Seules les vagues de froid de durée supérieure ou égale à 4 jours sont représentées.

📈 Evolution observée

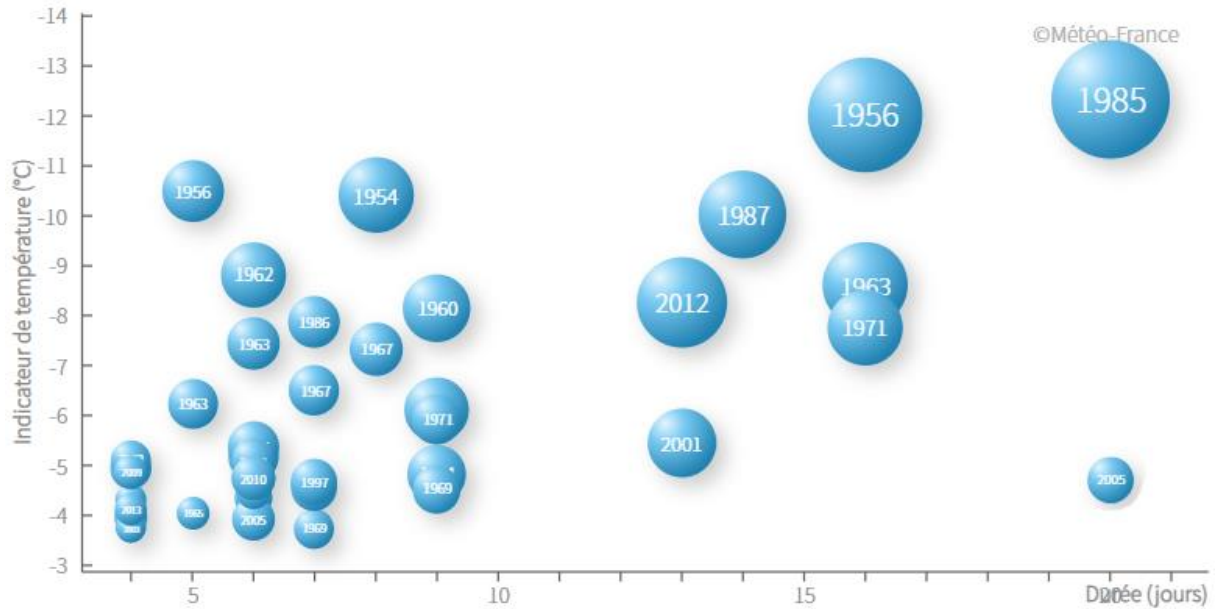




Evolution des vagues de chaleur en Languedoc-Roussillon

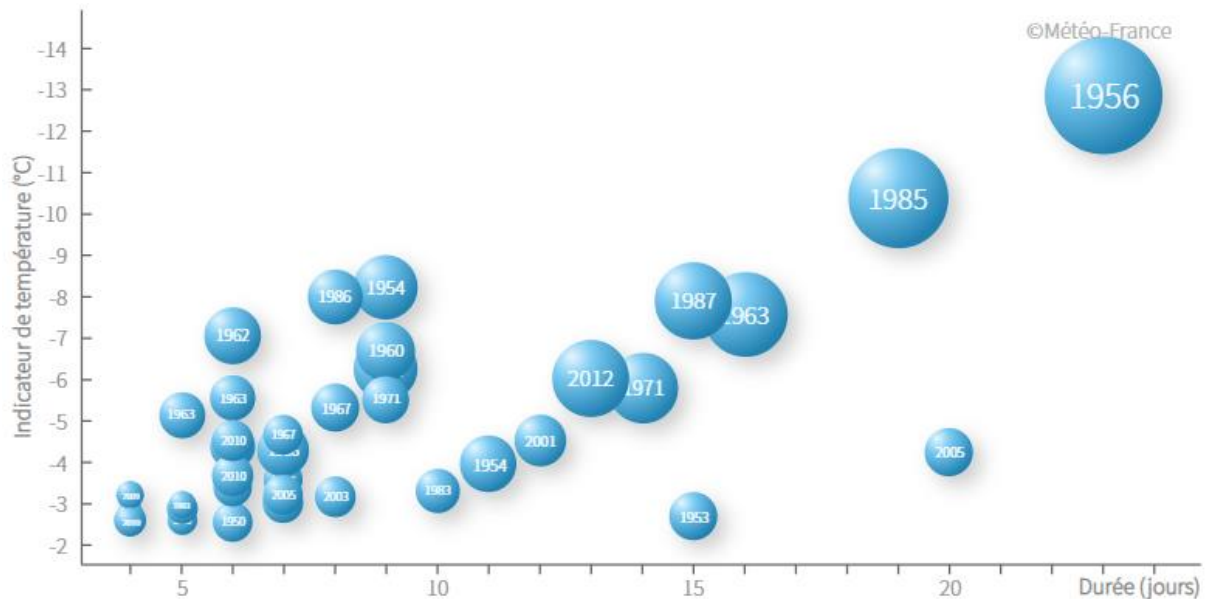


Evolution des vagues de froid en Midi-Pyrénées





Evolution des vagues de froid en Languedoc-Roussillon



Analyse

Evolution des vagues de chaleur :

Les vagues de chaleur recensées depuis 1947 dans les régions de Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon ont connu une forte évolution au cours des dernières décennies. Les deux régions ont été confrontées à une augmentation notable de ces épisodes caniculaires avec des vagues de chaleur particulièrement nombreuses ces dernières années. D'après les graphiques, on observe que pour les deux régions, la canicule de 2003 est de loin la plus sévère survenue depuis 1947. Pour Midi-Pyrénées, c'est durant cet épisode ainsi que durant les deux canicules du 25 au 30 juin 2019 et du 21 au 25 juillet 2019 qu'ont été observées les journées les plus chaudes depuis 1947. Dans le cas du Languedoc-Roussillon, les trois vagues de chaleur les plus longues et quatre des cinq les plus sévères se sont produites après 2000.

D'un point de vue national, la France a subi en moyenne 9,4 jours de vagues de chaleur par an sur la dernière décennie contre 1,7 en moyenne avant 1989 (Météo France, 2023).

Même si les graphiques s'arrêtent à 2021, il est cependant intéressant de faire un point sur 2022. L'été 2022 a en effet été le deuxième plus chaud après 2003. Du 15 au 19 juin, la France a notamment connu la vague de chaleur la plus précoce jamais enregistrée depuis 1947. Enfin, l'année 2022 détient le nombre record de jours de vagues de chaleur pour un seul été avec 33 jours (contre 22 jours pour 2003). L'année a également battu plus de 1500 records locaux de chaleur. Ces chaleurs hors normes ont été accompagnées d'extrêmes climatologiques parfois inédits, entraînant sécheresse historique, feux de forêts majeurs et canicule océanique en Méditerranée.



Evolution des vagues de froid :

Les vagues de froid recensées depuis 1947 dans les régions de Midi-Pyrénées et de Languedoc-Roussillon ont connu une évolution similaire au cours des dernières décennies. Dans les deux régions, on constate une diminution du nombre de vagues de froid, notamment depuis le début du XXI^e siècle. De plus, ces épisodes deviennent progressivement moins intenses et moins sévères, avec une réduction de la taille des bulles.

Ainsi pour Midi-Pyrénées, les cinq vagues de froid les plus intenses et quatre des cinq les plus sévères se sont produites avant 2000. Pour Languedoc-Roussillon, c'est cinq des six vagues de froid les plus longues, les quatre les plus intenses et cinq des six événements les plus sévères qui se sont produits avant cette date.

Pour les deux régions, la vague de froid observée du 2 au 24 février 1956 est de loin la plus sévère. C'est aussi durant cet épisode qu'a été observée la journée la plus froide depuis 1947.

D'un point de vue agro-climatique :

Il est clair que les aléas climatiques représentent un défi majeur pour le monde agricole en Occitanie en termes d'adaptation et de gestion des risques.

L'évolution des vagues de chaleur en Occitanie entraîne en effet de nombreux impacts sur les pratiques agricoles de la région. Les périodes caniculaires plus fréquentes et intenses rendent les conditions de croissance des cultures plus difficiles. Les températures élevées et prolongées peuvent entraîner une déshydratation des sols, une diminution de l'humidité et une augmentation du stress hydrique pour les cultures. On observe également une diminution de la productivité pour certaines cultures ou une détérioration de la qualité des récoltes et une augmentation du besoin en irrigation. De plus, les vagues de chaleur peuvent également favoriser le développement de ravageurs et de maladies des plantes, ce qui entraîne des pertes économiques pour les agriculteurs.

En revanche, l'évolution des vagues de froid, caractérisée par une diminution du nombre et de l'intensité des épisodes, peut présenter des avantages pour l'agriculture. Les cultures hivernales, telles que les céréales à paille, bénéficient de températures plus clémentes, ce qui peut favoriser leur développement et leur rendement. Les décalages phénologiques des cultures liées à l'élévation tendancielle de la température pourraient cependant faire persister le risque de gel sur les cultures.

**A retenir**

- ✓ Les deux régions ont connu une forte augmentation du nombre et de l'intensité des vagues de chaleur au cours des dernières décennies, avec une multiplication par 5 du nombre de vagues de chaleur sur la dernière décennie comparée à avant 1989.
- ✓ Pour les vagues de froid, le nombre de ces épisodes a diminué, tout en devenant moins intenses et moins sévères pour les deux régions.
- ✓ Il n'y a pas de tendance significative pour l'évolution du nombre de tempêtes, bien que les deux régions présentent des schémas similaires avec une hausse de la fréquence après une période relativement calme dans les années 2000.
- ✓ Malgré ces évolutions, les aléas climatiques restent un défi majeur pour le monde agricole, avec notamment des vagues de chaleur entraînant une diminution de la productivité, une détérioration de la qualité des récoltes et une augmentation de certains ravageurs et maladies.

**Focus sur deux événements climatiques extrêmes survenus en Occitanie :**

- Pic de chaleur du 28 juin 2019

Contrairement aux vagues de chaleur, où des températures élevées sont enregistrées pendant plusieurs jours consécutifs, un pic de chaleur désigne un épisode bref, de 24 à 48 heures durant lequel les températures sont supérieures aux normales de saison.

Dans la journée du 28 juin 2019, un pic de chaleur a été observé et des températures exceptionnellement hautes ont été enregistrées sur la région Occitanie. Le nouveau record de température maximale en France a notamment été enregistré lors de cette journée à Vérargues dans l'Hérault : 46,0°C.

Les températures extrêmes accompagnées d'un ensoleillement important ont entraîné de très fortes évapotranspirations conduisant à des phénomènes de brûlures de feuilles et de grappes et de dessèchement total du cep. Dans certaines situations, l'évaporation intense a été à l'origine du phénomène de folletage, notamment sur les jeunes vignes particulièrement exposées (température, vent). Ces conditions réunies ont entraîné le dessèchement complet et rapide des rameaux et de la souche.

Les niveaux de dégâts ont ainsi été très hétérogènes et sont allés de quelques baies touchées à la destruction quasi complète de la récolte avec localement des dessèchements de ceps et de jeunes plantiers.

- Episode de gel des 7 et 8 avril 2021

Malgré l'évolution à la baisse des vagues de froid en Occitanie, un épisode de gel exceptionnellement fort a frappé la région dans la nuit du 7 au 8 avril 2021. Ces gelées très importantes ont impacté tous les secteurs de l'agriculture et notamment les filières arboriculture et viticulture, entraînant des pertes de récoltes mais également des pertes de



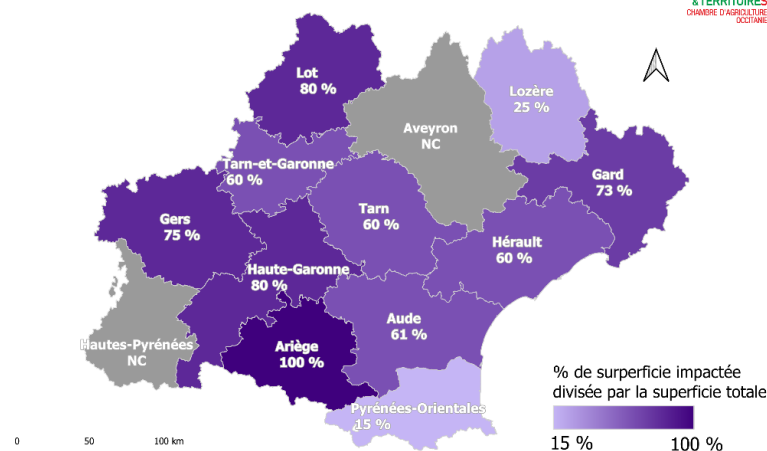
fonds sur ces deux cultures. Ces deux filières ont été particulièrement impactées du fait des stades physiologiques des plants qui étaient déjà à un stade bien avancé.

Pour la filière arboriculture, l'épisode de gel a causé des pertes instantanées mais également des pertes par chute des fruits. En effet, les températures basses la nuit et en-dessous des valeurs habituelles le jour ont provoqué un "retour de sève" propice à des chutes physiologiques. L'estimation en arboriculture de la superficie impactée a été de 33 103 ha sinistrés, et une perte économique de 83,376 millions €. Le Gard (85% de la superficie touchée) et les Pyrénées-Orientales (3 450 ha impactés, un volume de perte de 35 700 t soit une perte économique de 36,85 M€) ont été les départements les plus touchés.

Pour la filière viticulture, les estimations ont été 154 465 ha touchés dont 129 492 ha sur le bassin viticole Languedoc-Roussillon et 24 973 sur le territoire Midi-Pyrénées. Cet épisode de gel a ainsi impacté plus de 60% de la superficie viticole de l'Occitanie, entraînant des pertes de production régionale de 7,2 M hl (48 % de la production) répartis entre 5,9 M hl pour le bassin Languedoc-Roussillon et 1,3 M hl pour celui du Sud-Ouest. Le Gard a été un des départements les plus touchés, avec un montant total des dégâts sur vigne estimé à 192 M€ dont 102 M€ non assurés.

Superficies impactées

Source : SAA 2020, CRAO. Traitement CRAO, Création PEP CRAO (28/05/2021)



Pour en savoir plus :

Climat HD : <https://meteofrance.com/climathd>

Ortavant, R., & Lamouroux, C. (2018). Impacts du changement climatique en Occitanie et adaptations possibles en agriculture. Rapport final, GIEC Occitanie Climat.

Lhuissier, S., & Hingray, B. (2016). Evolution et variabilité spatio-temporelle des vagues de froid en France. *Climatologie*, 13, 31-44.

Martin, G., Guinebretière, A., & Lecroart, B. (2016). Les pratiques agricoles face aux aléas climatiques. *Innovations Agronomiques*, 55, 111-125.



Evolution de l'irrigation du tournesol

🔑 Nature et source des données

- Données bisannuelles fournies par Terres Inovia

🕒 Indicateur

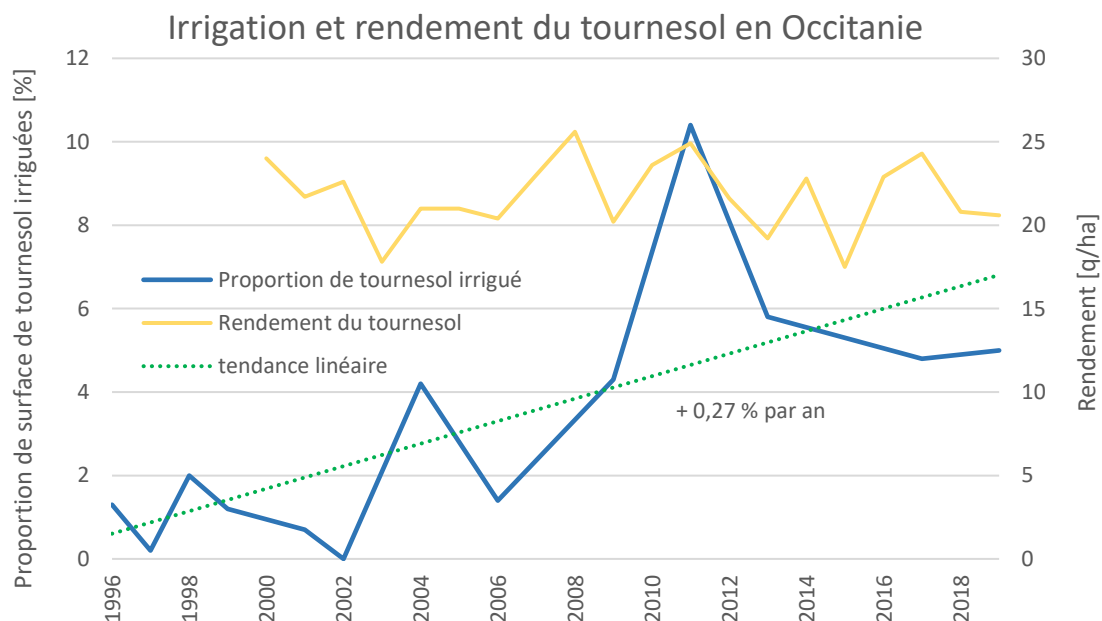
- Sud-Ouest : 2000 à 2020

🧮 Calcul de l'indicateur

- Evolution de la part de surface de tournesol irriguée

📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Proportion de surface de tournesol irriguée [%]
- En ordonnée : Rendement global (irrigué et non irrigué) du tournesol [q/ha]





Analyse

Depuis le début des années 2000, la culture du tournesol représente environ 200 000 ha en Occitanie, avec des variations interannuelles moyennement marquées (de l'ordre de 5 à 10% de la surface). Le rendement moyen du tournesol en Occitanie est inférieur d'environ 10% au rendement moyen national. Jusqu'en 2002, la part de surfaces de tournesol irriguée dans le sud-ouest n'avait jamais dépassé 2% (soit moins de 4000 ha). La canicule de 2003 a marqué un tournant et de nombreux agriculteurs ont pris la décision d'irriguer le tournesol. On observe ensuite deux pics, le premier avec la part des surfaces en tournesol irriguée à 4% en 2004 (8000 ha), puis un second pic avec une part à 10% en 2011 (26 000 ha). Parallèlement à ce second pic, on constate une augmentation de la surface cultivée de tournesol, qui atteint son maximum en 2011 avec 260 000 ha. On observe ensuite un retour vers une relative stabilité autour de 5% de surface irriguée de 2013 à 2019 (10 000 ha). Aujourd'hui, le tournesol est majoritairement cultivé en sec dans la région.

L'évolution de l'irrigation du tournesol a des origines multiples, on en retiendra ici deux principales. La première est la fluctuation des cours du tournesol. Le prix par tonne du tournesol suit une dynamique assez similaire à la courbe de l'irrigation. Il est autour de 300 €/t jusqu'en 2009. Il y a ensuite une hausse culminant à 395€/t en 2011 puis une stabilisation entre 300 €/t et 350 €/t. La deuxième est la diminution des surfaces de maïs irriguées, conduisant à une plus grande diversité de cultures irriguées dans la région.

Le tournesol est une plante bien adaptée aux contraintes hydriques actuelles et futures pour les raisons suivantes :

- Les besoins en eau du tournesol sont assez faibles. Ainsi on estime les besoins en eau du tournesol pour maximiser le rendement à 420 mm (Champolivier et al.).
- Le tournesol est irrigué tôt dans l'année, au mois de juillet au plus tard. Il n'est donc pas affecté par les interdictions d'irriguer du mois d'août.
- Le tournesol réagit bien à de petits volumes d'eau amenés aux moments critiques. En chiffre, il est estimé qu'un tour d'irrigation de 40 mm en début de floraison permet d'accroître la production de 4 q/ha en moyenne (Champolivier et al.) et d'assurer une meilleure teneur en huile (Champolivier).

L'irrigation est un levier permettant d'augmenter et d'assurer les rendements des cultures. On ne voit pas encore son impact sur les rendements globaux du tournesol (courbe jaune) étant donné la faible surface de tournesol irriguée. Il y a actuellement un développement de l'irrigation sur certaines cultures en Occitanie, comme le tournesol ou la vigne. L'irrigation doit être un outil utilisé avec précision permettant d'assurer des récoltes correctes malgré des conditions climatiques difficiles.

Le tournesol semble donc être une culture bien adaptée aux conditions climatiques futures, et il est de plus en plus rentable puisque son prix est globalement en hausse ces dernières années. Il peine néanmoins à se développer du fait de la très grande pression subie de la part des oiseaux au moment des semis. Cela explique en bonne partie la stagnation des surfaces cultivées.

**A retenir**

L'irrigation du tournesol a augmenté en Occitanie entre 2003 et 2012. Cela est dû à une articulation de nombreux facteurs dont la hausse des cours du tournesol, la diversification des grandes cultures et le contexte climatique. La surface de tournesol irrigué s'est stabilisée depuis peu en Occitanie autour de 10 000 ha, sur 200 000 ha alloués à cette culture dans la région.

Le tournesol est une culture qui semble bien adaptée aux conditions climatiques futures mais dont les surfaces stagnent. Cela est dû à certaines difficultés dans la conduite de cette culture dont la pression des oiseaux notamment.

Pour en savoir plus :

Champolivier L., Debaeke P., Merrien A. (2011). Pourquoi irriguer le tournesol, une culture réputée tolérante à la sécheresse ?. *Innovations Agronomiques*, INRAE, 14, pp.151-164. hal-026472

Champolivier L. (2019) Irriguer son tournesol à bon escient, un exemple en région Rhône-Alpes. *Terre Inovia*: <https://www.terresinovia.fr/-/irriguer-son-tournesol-a-bon-escient-un-exemple-en-region-rhone-alpes>

Loubier, S., Campardon, M. & Morardet, S. (2013). L'irrigation diminue-t-elle en France ? Premiers enseignements du recensement agricole de 2010. *Sciences Eaux & Territoires*, 2(2), 12-19. <https://doi.org/10.3917/set.011.0012>



Evolution de l'irrigation en viticulture

🔑 Nature et source des données

- Données fournies par le Recensement agricole 2020

🕒 Indicateur

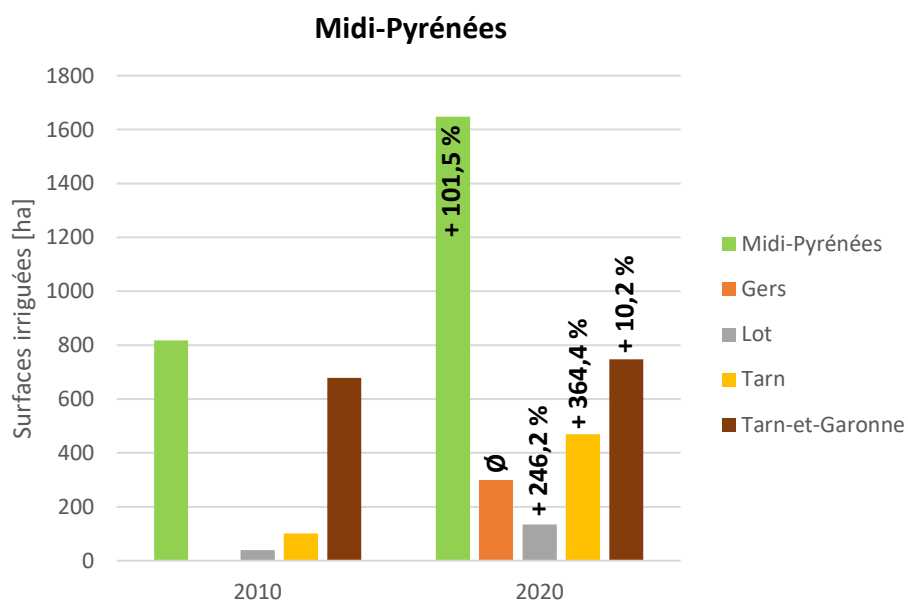
- Occitanie : 2010 et 2020
- Midi-Pyrénées (Gers, Lot, Tarn, Tarn-et-Garonne) et Languedoc-Roussillon (Aude, Gard, Hérault, Pyrénées-Orientales) : 2010 et 2020

🧮 Calcul de l'indicateur

- Evolution de la part de surface de vignes irriguées entre 2010 et 2020

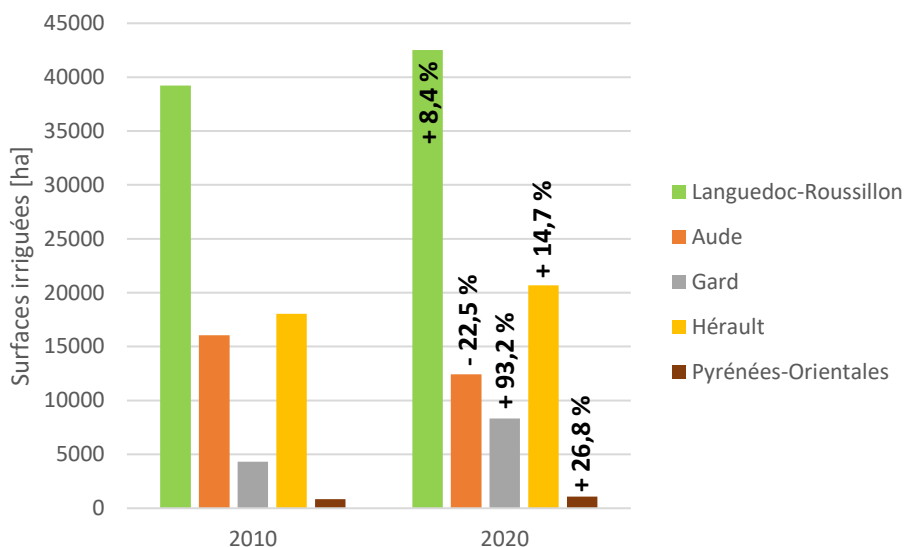
📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Surfaces de vignes irriguées en hectares





Languedoc-Roussillon



L'étude des adaptations de l'agriculture face au changement climatique est essentielle pour anticiper et atténuer les effets néfastes de ce phénomène sur les systèmes agricoles. L'une de ces adaptations concerne l'irrigation, une pratique clé pour maintenir la productivité des cultures dans des conditions climatiques changeantes. Dans ce contexte, l'évolution des surfaces irriguées de viticulture en Occitanie offre un aperçu des efforts entrepris par les agriculteurs pour s'adapter aux nouvelles réalités climatiques.

L'évolution des surfaces viticoles irriguées pour les principaux départements viticoles d'Occitanie entre 2010 et 2020 est ainsi reprise dans le tableau suivant :

	Surfaces irriguées en 2010 (en ha)	Surfaces irriguées en 2020 (en ha)	Evolution entre 2010 et 2020 (en ha)
Occitanie	40048	44231	+ 4183
Aude	16039	12429	- 3610
Gard	4307	8320	+ 4013
Gers	0	297	+ 297
Hérault	18038	20687	+ 2649
Lot	39	135	+ 96
Pyrénées-Orientales	842	1068	+ 226
Tarn	101	469	+ 368
Tarn-et-Garonne	678	747	+ 69



On observe ainsi une augmentation des surfaces irriguées viticoles dans la plupart des départements d'Occitanie, montrant ainsi les efforts déployés par les agriculteurs pour faire face aux changements climatiques et à l'augmentation des épisodes de chaleur et de sécheresse.

Parmi les départements, le Gard et l'Hérault se distinguent par les plus grandes augmentations des surfaces irriguées de viticulture. Cela peut être attribué à la volonté des agriculteurs de maintenir la qualité et la productivité de leurs vignobles face aux températures de plus en plus élevées : en 62 ans, les températures estivales ont en effet augmenté de + 0,54°C pour le Gard et de + 0,47°C pour l'Hérault (cf. « Températures moyennes saisonnières »).

Cependant, il est important de noter que certains départements ont connu une diminution des surfaces irriguées, comme l'Aude, voire l'absence totale d'irrigation, comme le Gers en 2010. Cette disparité peut s'expliquer par des facteurs tels que la disponibilité de l'eau, les politiques locales et les préférences des agriculteurs.

Afin d'observer l'importance croissante de l'irrigation dans la gestion des exploitations viticoles, il est intéressant de comparer l'évolution des surfaces viticoles irriguées avec l'évolution des surfaces viticoles en général en Occitanie. Le tableau ci-dessus montre ainsi cette évolution sur la même période (soit entre 2010 et 2020) pour les mêmes départements :

	Surfaces irriguées en 2010 (en ha)	Surfaces irriguées en 2020 (en ha)	Evolution entre 2010 et 2020 (en %)
Occitanie	273003	255600	- 6,4 %
Aude	69126	63673	- 7,9 %
Gard	55604	54703	- 1,6 %
Gers	18819	21379	+ 13,6
Hérault	86053	78573	- 8,7 %
Lot	5152	5113	- 0,8 %
Pyrénées-Orientales	25610	19837	- 22,5 %
Tarn	6889	6985	+ 1,4 %
Tarn-et-Garonne	2923	2796	- 4,3 %

On observe ainsi que les surfaces viticoles ont majoritairement tendance à diminuer en Occitanie. Lorsque ces deux tendances sont donc mises en perspective, il est clair que l'irrigation joue un rôle de plus en plus crucial dans la gestion des exploitations viticoles en Occitanie. Alors que les surfaces viticoles diminuent, les surfaces viticoles irriguées augmentent, mettant en évidence le rôle de l'irrigation comme une adaptation essentielle pour maintenir la viabilité économique et la résilience des exploitations viticoles dans un contexte de changement climatique.



En effet, l'irrigation permet entre autres de maintenir une disponibilité en eau constante dans le sol, ce qui est essentiel pour la croissance et le développement des vignes. Une étude réalisée par Ojeda et al. en 2014 a montré que l'irrigation contrôlée peut améliorer la qualité des raisins en favorisant une maturation plus régulière et en réduisant le stress hydrique, ce qui se traduit par une meilleure composition en sucres et en acides dans les raisins.

A retenir

- ✓ Le fonctionnement hydrique des vignobles est fortement impacté par le changement climatique. Les besoins en irrigation augmentent en effet pour maintenir le confort hydrique des plantes, plaçant la ressource en eau comme sujet stratégique (et complexe) pour la filière.
- ✓ Développer l'irrigation de précision pour piloter l'état hydrique de la vigne peut ainsi être un levier d'adaptation, mais qui suppose des pratiques économes en eau, prenant en compte la durabilité de la ressource.

Pour en savoir plus :

Ollat, N., Diakou-Verdin, P., Carde, J. P., & Barrieu, F. (2016). L'adaptation de la vigne au déficit hydrique : une approche multi-organes. Dans *La vigne face au changement climatique* (pp. 249-274). John Wiley & Sons, Inc.

Parker, A. K., Hoffmann, S., & Easdale, M. H. (2017). Climate change effects on grape and wine production: a review. *Journal of Wine Research*, 28(2), 111-139.

Duchêne, E., Huard, F., & Dumas, V. (2010). Le défi de l'adaptation des variétés de vigne au changement climatique. *OENO One*, 44(3), 163-174.

Ojeda H., Saurin N., 2014. L'irrigation de précision de la vigne : méthodes, outils et stratégies pour maximiser la qualité et les rendements de la vendange en économisant de l'eau. *Innovation agronomique*, INRAE, 38, pp.97-108.



Méthanisation agricole : évolution de la production d'énergie renouvelable

Nature et source des données

Données fournies par l'OREO en partenariat avec le CRGV Occitanie.

Indicateur

Evolution du nombre d'unité de méthanisation agricoles et de leur production d'énergie renouvelable par injection ou cogénération en Occitanie.

Rappel

La méthanisation est un processus naturel biologique qui permet de produire de l'énergie renouvelable à partir de déchets organiques (déchets agricoles tels que fumiers, lisiers et résidus de cultures, déchets industriels et ménagers, etc.). Le biogaz produit est constitué principalement du méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂). Il existe plusieurs façons de le valoriser pour produire de l'énergie :

-cogénération : le biogaz est utilisé pour alimenter un moteur qui va entraîner un alternateur pour produire de l'électricité, et de la chaleur récupérée

-injection : le biogaz est injecté, après épuration, directement dans le réseau de gaz naturel.

-chaudière : le biogaz est brûlé pour récupérer de la chaleur

-mobilité : le biogaz est utilisé comme carburant pour des véhicules

La méthanisation présente de nombreux bénéfices comme :

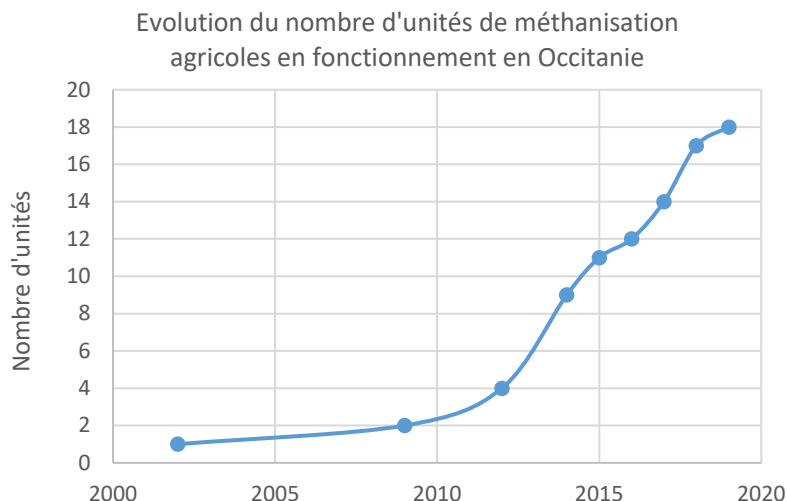
- La production d'énergie renouvelable via la valorisation des effluents agricoles pour répondre aux enjeux climat et à la réduction des émissions de Gaz à effet de serre.
- L'évolution des pratiques et assolements permettant d'augmenter l'autonomie en azote (digestat) et la couverture des sols (cultures intermédiaires - CIVE)
- Les projets territorialisés combinant traitement des déchets, boucle énergétique locale, création de valeur d'ajoutée et d'emplois

La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), outil de pilotage de la politique énergétique, fixe les objectifs de développement des énergies renouvelables pour les différentes filières. L'objectif d'augmentation de la consommation de biométhane au niveau national est de 14 TWh PCS dont 6 TWh injectés. En Occitanie, la Région porte une stratégie « RÉGION À ÉNERGIE POSITIVE (REPOS) » visant à développer fortement les énergies renouvelables et réduire les consommations d'énergie d'ici 2040. Le scénario REPOS prévoit une montée progressive de la production de biogaz par méthanisation



de 4 000 GWh en 2050 assurée à 20 % par des installations de « biogaz à la ferme » avec utilisation locale en cogénération, et à 80 % par des unités de méthanisation produisant un biométhane pouvant être injecté puis stocké directement sur le réseau existant.

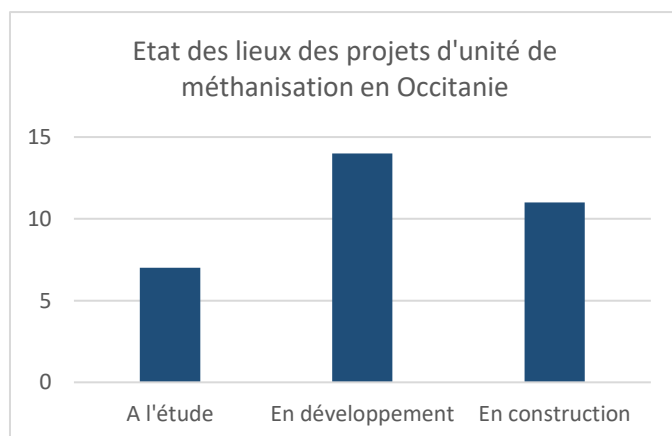
Evolution observée



Analyse

- 17 unités de méthanisation agricole en cogénération sont en fonctionnement en 2021 pour une puissance installée de 4117 Kwe.
- 1 unité de méthanisation agricole en injection en fonctionnement avec un débit installé de 170 nm³.

Ces unités sont localisées dans 6 départements : Aveyron, Lot, Tarn, Tarn-et-Garonne, Lozère et Hautes-Pyrénées essentiellement dans des zones d'élevage. Sur ces 18 unités en fonctionnement, 2 sont des collectifs agricoles et 16 sont des unités agricoles individuelles.



La dynamique tend à s'accélérer en région avec de nombreux projets à différents stades d'avancement (7 projets à l'étude, 14 projets en cours de développement et 11 projets en construction). La majorité des projets actuels (60%) sont en injection.

Un projet de méthanisation s'analyse simultanément sur les angles techniques, économiques, juridiques et contractuels. Les difficultés rencontrées lors du montage d'un projet, qui peuvent être de nature différentes (réglementaire, économique, sociétale...), ont ainsi entraîné l'abandon de 34 projets en Occitanie.

**A retenir**

- ✓ La méthanisation agricole est en développement en Occitanie, majoritairement sur des projets en injection.
- ✓ Les unités sont jusqu'à présent concentrées sur la partie Ouest de la région du fait de la typologie des exploitations agricoles.
- ✓ La méthanisation permet d'une part de contribuer à la production d'énergie renouvelable, et d'autre part de réduire les GES par la valorisation des effluents agricoles et la réduction du recours aux engrais minéraux via l'épandage du digestat.



Surface en légumineuses en grandes cultures et en prairies artificielles

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE de 1989 à 2020

🕒 Indicateur

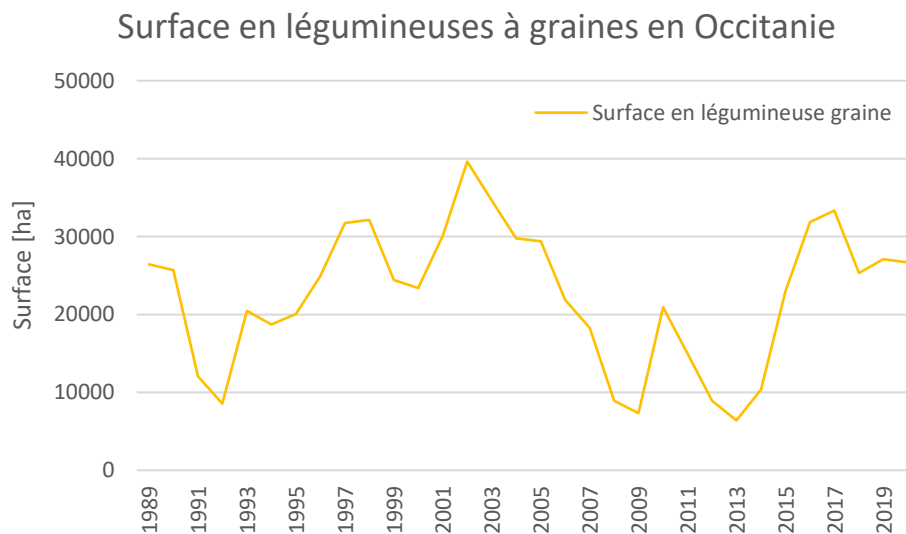
- Occitanie

Calcul de l'indicateur

- Surface annuelle cultivée en légumineuses à graines (soja, pois, féveroles, fèves, lupin et autres légumineuses) : 1989 à 2020
- Surface annuelle cultivée en prairies artificielles avec au moins 80% de légumineuses (luzerne, trèfles...) : 2000 à 2020

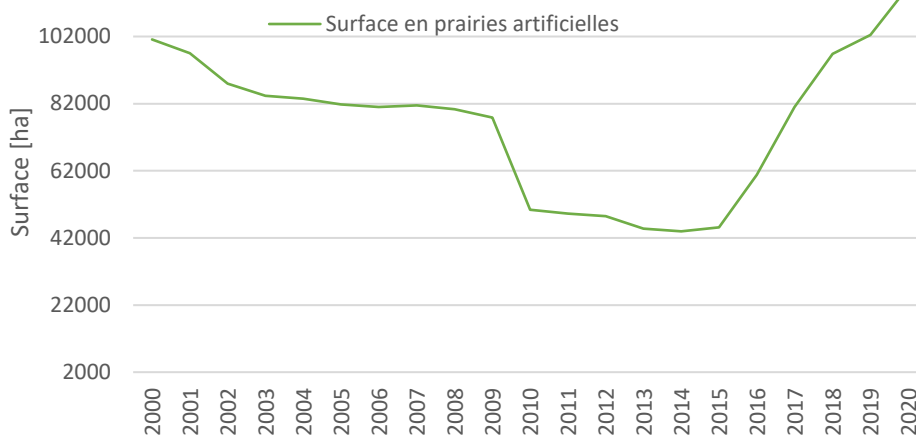
📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Surface cultivée [ha]





Surface en prairies artificielles en Occitanie



Préambule

Surface en légumineuses à graines :

Lors des épandages, une partie des engrais azotés s'évapore sous forme de N_2O , un gaz dont le pouvoir de réchauffement global de l'atmosphère est 265 fois plus important que le CO_2 . Les légumineuses ont la capacité de fixer l'azote de l'air et de l'utiliser pour leur développement grâce à une symbiose, elles n'ont donc pas besoin de fertilisation azotée. Selon une étude menée par l'INRAE en France en 2013, la culture d'une légumineuse graine permet la réduction d'émission de gaz à effet de serre d'entre 1,5 et 2 teq CO_2 par hectare et par an. Cette réduction a deux origines :

- La baisse des émissions directes, c'est-à-dire la réduction de la volatilisation des nitrates pour la culture de légumineuses et pour la culture suivante. Cette diminution comprend aussi la moindre circulation des tracteurs sur les parcelles. Cela correspond à une baisse des émissions de 0,6 à 1 teq CO_2 par hectare et par an.
- La baisse des émissions indirectes, c'est-à-dire la baisse de production et de transport des engrais azotés. Cela correspond à une baisse des émissions d'environ 1 teq CO_2 par hectare et par an.

A cela s'ajoute une moindre dépendance aux protéines végétales d'importations, comme le soja du Brésil ou des Etats-Unis. Ces cultures sont faites avec des normes écologiques moins strictes qu'en Europe (déforestation, engrais, pesticides et OGM) entraînent des émissions de gaz à effet de serre lors de leur importation. La baisse des émissions totales est donc probablement supérieure à celle indiquée précédemment grâce à la réduction de ces importations.



Surfaces en prairies artificielles :

Les prairies artificielles sont des prairies semées avec légumineuses pour assurer la ration protéique du cheptel ruminant. Les gains d'atténuations sont les mêmes que pour les légumineuses à graines.

Analyse

Surface en légumineuses à graines :

La surface en légumineuses était élevée dans les années 1980 du fait d'un embargo des Etats-Unis d'Amérique sur le soja, amenant ainsi la France et l'Europe à organiser l'autonomie en protéine. A la fin de cet embargo, la spécialisation des exploitations et la concurrence internationale ont fait chuter la part de légumineuses à la fin des années 1980. Suite à cette dynamique, une politique de soutien a été mise en place en France, et elle a particulièrement bien fonctionné en Occitanie comme l'illustre la courbe sur la période des années 1990. Cependant, dans les années 2000, une Politique Agricole Commune (PAC), alors défavorable aux protéagineux, va faire fortement diminuer les surfaces de légumineuses au profit d'oléagineux comme le colza ou le tournesol. Finalement, une nouvelle aide nationale a débuté en 2010 et a permis aux légumineuses de revenir autour de 30 000 ha cultivés chaque année en Occitanie, soit un peu moins de 1% de la SAU.

Surfaces en prairies artificielles :

Les surfaces de prairies artificielles ont été en légère diminution de 2000 à 2015. En 2015 a débuté une forte hausse qui a mené à un quasi-triplement de ces surfaces (de 40 000 ha à 120 000 ha). Cette inversion dans la tendance est ici aussi la conséquence de choix politiques avec notamment la réforme de la PAC de 2015 qui a revalorisé les aides à la production de protéines fourragères.

A retenir

La culture de légumineuses permet de réduire les émissions du secteur agricole d'au moins 1,5 teq CO₂ par hectare et par an. La surface allouée à ces cultures a connu de grandes variations ces trente dernières années en Occitanie. Les fortes fluctuations, hausses ou baisses, traversées ont toutes des origines politiques, nationales, européennes ou internationales. Cela démontre qu'il est possible de favoriser l'atténuation via des leviers politiques d'aides et ainsi limiter le réchauffement climatique.

Pour en savoir plus :

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

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation : <https://agriculture.gouv.fr/plan-proteines-vegetale>



Surfaces en oléagineux

🔑 Nature et source des données

Données annuelles disponibles sur AGRESTE de 2000 à 2020

🕒 Indicateur

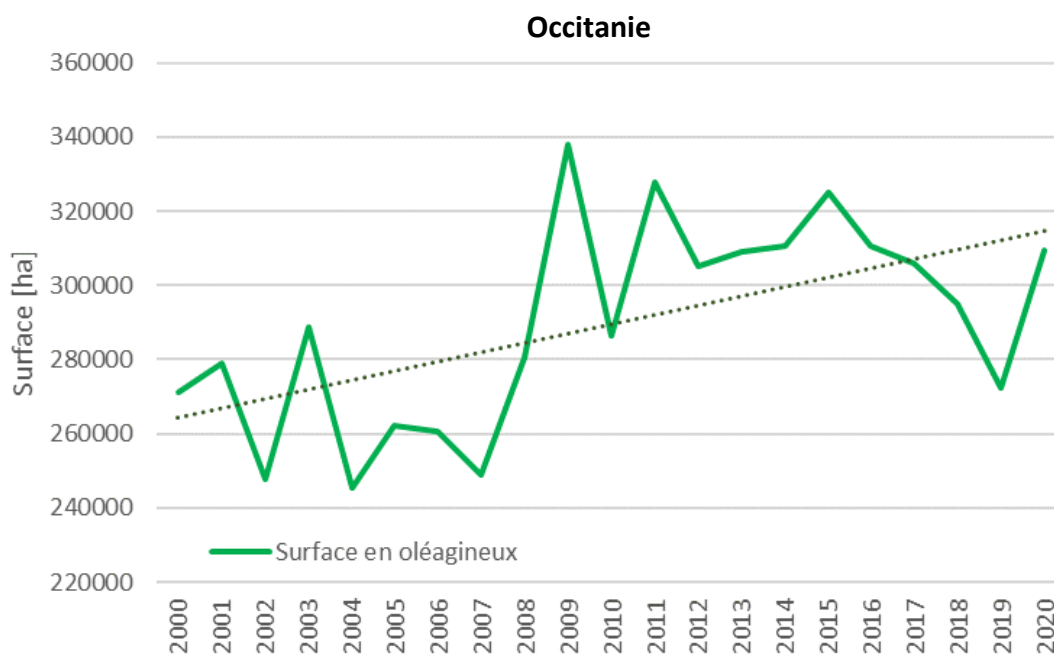
- Occitanie
- Ariège, Aude, Aveyron, Gard, Haute-Garonne, Gers, Hérault, Lot, Hautes-Pyrénées, Tarn, Tarn-et-Garonne

Calcul de l'indicateur

- Evolution des surfaces annuelles cultivées en oléagineux de 2000 à 2020

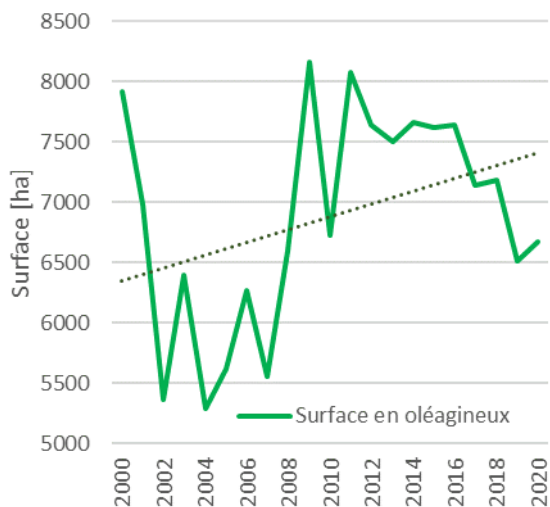
📈 Évolution observée

- En abscisse : Années
- En ordonnée : Surface cultivée en hectares

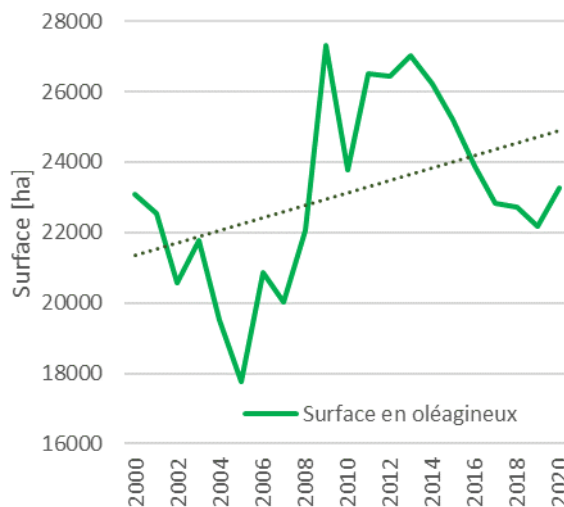




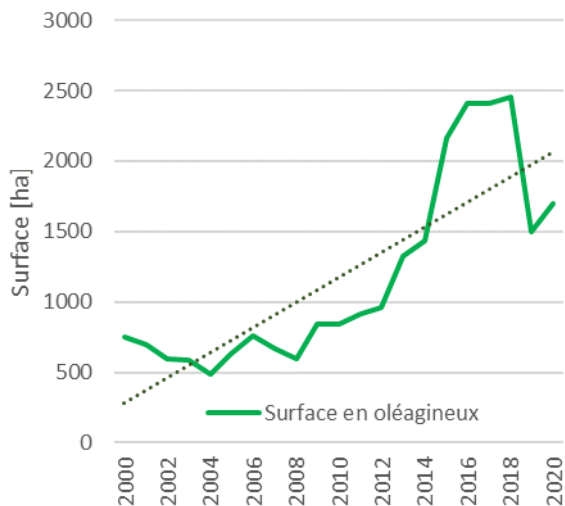
Ariège (09)



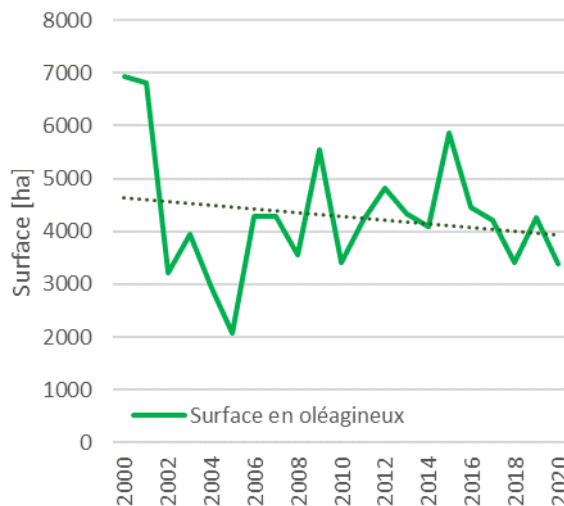
Aude (11)



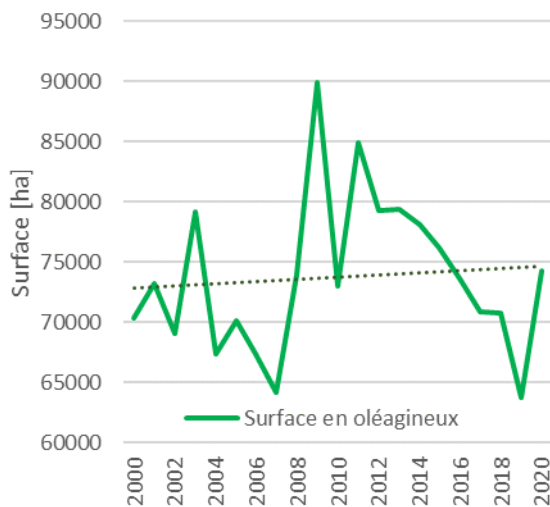
Aveyron (12)



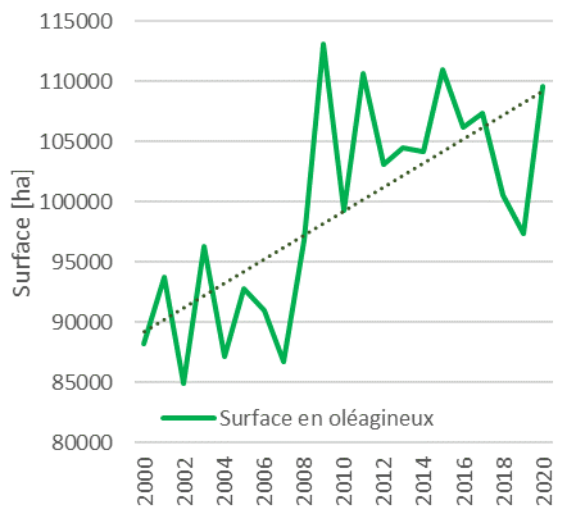
Gard (30)



Haute-Garonne (31)

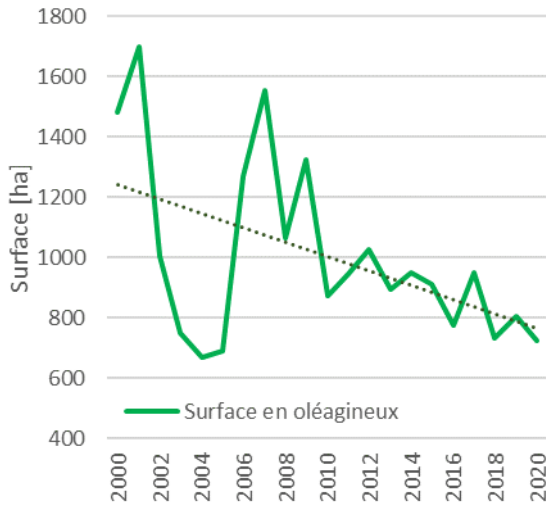


Gers (32)

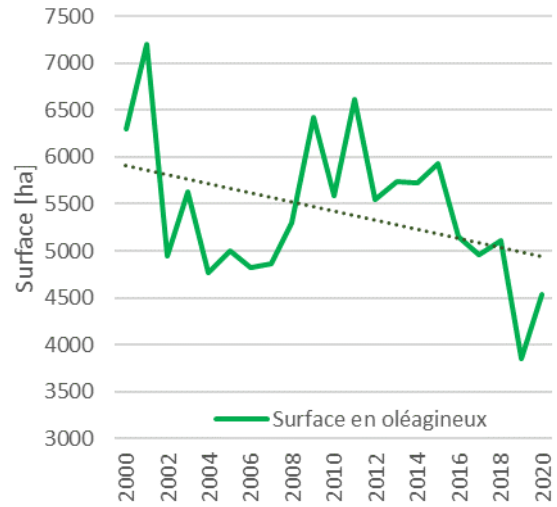




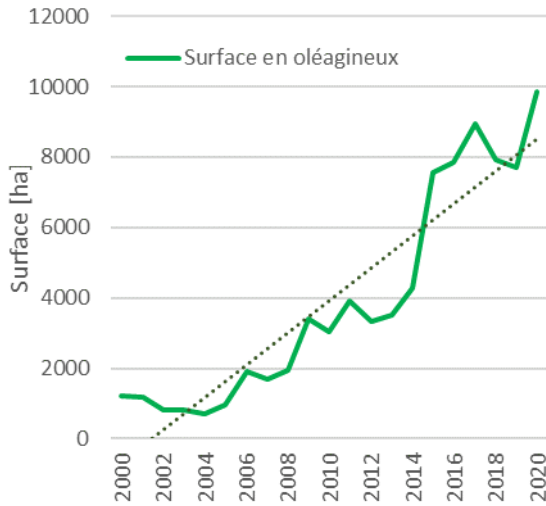
Hérault (34)



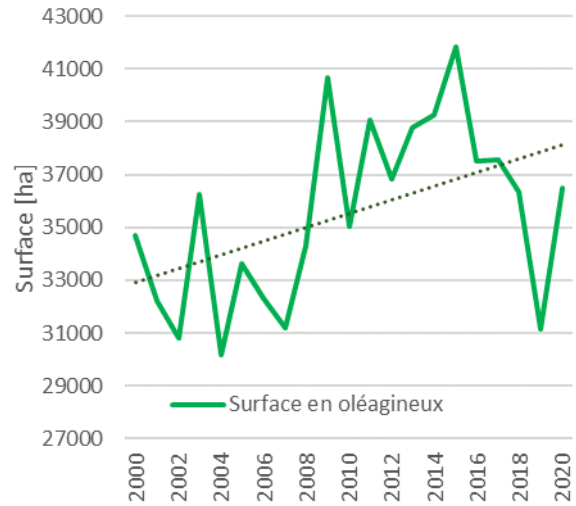
Lot (42)



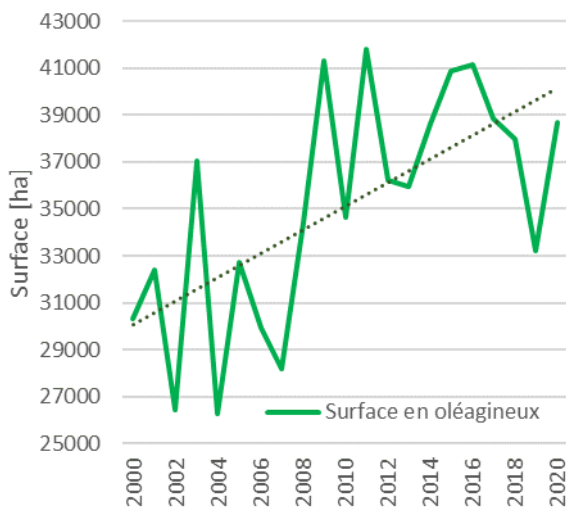
Hautes-Pyrénées (65)



Tarn (81)



Tarn-et-Garonne (82)





Les cultures oléagineuses comprennent une variété de plantes, parmi lesquelles les plus courantes sont le colza, le tournesol, le soja, les arachides, les graines de coton et les graines de lin. En France, les cultures oléagineuses ont gagné en popularité en raison de leur valeur économique et de leurs avantages environnementaux. Les agriculteurs ont progressivement adopté ces cultures pour diversifier leurs exploitations et répondre à la demande croissante de produits oléagineux, notamment pour l'alimentation humaine, l'industrie agroalimentaire et la production de biocarburants.

En Occitanie, les oléagineux les plus communs sont le tournesol (176 075 ha cultivés en 2021), le soja (53 765 ha en 2021) et le colza (27375 ha en 2021) (Agriscopie, 2023).

Les évolutions de surfaces annuelles cultivées en oléagineux en Occitanie durant les 20 dernières années sont les suivantes :

	Evolution des surfaces entre 2000 et 2020 (en ha)	Significativité
Occitanie	+ 50 616 ha	NS
Ariège	+ 1 056 ha	NS
Aude	+ 3 543 ha	NS
Aveyron	+ 1 786 ha	S***
Gard	- 687 ha	NS
Haute-Garonne	+ 1 831 ha	NS
Gers	+ 19 983 ha	S***
Hérault	- 477 ha	S*
Lot	- 968 ha	NS
Hautes-Pyrénées	+ 9 172 ha	S***
Tarn	+ 5 212 ha	S*
Tarn-et-Garonne	+ 10 068 ha	S**

On observe ainsi que la moitié des départements montrent une augmentation significative de l'évolution des surfaces en oléagineux. De grandes variations sont cependant présentes, entre les départements mais entre les différentes années étudiées. Ces variations pourraient être le résultat d'une combinaison de facteurs, tels que les politiques agricoles, les conditions climatiques locales et les demandes du marché. Néanmoins, la tendance générale à la hausse pourrait laisser penser à une prise de conscience croissante de l'importance de ces cultures dans l'atténuation du changement climatique.



En effet, la plantation d'oléagineux contribue à l'atténuation du changement climatique de plusieurs manières. On peut par exemple parler de la séquestration du carbone dans le sol. En effet, les oléagineux, comme le colza et les tournesols, ont des systèmes racinaires profonds et étendus qui contribuent à l'enrichissement en matière organique du sol et à la séquestration du carbone. Une étude réalisée par Smith et al. (2018) a montré que les cultures oléagineuses ont un potentiel significatif pour augmenter la teneur en carbone organique des sols, contribuant ainsi à la réduction des émissions de CO₂ atmosphérique.

Les oléagineux contribuent également à l'atténuation des effets du changement climatique via la rotation des cultures : ils peuvent être utilisés dans des rotations avec d'autres plantes, ce qui aide à réduire la pression sur les sols et à promouvoir des pratiques agricoles durables. Une recherche menée par Lal et al. (2019) a souligné l'importance de la rotation des cultures dans l'atténuation du changement climatique en favorisant la stabilité des écosystèmes agricoles.

Enfin, les oléagineux sont utilisés dans la production de biocarburants, qui peuvent servir de substituts aux carburants fossiles.

La plantation d'oléagineux offre ainsi des avantages concrets pour l'atténuation du changement climatique. Il est donc essentiel de continuer à promouvoir ces cultures pour maximiser leur contribution à la lutte contre le changement climatique et à la transition vers une agriculture plus durable.

Cependant, il est important de noter que la contribution réelle de la culture des oléagineux à l'atténuation du changement climatique dépend de nombreux facteurs, tels que les pratiques agricoles utilisées, la gestion des terres, l'utilisation de ressources en eau et les techniques de transformation des produits. Il est essentiel de mettre en œuvre des pratiques agricoles durables et une gestion responsable pour maximiser les avantages environnementaux de la culture des oléagineux en Occitanie.

A retenir

- ✓ L'évolution des surfaces en oléagineux connaît une augmentation significative dans la moitié des départements d'Occitanie. Les cultures oléagineuses ont en effet gagné en popularité en raison de leur valeur économique et de leurs avantages environnementaux. Parmi ceux-ci, on peut notamment citer le captage du CO₂ lors de leur croissance et le stockage du carbone dans le sol, ainsi que leur utilisation comme sources d'énergie en remplacement des combustibles fossiles (exemple des biocarburants).

Note statistique : sur ce jeu de données, trois tests statistiques ont été appliqués : régression linéaire, régression polynomiale et test de tendance non paramétrique de Mann Kendall.

**Pour en savoir plus :**

Smith, P., et al. (2018). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)].

Lal, R., et al. (2019). Sustainable intensification of world agriculture. *Sustainable Development*, 27(3), 465-479.