



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE

CLIMAT
AGROCLIMAT
IMPACTS
ADAPTATIONS | AGRICOLES
ATTENUATIONS



Soutenu et financé par :

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



Etat des lieux
sur le changement climatique
et ses incidences agricoles en
région Auvergne-Rhône-Alpes



Edition 2023

Avec le soutien financier de :

Direction Régionale Auvergne-Rhône-Alpes de l'ADEME
Chambre Régionale d'Agriculture Auvergne-Rhône-Alpes
Région Auvergne-Rhône-Alpes
Compte d'affectation spéciale "développement agricole et rural"

Comité de pilotage :

CRA Auvergne-Rhône-Alpes	La Coopération Agricole Auvergne-Rhône-Alpes
DR Auvergne-Rhône-Alpes de l'ADEME	CTIFL
Région Auvergne-Rhône-Alpes	Educagri
DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes	IDELE
DREAL Auvergne-Rhône-Alpes	INRAE
Auvergne-Rhône-Alpes Energie Environnement	ISARA
Météo France	SEFRA
Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse	SENURA
Agence de l'eau Adour-Garonne	SIDAM
Agence de l'eau Loire-Bretagne	Terres Inovia
Arvalis Institut du végétal	VetAgro Sup
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	PNR des Baronnies provençales
Cerema	

Direction éditoriale et expertise agronomique

CRA Auvergne-Rhône-Alpes.

Données et expertise climatiques

Météo France



Contributions :

Réseau des Chambres d'agriculture de Auvergne-Rhône-Alpes, Oxyane, Valsoleil, Coopenoix.

Documents téléchargeables sur :

www.aura.chambres-agriculture.fr



Edition 2023 : liste des fiches

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Température moyenne annuelle	9
Nombre de jours de gel par an	24
Nombre de jours estivaux par an	31
Cumul annuel de précipitations	38
Cumul saisonnier de précipitations	54

2 AGRO CLIMAT

Date de la dernière gelée	62
Date de mise à l'herbe	70
Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps	78
Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers	91
Nombre de jours très chauds l'été sur la vigne	97
Indice de Winkler	100
Nombre de jours échaudants au printemps	105
Choix variétaux de maïs	111
Faisabilité thermique du sorgho fourrager	117
Réussite des semis de colza	123

3 IMPACTS AGRICOLES

Date de floraison de l'abricotier Bergeron	127
Surfaces irriguées en maïs grain	131
Niveau des nappes souterraines	137
Impact de l'ozone sur la végétation	142
Impact de l'ozone sur la forêt	146
Rendement du maïs grain	150
Rendement du maïs grain irrigué et non irrigué	156
Rendement de l'orge d'hiver	161
Rendement du colza	168
Rendement du tournesol	174
Rendement du maïs fourrage	179



4 ADAPTATION

Leviers d'adaptation : Cultures de blé.....	186
Leviers d'adaptation : Prairies	188
Leviers d'adaptation : Cultures de maïs	191

5 ATTENUATION

Occupation des sols par l'agriculture	193
Livraisons régionales d'engrais azotés	200
Surfaces en légumineuse a graine.....	203
Émissions agricoles de gaz à effet de serre	206
Production d'énergies renouvelables : Méthanisation	213



Qu'est-ce qu'ORACLE Auvergne-Rhône-Alpes ?

ORACLE Auvergne-Rhône-Alpes (**Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement Climatique**) est un observatoire mis en œuvre par la Chambre Régionale d'Agriculture, suivant ainsi neuf autres régions de France, afin de partager des indicateurs de suivi du changement climatique et de ses conséquences pour l'agriculture en région Auvergne-Rhône-Alpes afin d'envisager une adaptation des systèmes agricoles.

ORACLE Auvergne-Rhône-Alpes est intégré au sein de la stratégie climat de la Chambre d'Agriculture Régionale Auvergne-Rhône-Alpes. De nombreux partenaires institutionnels sont également parties prenantes du projet.

L'observatoire permet de suivre des indicateurs rassemblés par familles :

- climatiques
- agro-climatiques
- d'impact agricole du changement climatique
- d'adaptation au changement climatique
- d'atténuation du changement climatique

Ces indicateurs traitent des données du passé, compilées sur plusieurs décennies, permettant de comparer des moyennes trentenaires pertinentes pour l'étude du climat. Pour chaque indicateur, le livret comporte une représentation graphique de l'indicateur ainsi qu'une analyse agronomique. Les familles d'indicateurs "climatiques" et "agro-climatiques" sont fournies par Météo France à travers une convention dédiée. Les trois autres familles d'indicateurs (impact agricole, adaptation et atténuation) sont entièrement construites par les porteurs de l'observatoire à partir de données de leurs choix (instituts techniques, instituts de recherche, OPA...).

- Les indicateurs « d'impact » rendent compte des changements subis sur les pratiques agricoles, le matériel biologique, les paysages, les filières liés de près ou de loin au changement climatique. La relation de causalité n'est pas toujours univoque et sera spécifiée au cas par cas
- Les indicateurs « d'adaptation » rendent compte des modifications choisies des pratiques agricoles pour faire face au changement climatique
- Les indicateurs « d'atténuation » rendent compte des leviers actionnés pour contribuer à réduire l'impact de l'agriculture sur le changement climatique et améliorer le stockage du carbone.

Une complémentarité entre ORACLE et l'Observatoire Régional Climat Air Energie ([ORCAE](#)) est également recherchée. Des renvois vers les fiches-indicateurs ou les analyses thématiques d'ORCAE sont présents au sein du livret ORACLE. Les compléments apportés par ORACLE permettent d'illustrer des tendances climatiques et leur impact sur les productions agricoles actuelles (modification des bassins favorables à certaines productions, évolution des dates des travaux agricoles, dynamique des rendements agricoles...).

Une articulation avec le projet Adaptations des Pratiques Culturelles au Changement Climatique ([AP3C](#)) a aussi été mise en place. Ce projet a pour vocation de produire des projections localisées, à l'échelle parcellaire, à l'horizon 2050, sur la base de données quotidiennes observées entre 1980 et 2015. Le projet ORACLE a pour vocation à représenter exclusivement des données passées et observées, sans faire de projections vers le futur. Le projet AP3C étant déployé en Auvergne et dans la Loire, et afin de valoriser au mieux les résultats existants produits sur ces départements, vous trouverez dans ce livret ORACLE des résultats relatifs aux données observées homogénéisées du projet AP3C.



Méthodologie statistique

Les analyses des séries historiques des indicateurs sont principalement centrées sur la recherche de tendances de long terme. Pour ce faire, un modèle d'ajustement doit être appliqué sur les données. Le premier ajustement testé est celui de la régression linéaire. Le test de Student est utilisé sur la pente de la droite afin de vérifier la significativité de la tendance observée sur le graphique réalisé avec Excel.

Le test de Student, comme tous les autres tests statistiques à hypothèses, doit vérifier certaines conditions d'application afin de pouvoir valider les résultats. Les résidus, différences entre les valeurs observées et les valeurs estimées par un modèle de régression, doivent donc respecter :

- La normalité (profil d'une courbe de Gauss)
- L'homoscédasticité (variance homogène, quelle que soit leur position)
- L'indépendance (moyenne centrée sur 0, quelle que soit leur position)

Avec le logiciel R, la méthode consiste à étudier les éléments graphiques, afin de voir si un problème manifeste existe. Des tests statistiques (Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan et Durbin-Watson) peuvent accompagner ces interprétations graphiques.

En partant du principe que l'équation de la droite d'ajustement est la suivante : $y = ax + b$. Les hypothèses posées pour le test du coefficient a sont :

- $H_0: a = 0$: pas de tendance *a priori*
- $H_1: a \neq 0$: tendance à l'augmentation (si $a > 0$) ou à la diminution (si $a < 0$)

Il s'agit d'affirmer que les régressions linéaires correspondent à une tendance réelle et fiable, et non pas à des variations dues au hasard. La marge d'erreur choisie est de 5%. La comparaison de la valeur de P donnée par le test à la marge d'erreur choisie permet de rejeter une des deux hypothèses.

La régression polynomiale est un cas particulier de régression multi linéaire. L'analyse de ce modèle et la comparaison avec la régression linéaire simple doivent permettre de faire un choix sur le modèle le plus adapté aux données. La régression polynomiale doit aider à construire un modèle dans le cas de données non linéaires.

Le principe reste le même pour le modèle polynomial quadratique (de degré 2) que pour le modèle linéaire simple. Les conditions d'application sont vérifiées de la même manière que précédemment. En partant du principe que l'équation de la droite d'ajustement est la suivante : $y = ax^2 + bx + c$.

Les hypothèses posées pour ces tests sont les suivantes :

- $H_0: a = 0$ $H_0: b = 0$: pas de tendance *a priori*
- $H_1: a \neq 0$ $H_1: b \neq 0$: tendance à l'augmentation / diminution et à l'accélération

Si le coefficient a est significativement différent de 0, il y a une accélération du phénomène observé.

Afin de valider le choix du modèle, trois éléments sont à prendre en compte : la validation des conditions d'application, la représentation graphique et la comparaison de l'ajustement des deux modèles.

La comparaison des ajustements se fait avec le test de Fisher. Les hypothèses sont les suivantes :

- H_0 : L'ajustement des deux modèles sont égaux
- H_1 : L'ajustement des modèles sont différents

La comparaison de la valeur de F donnée par le test à la marge d'erreur choisie permet de rejeter une des deux hypothèses. Si H_1 est retenue, les données sont mieux représentées par une courbure que par une droite.



Méthodologie statistique

Les représentations graphiques des indicateurs sont choisies par station. Si aucune des régressions linéaire et polynomiale ne montre des résultats significatifs, la moyenne appelée mobile ou glissante sera choisie comme modèle d'ajustement. Par convention, Météo France utilise une moyenne glissante calculée sur 11 ans. Pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5. Elle permet la suppression des fluctuations de façon à en souligner les tendances. Cette moyenne est dite mobile parce qu'elle est recalculée de façon perpétuelle. Ceci tend à lisser le phénomène étudié en noyant les valeurs extrêmes dans une masse de données davantage représentative d'une tendance moyenne.

NB : Les données utilisées dans le cadre d'ORACLE sont, pour la plupart, homogénéisées. La méthodologie d'homogénéisation mise en place par Météo France consiste à rechercher les ruptures d'homogénéité dans la série (déplacement des points de mesures, modification de leur environnement, changements de capteurs ou d'observateurs, changements d'heures d'observations...) et de les corriger. Toutefois, les séries météorologiques n'ont pas toutes été homogénéisées jusqu'en 2021. A partir de 2015, il est courant que les données utilisées soient brutes et peuvent donc présenter des inexactitudes.



Qu'est-ce qu'AP3C ?

AP3C (Adaptations des Pratiques Culturelles au Changement Climatique) est un projet de Recherche et Développement lancé en septembre 2015. Son objectif est d'obtenir des informations localisées permettant une analyse fine des impacts du changement climatique sur le territoire, en vue d'adapter les systèmes de production du Massif central et de sensibiliser l'ensemble des acteurs. Ce projet est animé par le SIDAM avec les compétences des ingénieurs de 11 Chambres d'Agriculture et de l'Institut de l'élevage.

Le projet AP3C a vocation à produire des projections localisées, à l'échelle parcellaire, à l'horizon 2050, sur la base de données quotidiennes observées entre 1980 et 2015. Le projet ORACLE a lui vocation à représenter exclusivement des données passées et observées, sans faire de projections vers le futur. Le projet AP3C étant déployé en Auvergne et dans la Loire, et afin de valoriser au mieux les résultats existants produits sur ces départements, vous trouverez dans ce livret ORACLE des résultats relatifs aux données observées homogénéisées du projet AP3C.

Les incertitudes statistiques restreintes présentées par AP3C tiennent compte d'informations de sur-échantillonnage, typiquement issues des données quotidiennes face à un indicateur annuel. La méthode complète utilise un générateur stochastique de temps qui produit 10 000 réanalyses, statistiquement équiprobables, sur la période d'observation (1980-2015). Les résidus obtenus lors de l'analyse chronologique (dé-construction) et injectés dans les réanalyses (re-construction) sont effectivement indépendants, uniformément centrés, normaux et homoscedastiques. La valeur de la tendance est la moyenne des coefficients directeurs des 10 000 réanalyses et l'incertitude est l'écart-type des 10 000 valeurs. Il n'y a pas d'utilisation du coefficient de corrélation par la méthode sophistiquée d'AP3C. L'incertitude statistique du coefficient directeur est utilisée à la place.

Pour se rapprocher de ce qui est présenté habituellement dans ORACLE, la pente A, en unités de base, l'incertitude (erreur-type) associée S et l'ordonnée à l'origine B sont calculées. A et B permettent de tracer une droite de régression. Avec A et S, la P-value peut être calculée. Afin de s'aligner sur les résultats habituellement présentés par ORACLE, les P-values correspondent à des tests bilatéraux.

Ressources :

[Site du SIDAM AP3C](#)

Contacts :

Allier : Amélie BOUCHANT - abouchant@allier.chambagri.fr

Cantal : Christophe CHABALIER - christophe.chabalier@cantal.chambagri.fr

Loire : Pierre VERGIAT - pierre.vergiat@loire.chambagri.fr

Haute-Loire : Mathias DEROULEDE - mderoulede@haute-loire.chambagri.fr

Puy-de-Dôme : Stéphane VIOLLEAU - s.violleau@puy-de-dome.chambagri.fr

Cette publication a mobilisé des données et outils acquis ou élaborés dans le cadre du projet Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique (AP3C) mis en œuvre par le SIDAM, les Chambres d'agriculture de l'Allier, de l'Aveyron, du Cantal, de la Corrèze, de la Creuse, de la Loire, de la Haute-Loire, du Lot, de la Lozère, du Puy-de-Dôme, de la Haute-Vienne avec des fonds Etat et des conseils régionaux des régions Auvergne Rhône-Alpes, Nouvelle-Aquitaine et Occitanie.

Les analyses et commentaires élaborés à partir de ces données n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.





Qu'est-ce qu'ORCAE ?

Les territoires d'Auvergne-Rhône-Alpes sont engagés dans des démarches énergie – climat dont l'élaboration, le suivi et l'évaluation reposent sur des diagnostics chiffrés. En Auvergne-Rhône-Alpes, les Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) de plus de 20 000 habitants doivent réaliser un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET). Ce besoin de mise à disposition de données au service de la mise en œuvre des PCAET et globalement des démarches intégrées des données climat, air et énergie est à l'origine de la création de l'Observatoire Régional Climat, Air et Energie (ORCAE). Par ailleurs le Conseil Régional doit suivre et mettre en œuvre le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET).

Les productions de l'observatoire alimentent ainsi en chiffres clés les partenaires régionaux et en données les collectivités porteuses d'un PCAET, celles regroupées en Schéma de Cohérence Territorial (SCOT) ou porteuse d'une démarche 'Territoires à Énergie POSitive' (TEPOS).

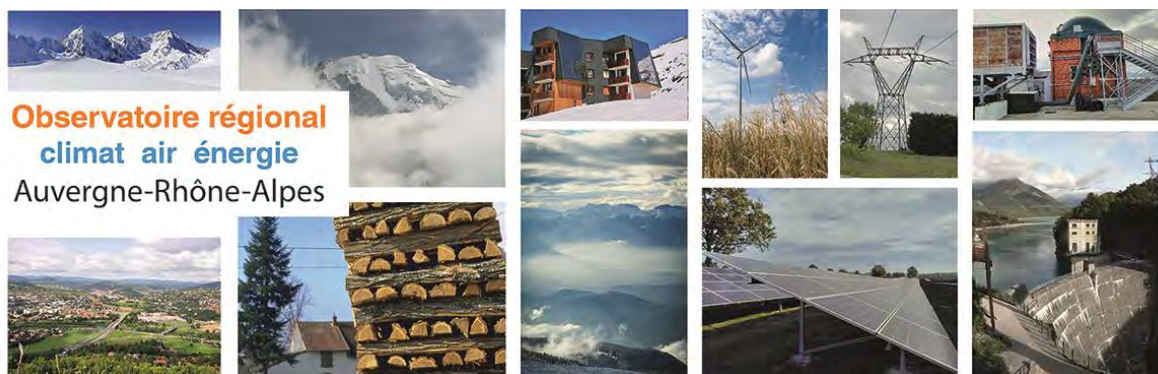
L'Observatoire Régional Climat Air Énergie d'Auvergne-Rhône-Alpes est piloté par cinq institutions : la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, l'ADEME Auvergne-Rhône-Alpes, les Agences de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et Loire-Bretagne, et la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Il est opéré par quatre structures : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, Auvergne-Rhône-Alpes Énergie - Environnement, le Cerema et Météo France.

Ressources :

[Site de l'ORCAE](#)

[Fondements de l'ORCAE](#)

[Méthodologie des indicateurs climat](#)



Observatoire régional
climat air énergie
Auvergne-Rhône-Alpes

Sous le pilotage de



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



Opéré par



Auvergne
Rhône-Alpes
Énergie Environnement





Comment ont été choisies les stations Météo France ?

Dans le cadre du partenariat de la Chambre Régionale d'Agriculture AURA avec Météo France pour ORACLE, les indicateurs fournis sont construits à partir de données collectées sur un type de stations bien précis : les stations dites « Climat HD », spécifiquement dédiée à l'étude du climat. Ces données ont la particularité d'avoir une profondeur importante (jusqu'en 1951), de ne pas présenter de rupture dans leur collecte et d'être homogénéisées afin de tenir compte des aléas possibles lors de la prise de mesure (changement d'outil, d'exposition, etc.). Cette haute qualité de données demande des moyens particuliers, ce qui limite fortement le nombre de stations Climat HD. Le choix des stations de suivi a donc été restreint selon les critères suivants :

- 1) **Pertinence de la localisation pour l'indicateur choisi** : la diversité intra départementale oblige à une certaine rigueur sur le choix de la station, certaines n'étant pas représentatives de tout leur département. C'est aux conseillers des Chambres Départementales d'Agriculture d'AURA qu'est revenue la tâche d'expertiser ce critère. Dans certains cas, une station hors du département peut être pertinente pour décrire de manière équivalente une localisation dépourvue de station Climat HD. C'est par exemple le cas de Mâcon, qui a servi pour décrire la plaine céréalière de l'Ain et le vignoble du Rhône. Son département de rattachement est systématiquement signalé au sein des fiches (exemple « Mâcon (01) »).
- 2) **Station « Climat HD »** : critère inhérent à la convention de Météo France.
- 3) **Type de données collectées** : toutes les stations Climat HD ne collectent pas l'intégralité des données de température et précipitations. Selon les indicateurs choisis, certaines ont donc été écartées faute de données adéquates.
- 4) **Profondeur de données suffisante** : toutes les stations Climat HD n'ont pas la même profondeur de données. Si l'une d'entre elles commence trop tard (après 1990) ou termine trop tôt (avant 2015), il a généralement été choisi de l'écartier.

Tous ces éléments peuvent expliquer des choix de stations inattendues pour le lecteur de ce premier livret. Il est important de rappeler que ces choix ont été faits sur expertise des conseillers des Chambres travaillant sur les productions considérées. A titre informatif, le tableau ci-dessous reprend les différentes altitudes des stations retenues

Tableau récapitulatif des altitudes des stations de Météo France :

Département	Stations	Altitude (m)	Département	Stations	Altitude (m)
Ain	Ambérieu	250	Isère	Grande-Chartreuse	945
Allier	Vichy	260		Bourgoin	358
	Chareil-Cintrat	280		Villard-de-Lans	1027
	Paray-sous-Briailles	250		Grenoble-Saint-Geoires	384
Ardèche	Loubaresse	1220		La-Côte-Saint-André	340
	Issanlas	1209	Loire	Saint-Etienne	400
	Aubenas	180	Haute-Loire	Le Puy	714
Cantal	Mirabel	278	Puy-de-Dôme	Clermont-Ferrand	331
	Le Claux	1040		Mont-Dore	1050
Drôme	Aurillac	707	Rhône	Lyon-Bron	197
	Montélimar	73		Mornant	345
	Saint-Jean-en-Royans	308	Savoie	Avrieux	1102
	Saint-Sorlin-en-Valloire	245		Bourg-Saint-Maurice	865
Haute-Savoie	Saint-Marcel-lès-Valence	190	Annecy	426	
	Saône-et-Loire	Mâcon	Thonon-les-Bains	376	
			Thônes	630	



Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

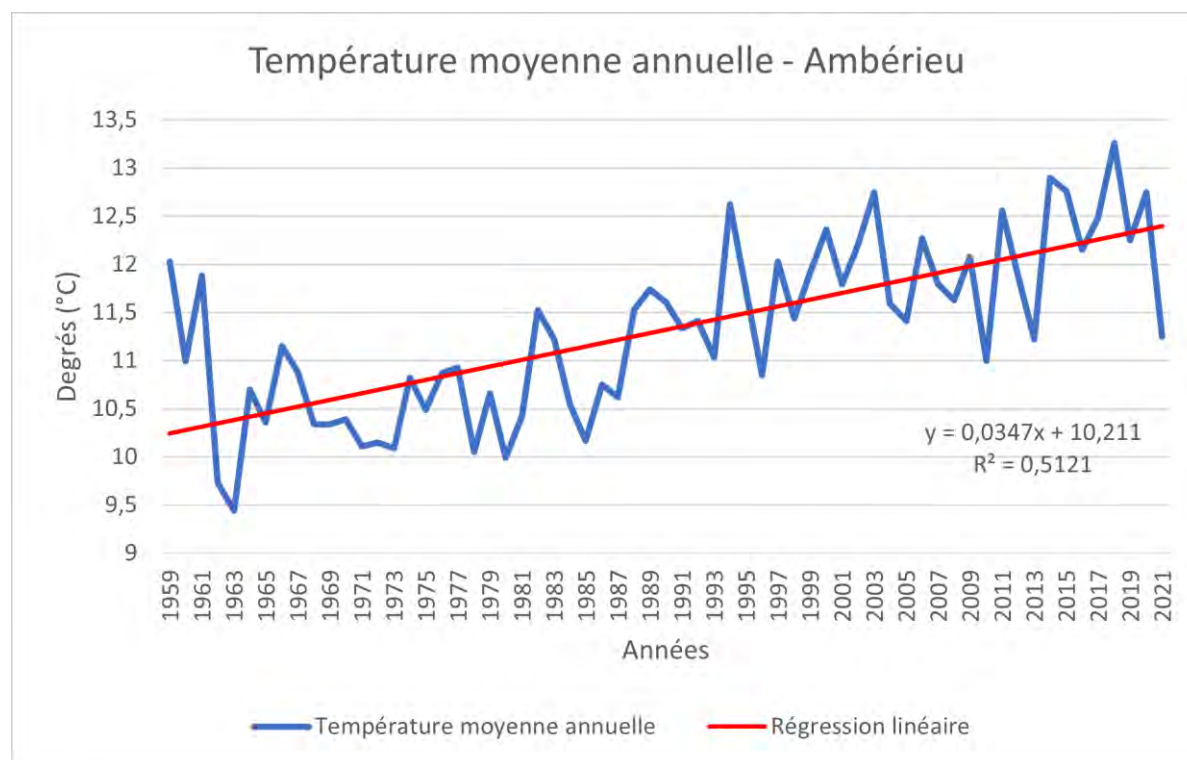
🕒 Indicateur 1

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy (03) : 1959 – 2021
- Issanlas (07) : 1960 – 2021
- Le Claux (15) : 1961 – 2021
- Montélimar (26) : 1959 – 2021
- Grande-Chartreuse (38) : 1959 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1959 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 – 2021
- Avrieux (73) : 1959 – 2021
- Annecy (74) : 1959 - 2021

📊 Calcul de l'indicateur 1

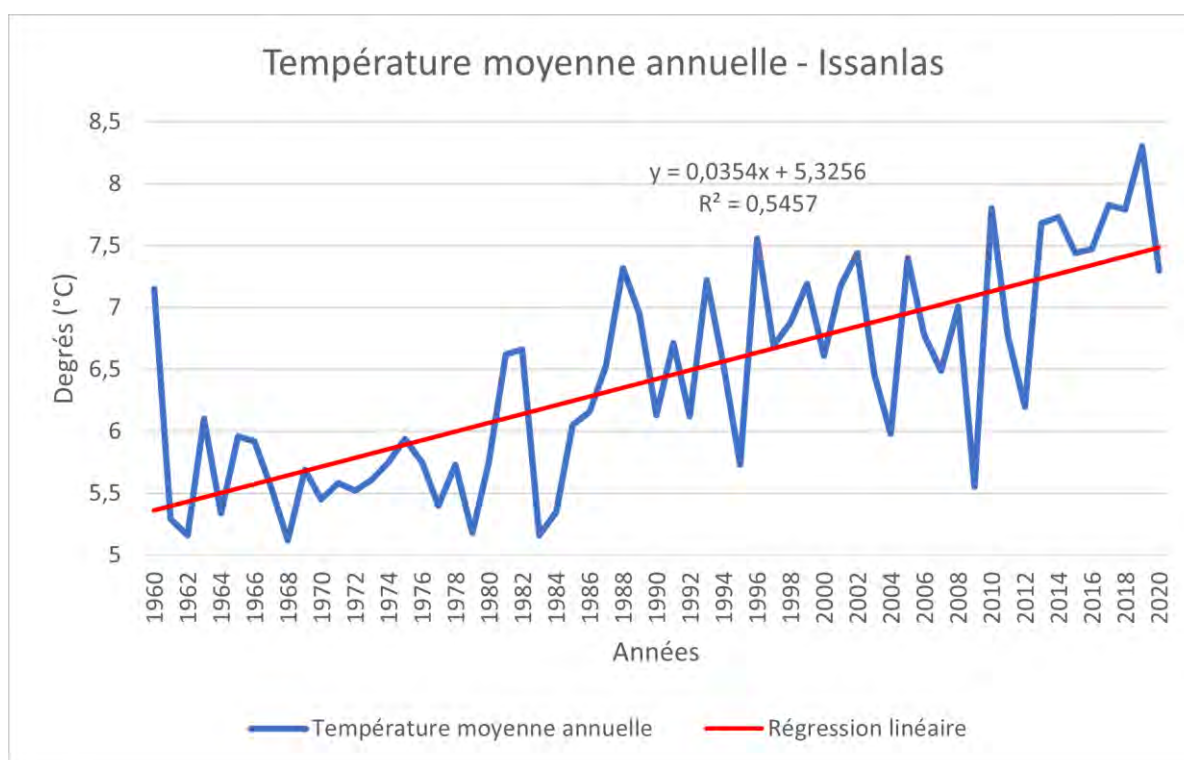
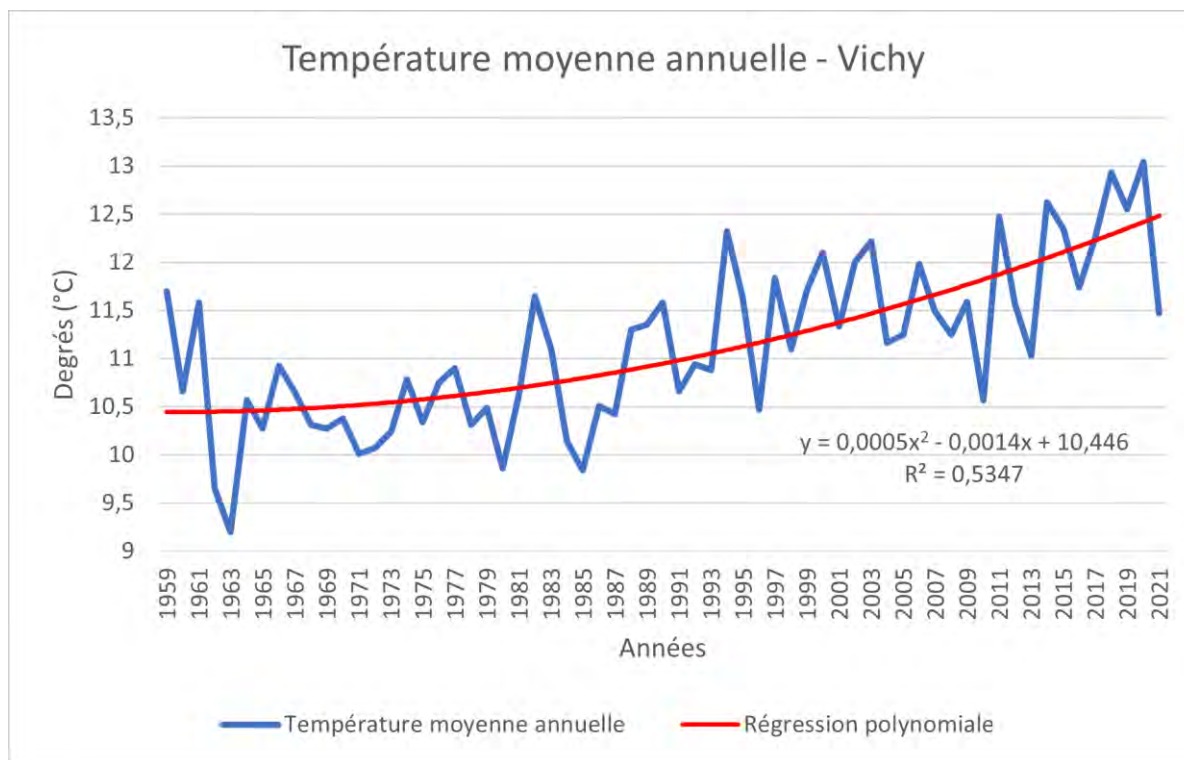
Moyenne annuelle des températures moyennes journalières.

📈 Évolution observée



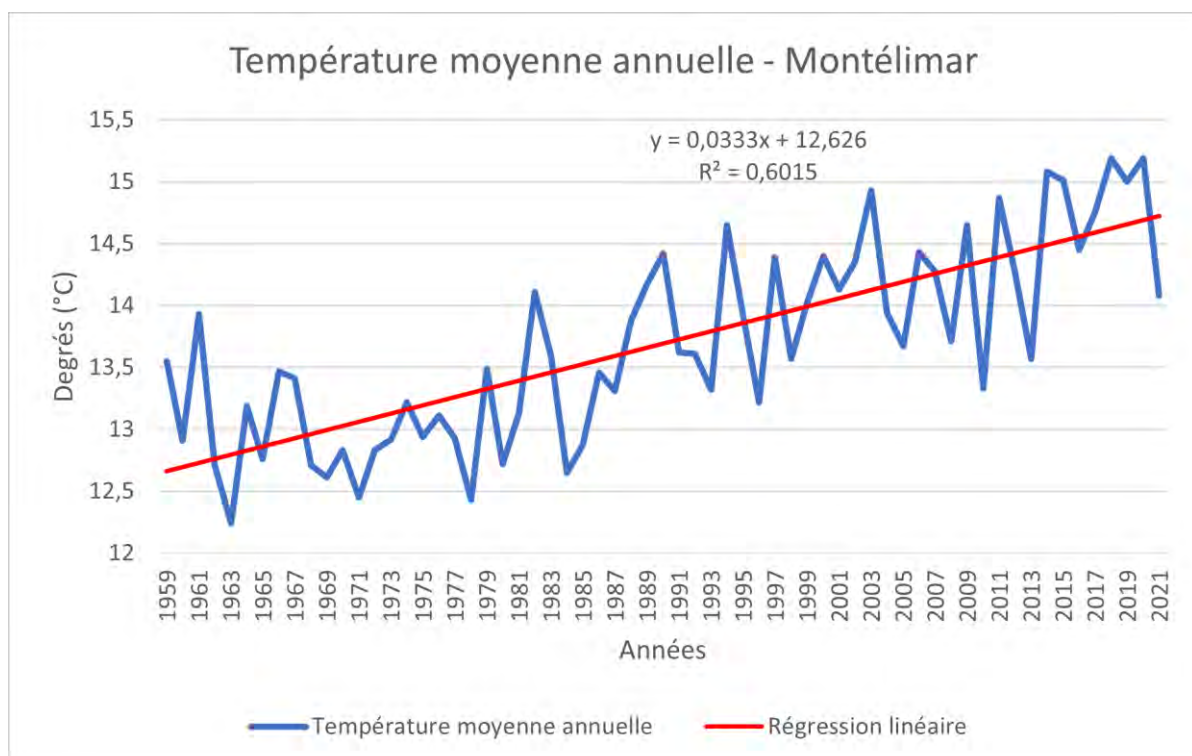
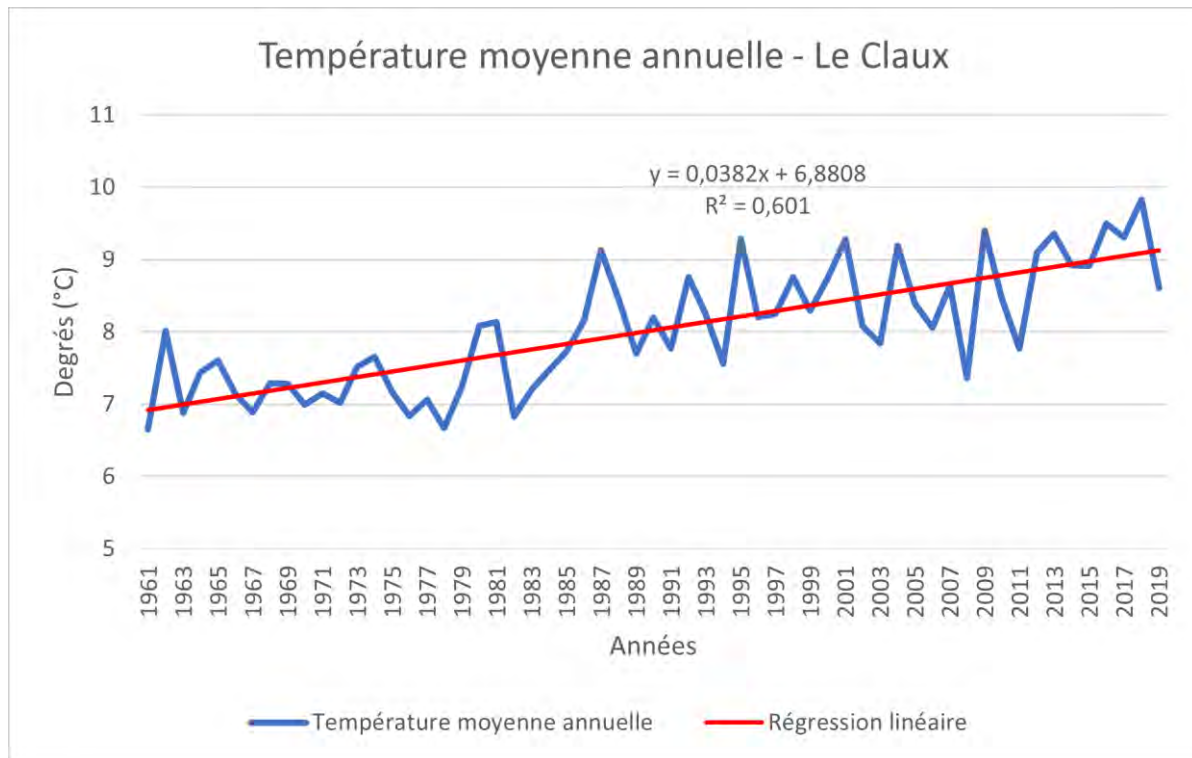


Température moyenne annuelle



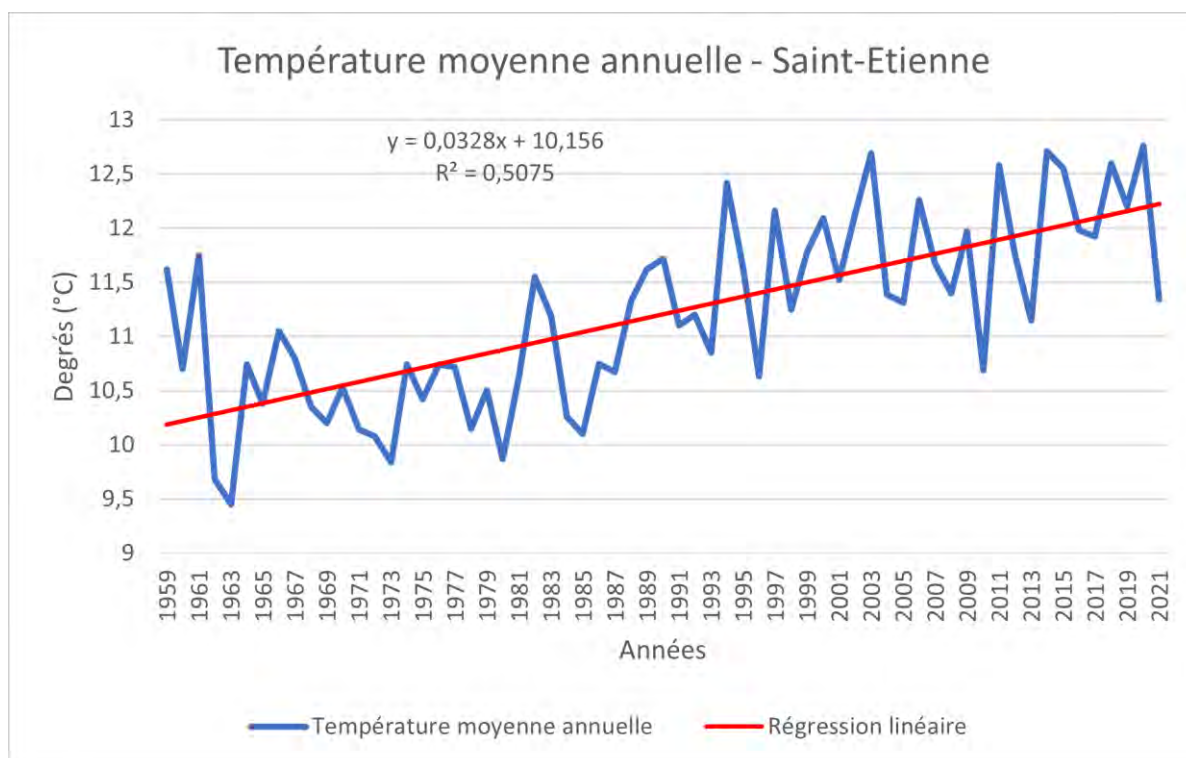
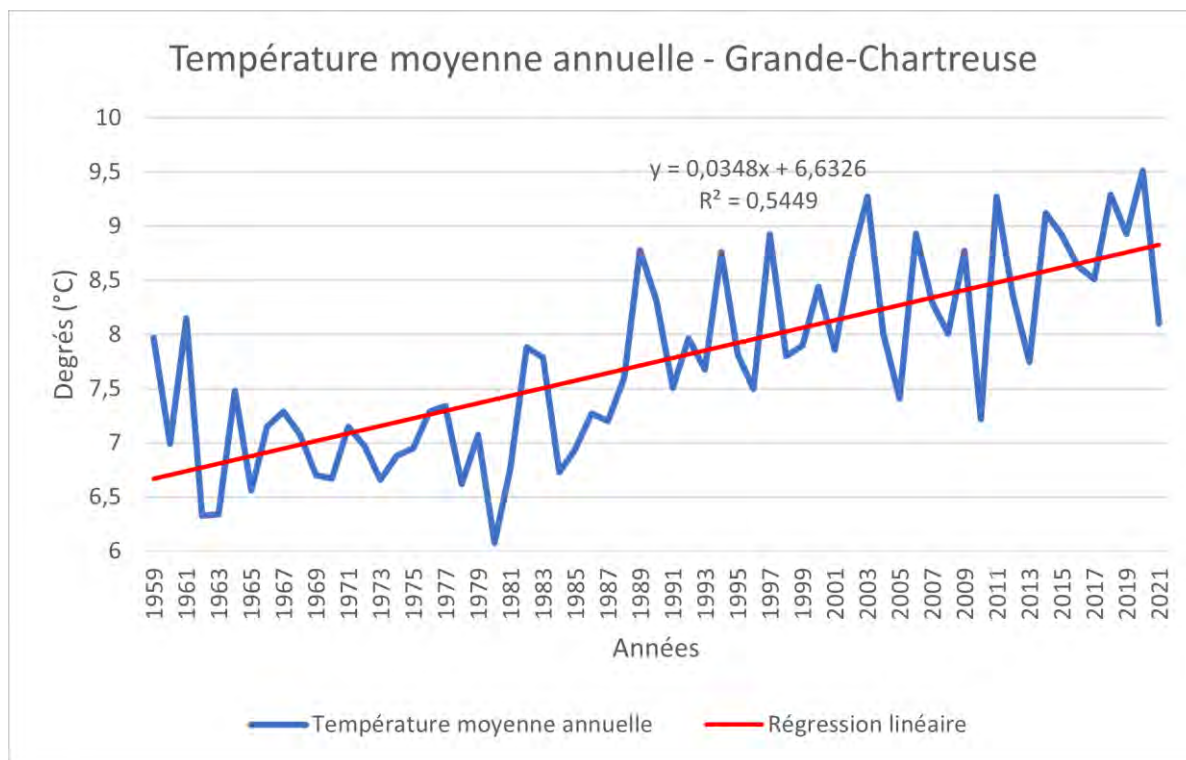


Température moyenne annuelle



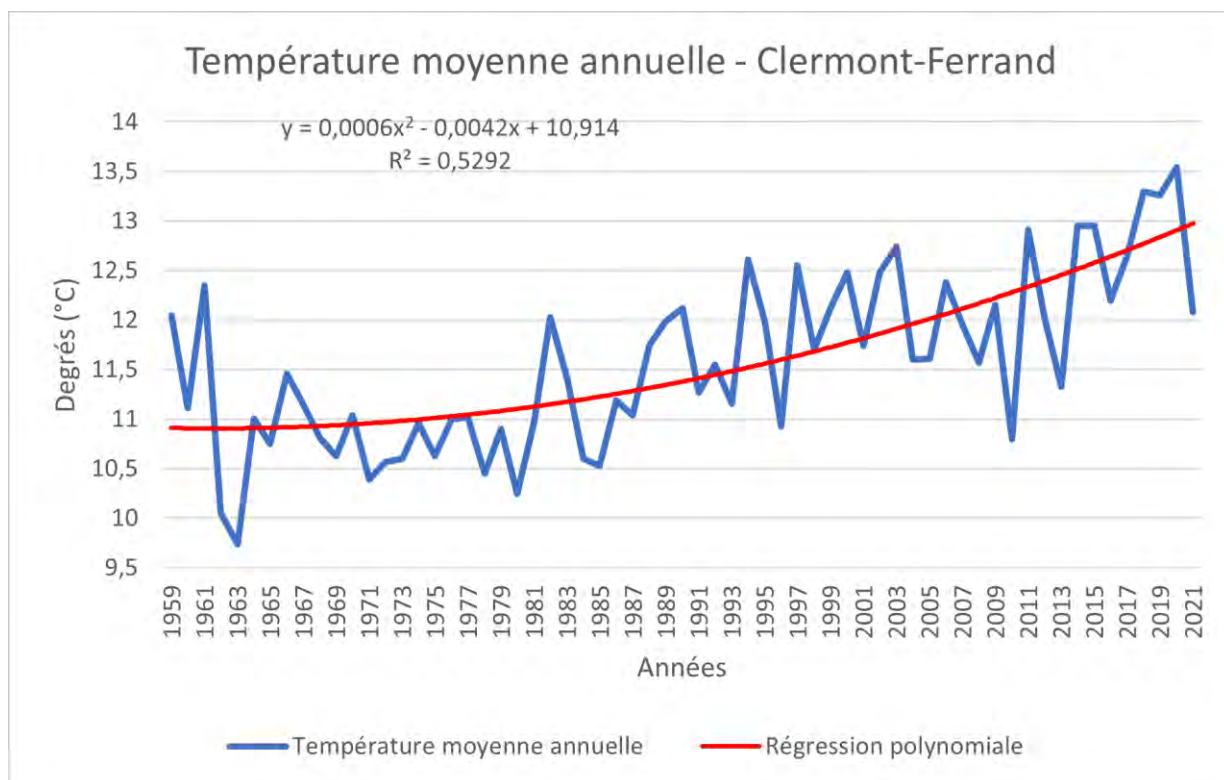
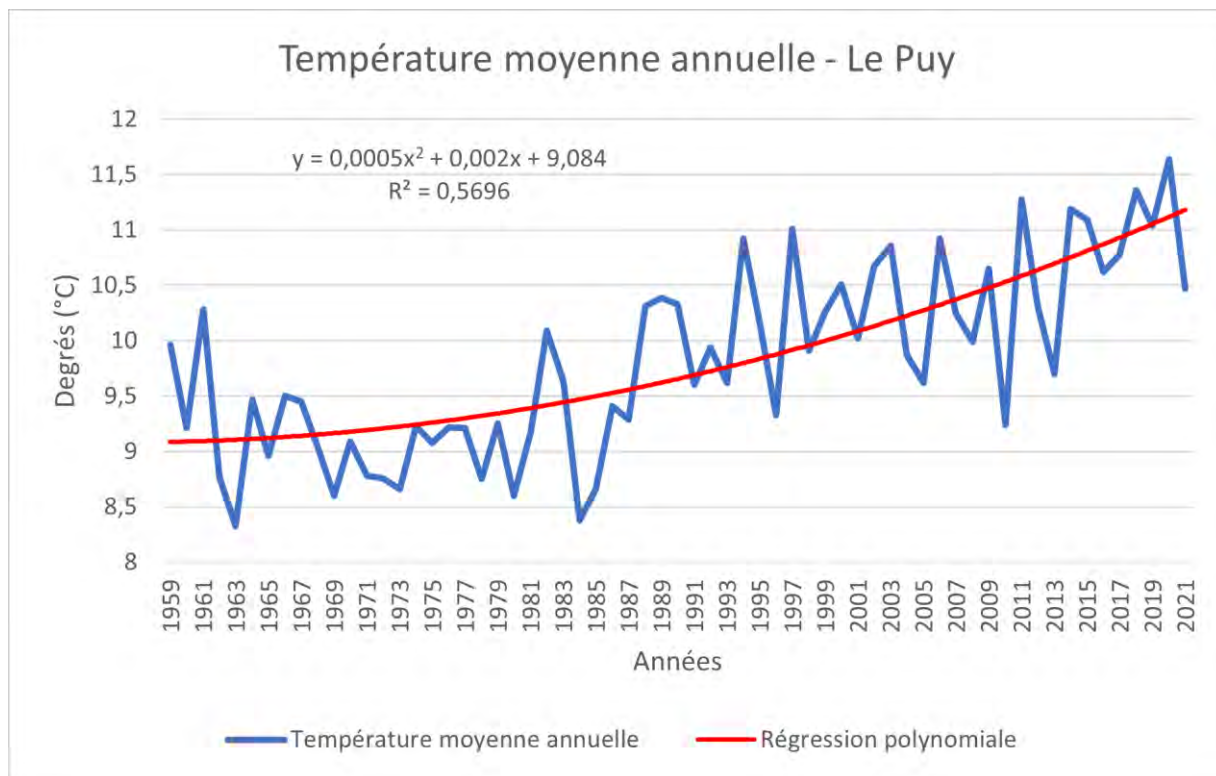


Température moyenne annuelle



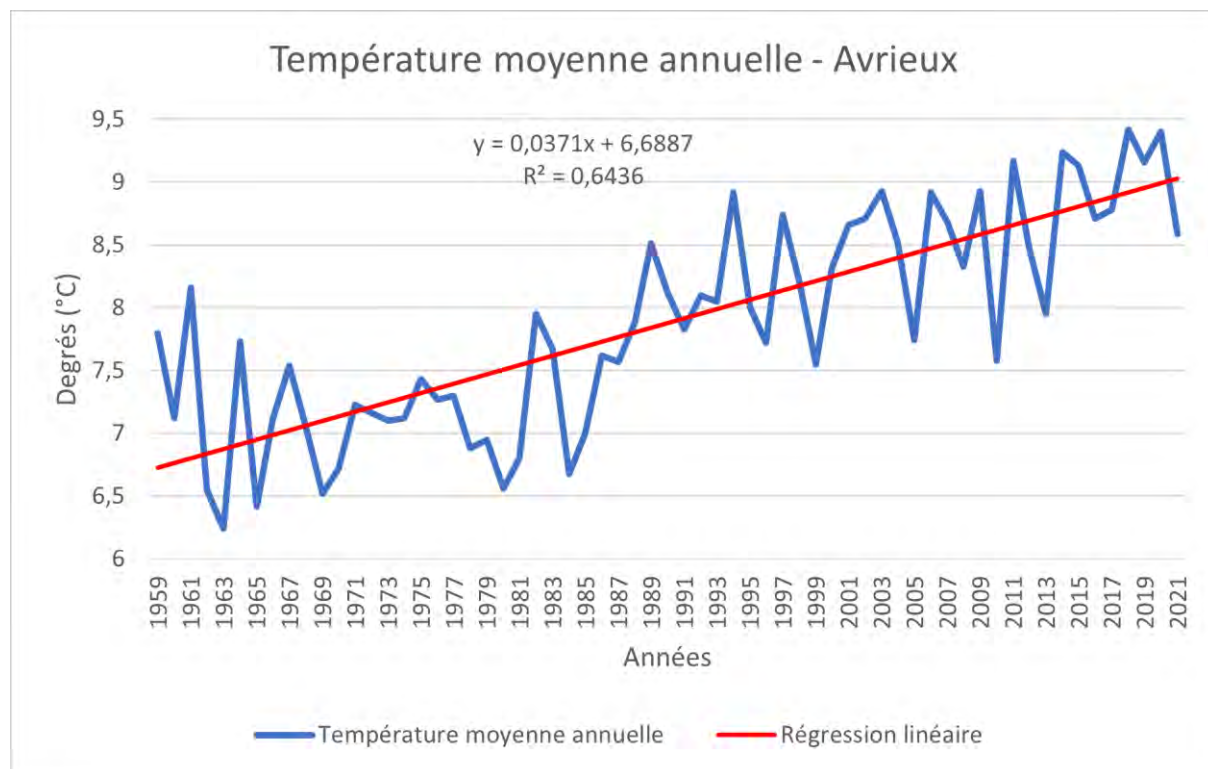
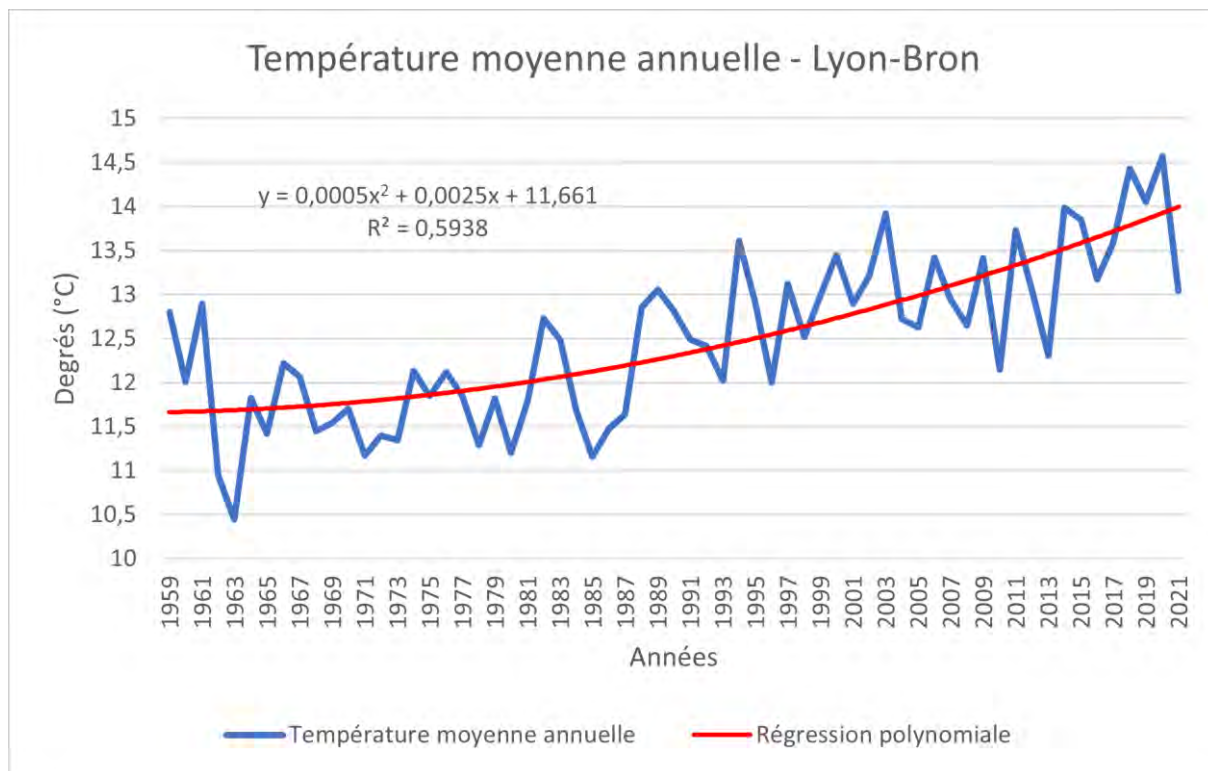


Température moyenne annuelle



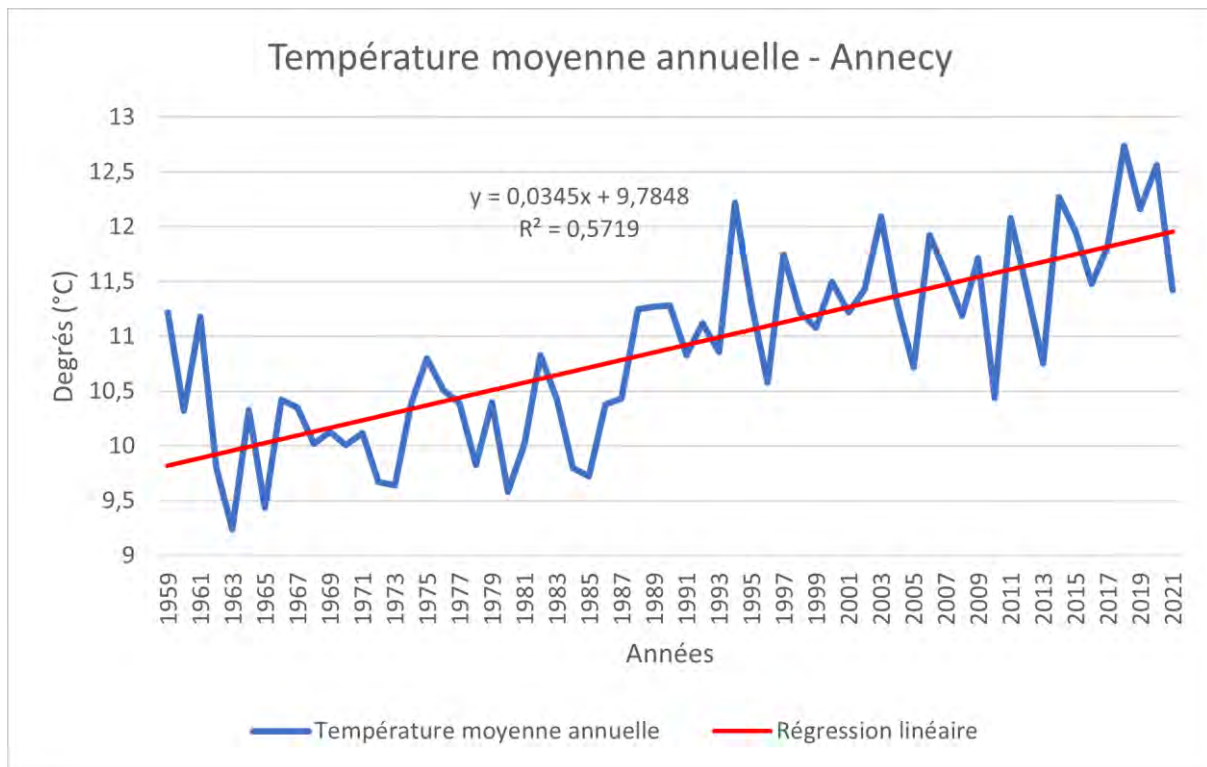


Température moyenne annuelle





Température moyenne annuelle



Analyse

L'évolution de la température moyenne observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 pour chaque station étudiée montre une augmentation tendancielle. Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielles (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution de la température moyenne annuelle (°C/décennie)	Significativité de la tendance
Ambérieu (01)	0,347	***
Vichy (03)	0,329	***
Issanlas (07)	0,354	***
Le Claux (15)	0,382	***
Montélimar (26)	0,333	***
Grande-Chartreuse (38)	0,348	***
Saint-Etienne (42)	0,328	***
Le Puy (43)	0,338	***
Clermont-Ferrand (63)	0,333	***
Lyon-Bron (69)	0,376	***
Avrieux (73)	0,371	***
Annecy (74)	0,345	***

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Température moyenne annuelle



Indicateur

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy (03) : 1959 – 2021
- Issanlas (07) : 1960 – 2021
- Le Claux (15) : 1961 – 2021
- Montélimar (26) : 1959 – 2021
- Grande-Chartreuse (38) : 1959 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1959 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 – 2021
- Avrieux (73) : 1959 – 2021
- Annecy (74) : 1959 – 2021

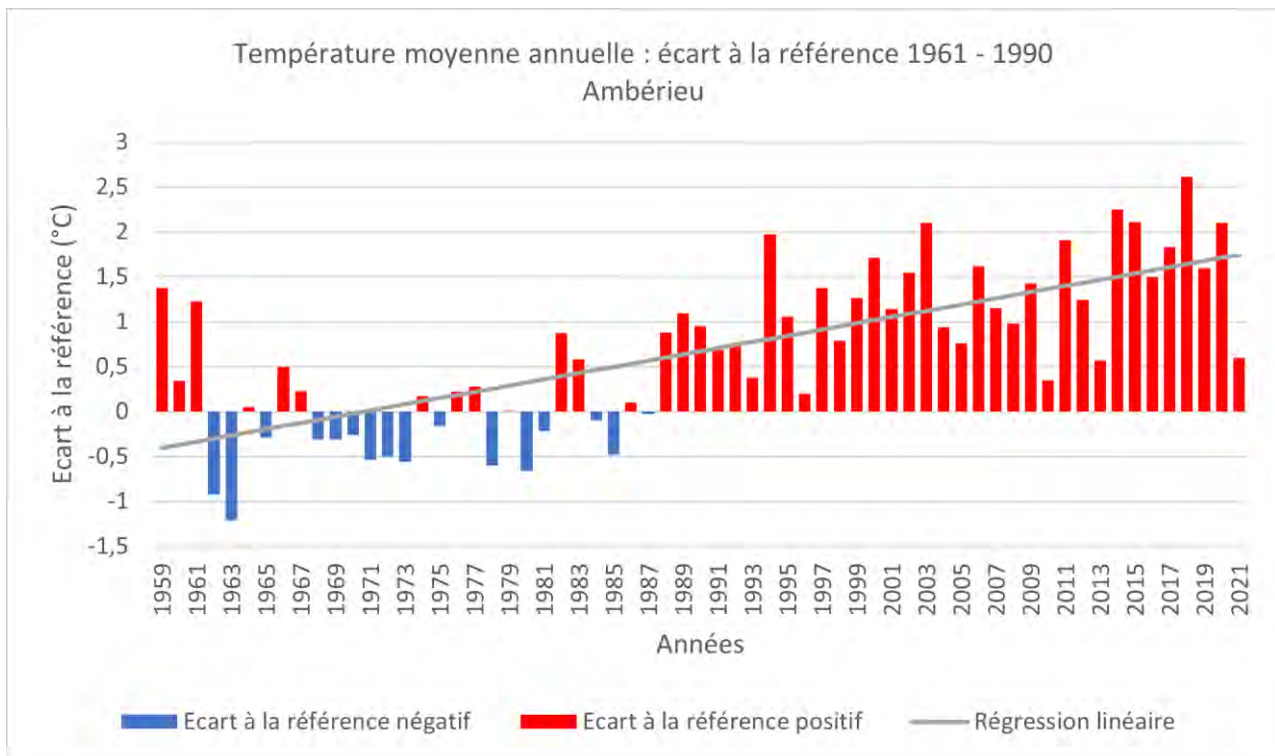


Calcul de l'indicateur 2

Les données sont identiques à celles de l'indicateur 1 mais exprimées en anomalies. Il s'agit de l'écart entre la température moyenne annuelle et la température moyenne pluriannuelle établie à partir des mesures réalisées de 1961 à 1990. La normale climatologique standard de 1961 – 1990 est la période officielle de référence définie par l'Organisation Météorologique Mondiale. Bien que les normales climatologiques standard soient actualisées tous les 10 ans à des fins opérationnelles, la période 1961 – 1990 est conservée comme période de référence historique, afin de faciliter les évaluations du changement climatique à long terme.

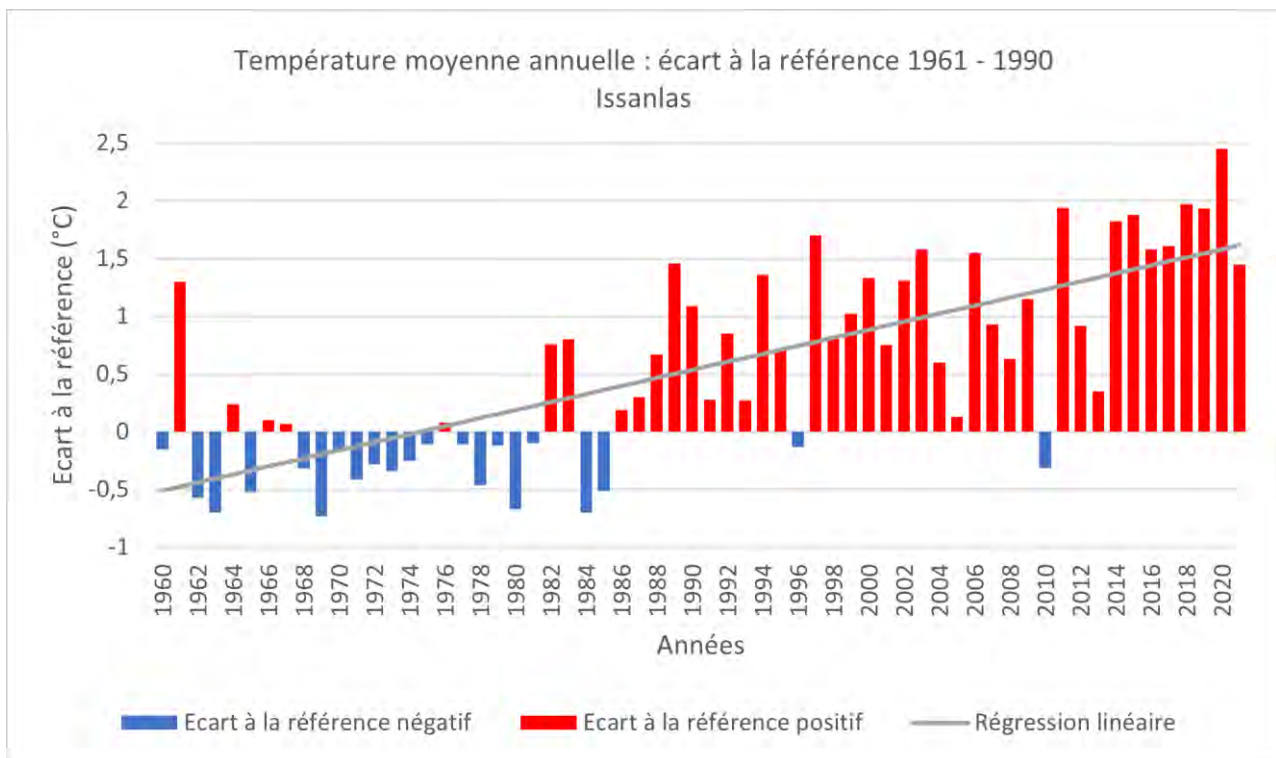
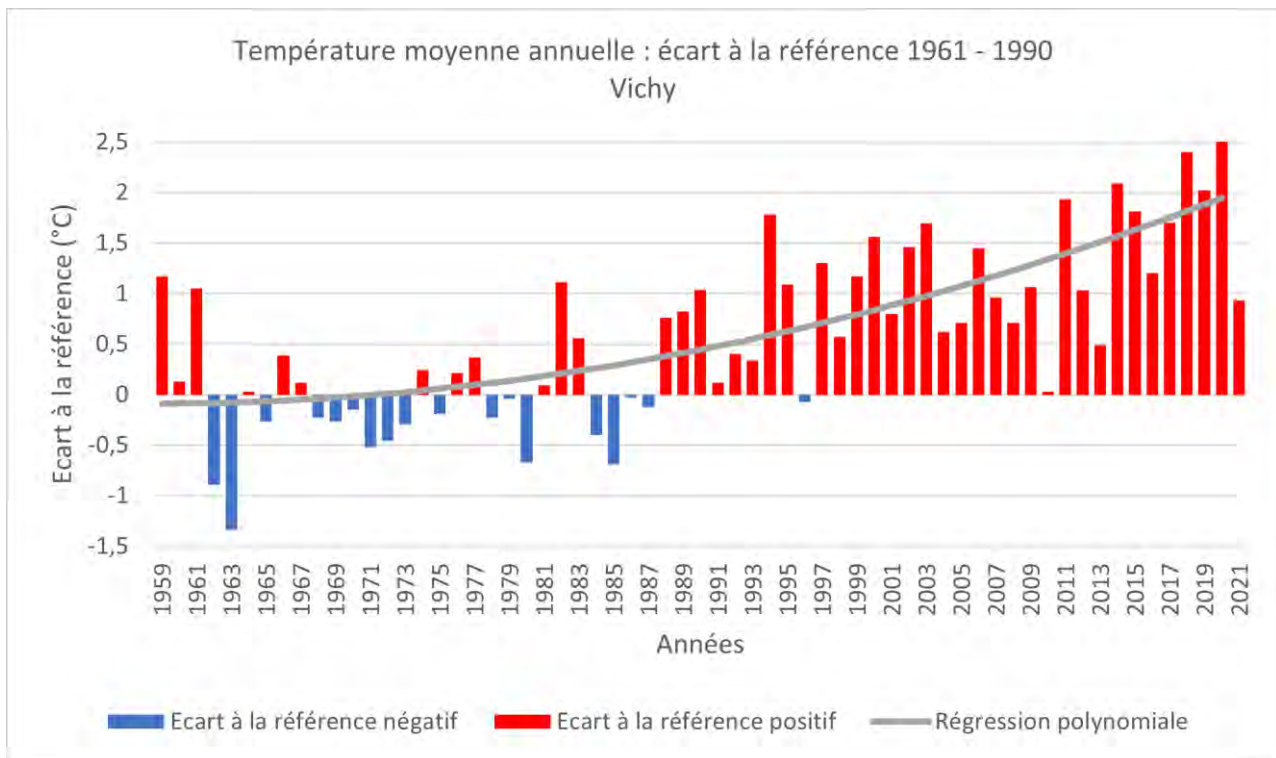


Évolution observée



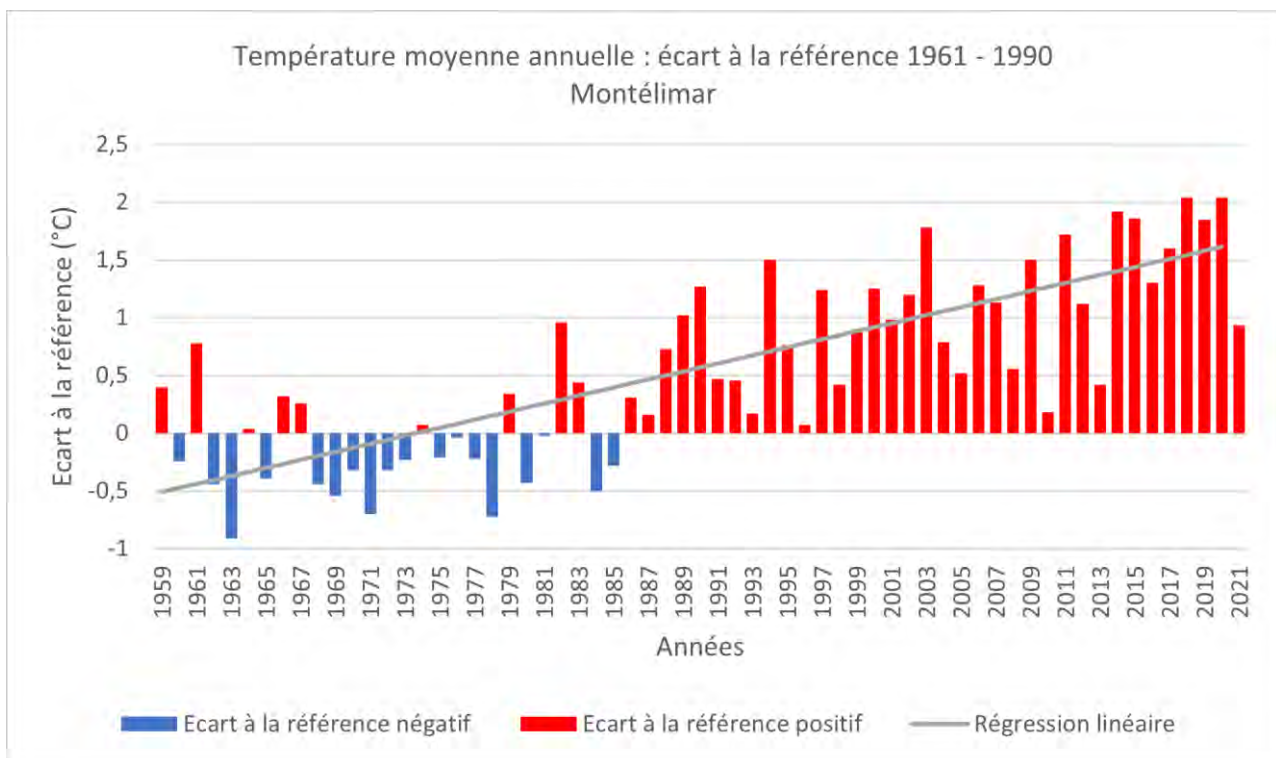
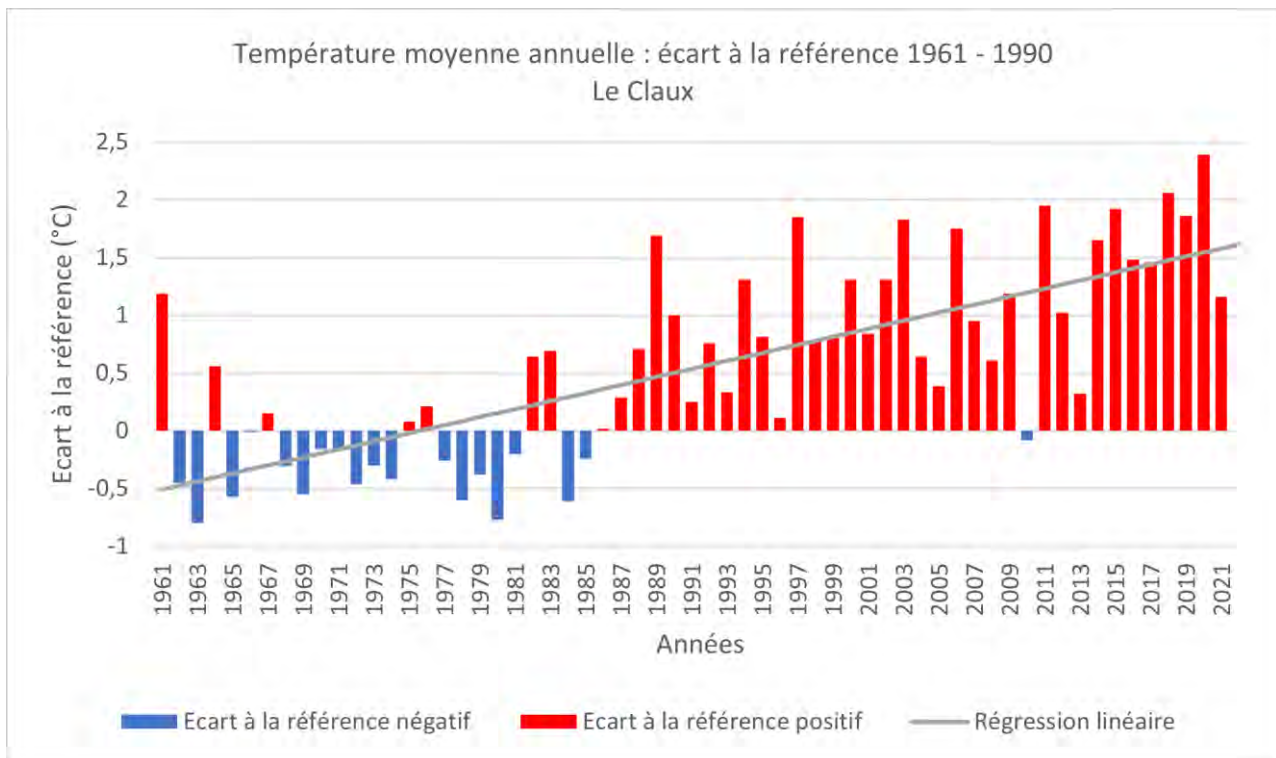


Température moyenne annuelle



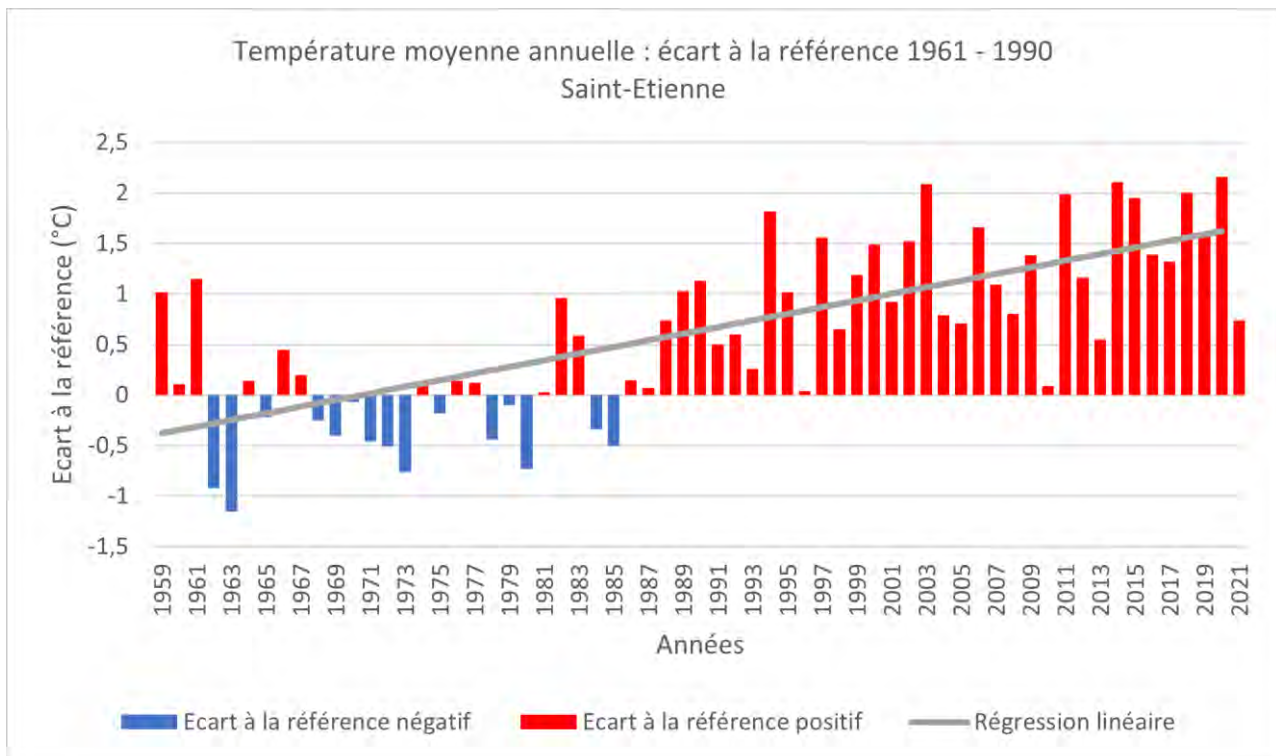
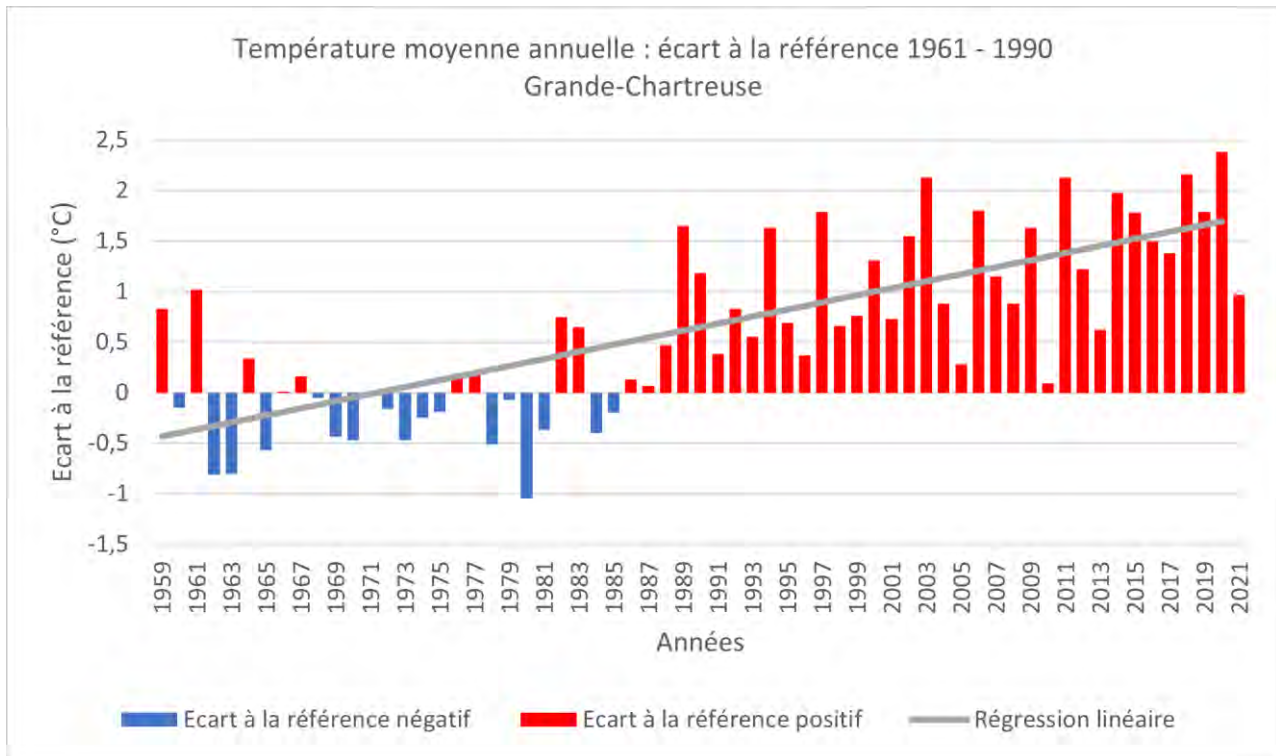


Température moyenne annuelle



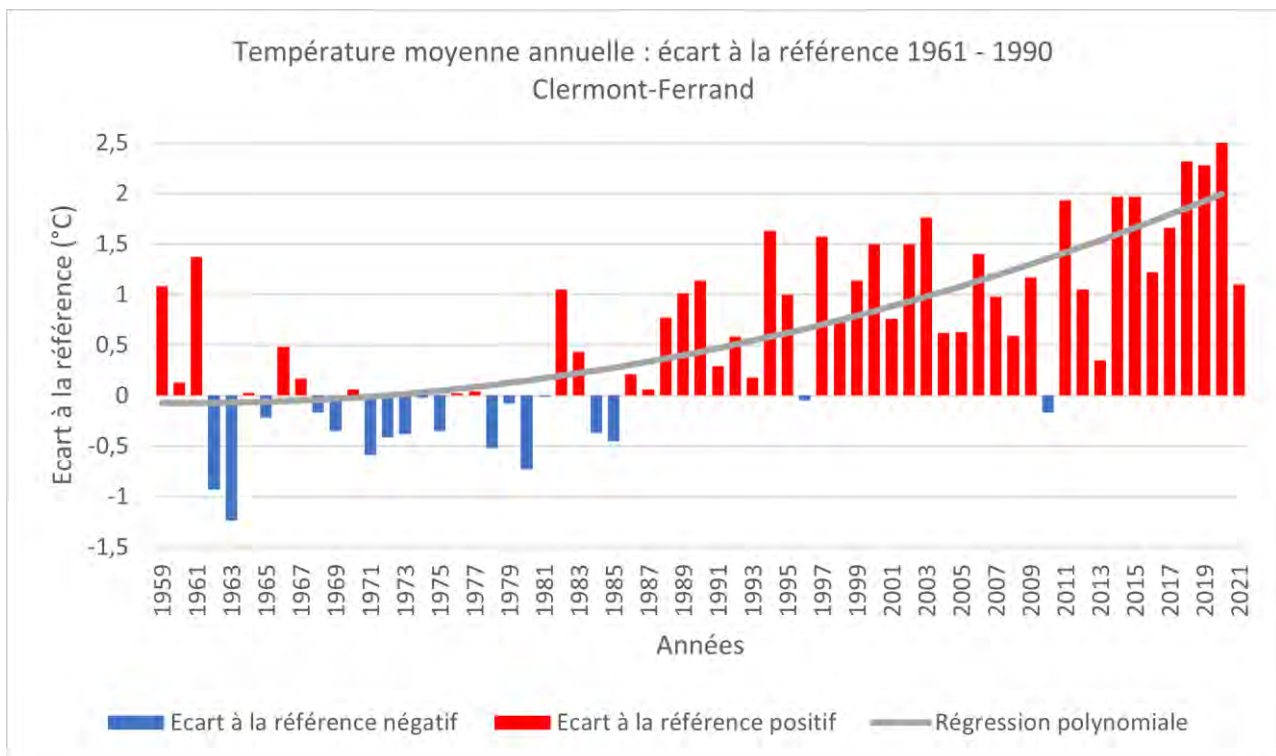
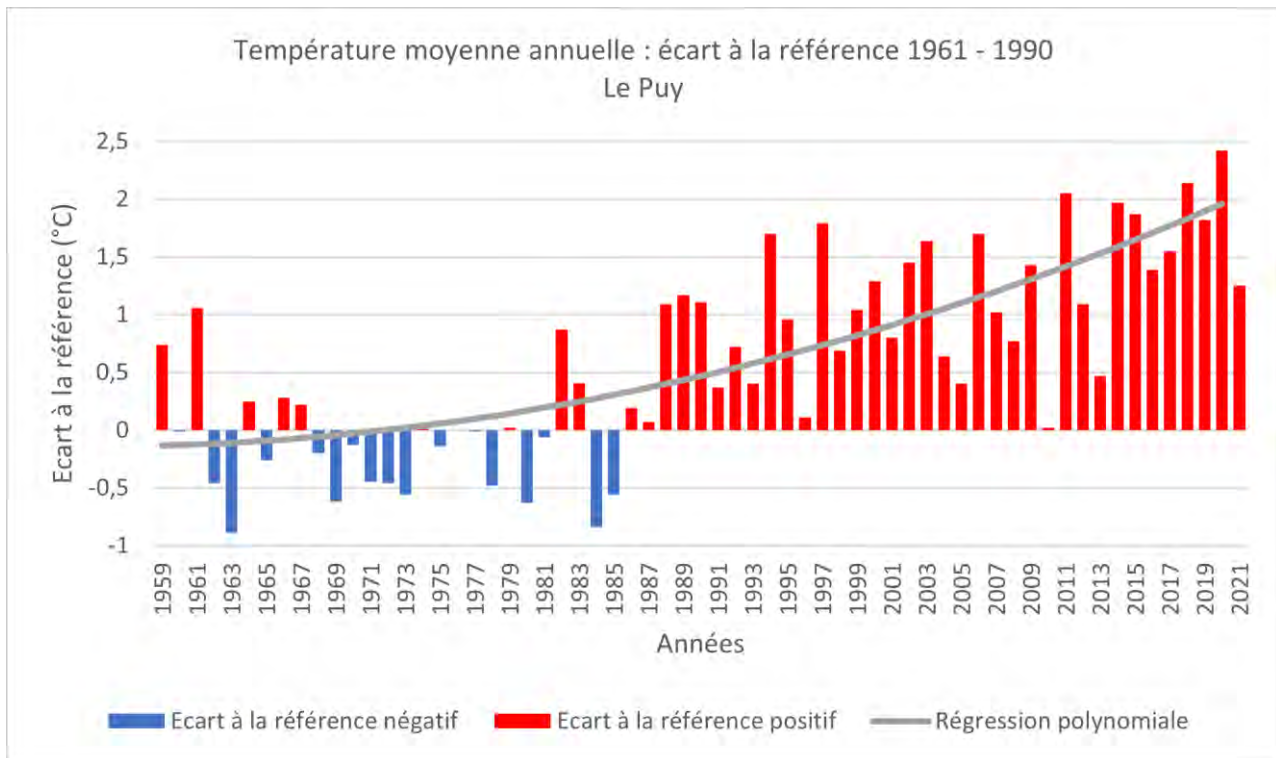


Température moyenne annuelle



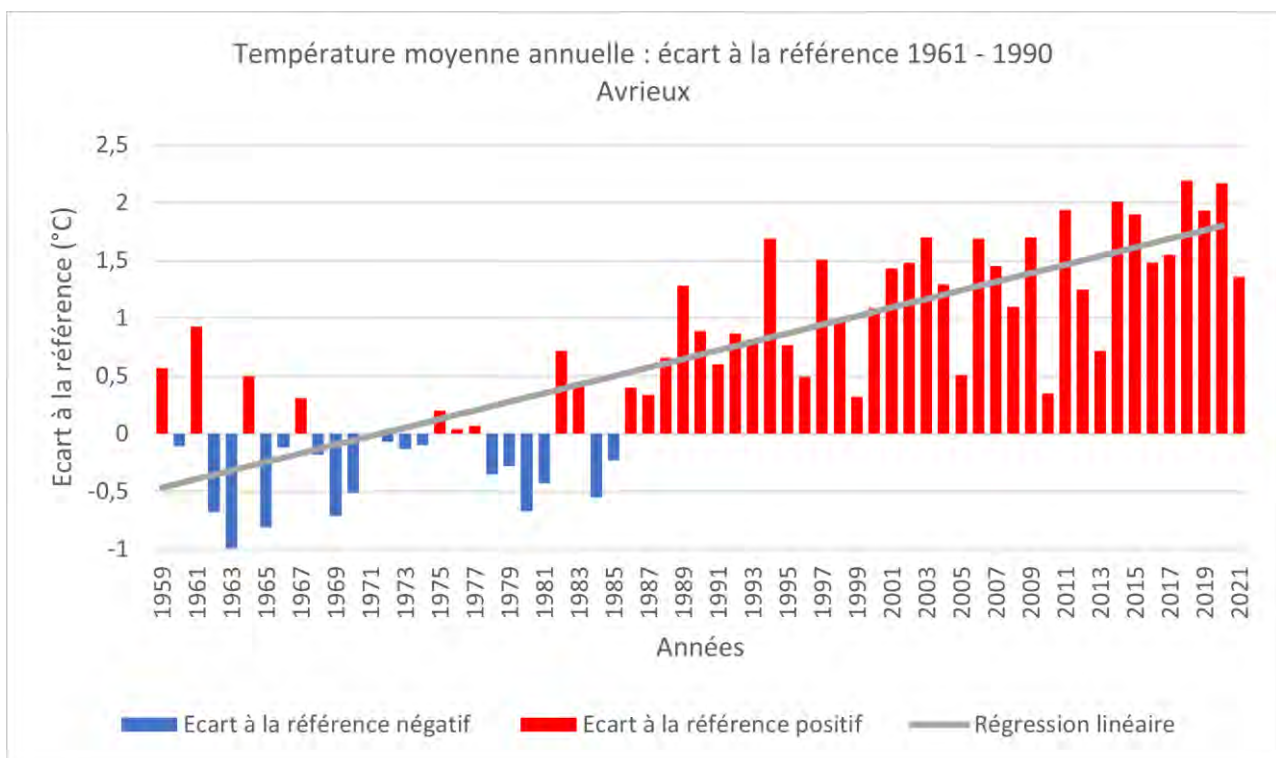
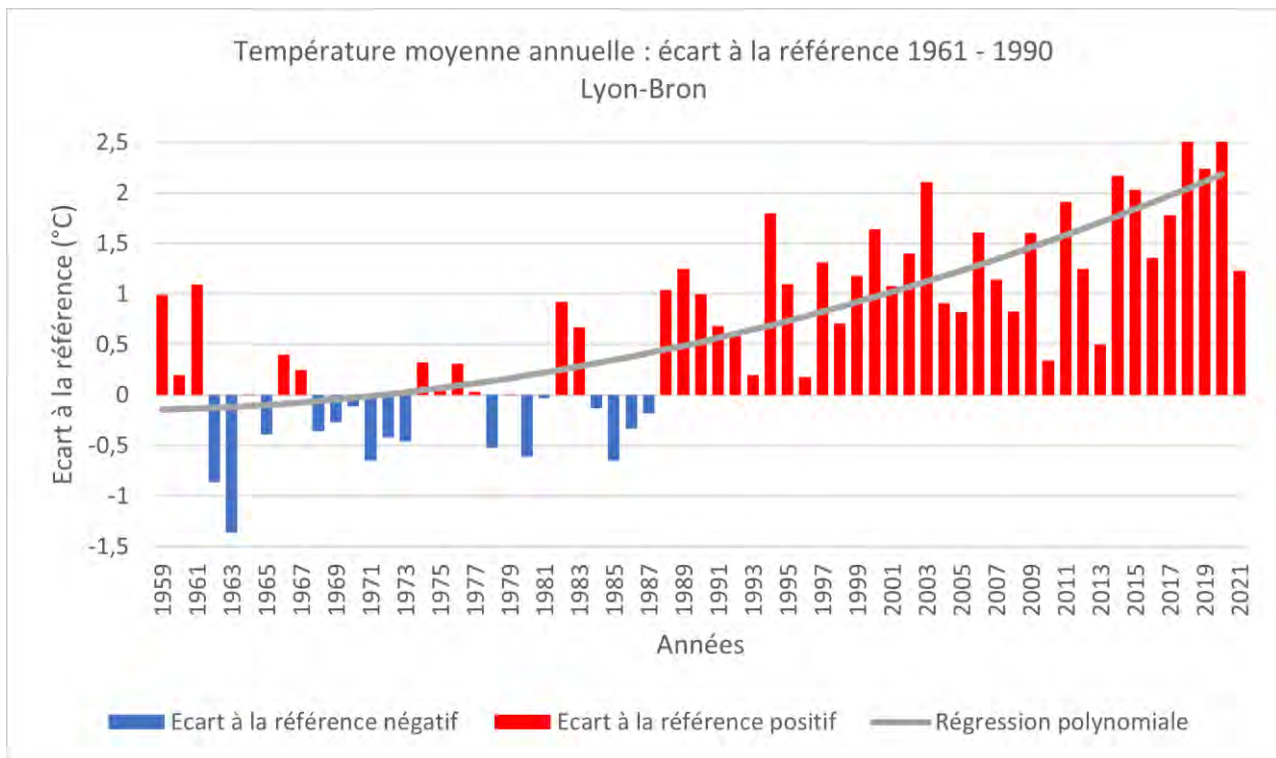


Température moyenne annuelle



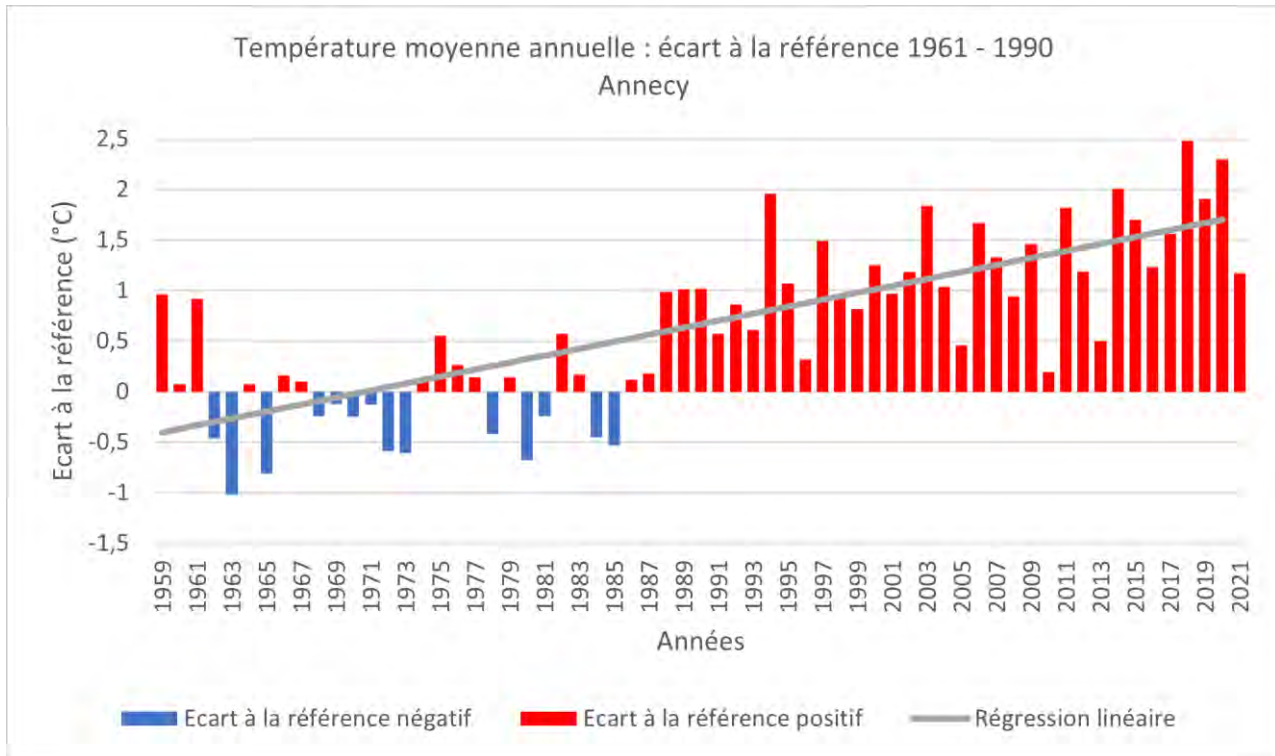


Température moyenne annuelle





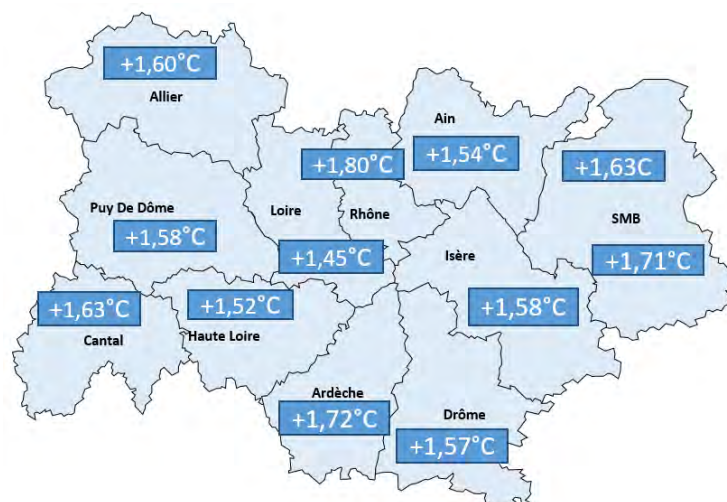
Température moyenne annuelle



Analyse

L'évolution de la température moyenne est relativement homogène à l'échelle de la région. L'augmentation de l'ordre de $+0,3^{\circ}\text{C}$ se retrouve dans toutes les stations étudiées. Elle correspond également au réchauffement moyen annuel à l'échelle nationale qui est d'environ $+0,3^{\circ}\text{C}$ par décennie sur la période 1959-2009 (Gibelin *et al.*, 2014).

L'évolution de la température moyenne annuelle en 63 ans (62 ans pour la station d'Issanlas et 61 ans pour celle de Le Claux) est représentée dans la carte ci-dessous :





Température moyenne annuelle



Il s'agit de la différence entre la moyenne de la première décennie (1959 – 1968) et de celle de la dernière (2012 – 2021). Ce réchauffement, observé dans les 12 départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes, a des impacts sur l'agriculture. Il y a une modification des stades phénologiques des cultures pérennes, des cycles des adventices et ravageurs ou encore de l'intensité de l'évapotranspiration.

Une accélération de ce phénomène est même observée sur certains territoires. L'évolution des températures moyennes annuelles est mieux représentée par une régression polynomiale pour les stations de Vichy (03), Le Puy (43), Clermont-Ferrand (63) et Lyon-Bron (69). L'augmentation de la température n'est pas linéaire mais présente une accélération significative, avec un risque d'erreur inférieur à 5%. Les conséquences du changement climatique dans ces territoires sont donc d'autant accélérées. L'accroissement des températures moyennes est la signature des changements climatiques en France. De 1901 à 2000, cette augmentation était de 0,9°C en région Auvergne-Rhône-Alpes (Moisselin *et al.*, 2002) alors qu'elle est de 1,61°C entre 1959 et 2021. Ce réchauffement semble donc s'accélérer à partir du milieu du XX^e siècle puisque qu'il est 1,8 fois plus important entre 1959 et 2021 qu'entre 1901 et 2000.

L'étude de l'écart à la référence 1961 – 1990 permet d'attirer l'attention sur les températures moyennes des 30 dernières années. En effet, ces années sont presque systématiquement supérieures à la référence dans toutes les stations étudiées. Le dernier rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) publié en 2022 montre que ce réchauffement va se poursuivre et que les risques et les impacts déjà visibles vont s'aggraver (GIEC, 2022).

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

A RETENIR

Les différentes séries de données disponibles en région Auvergne-Rhône-Alpes mettent en évidence une évolution des températures moyennes cohérentes avec celle observée à l'échelle nationale. L'accroissement est homogène entre les stations.

Depuis 1959, l'augmentation de la température moyenne annuelle est de 0,35°C par décennie à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Sur toute la période étudiée, cette augmentation est de 1,61°C en moyenne.

Le réchauffement s'est accéléré significativement ces dernières années et est visible pour les stations de Vichy (03), Le Puy (43), Clermont-Ferrand (63) et Lyon-Bron (69).

Cet accroissement important des températures moyennes, ainsi que son accélération, imposent d'adapter les références techniques afin de mieux accompagner l'évolution des pratiques des agriculteurs face aux évolutions climatiques présentes et futures.



Pour en savoir plus

Gibelin, A-L., Dubuisson, B., Corre, L., Deaux, N., Jourdain, S., Laval, L., Piquemal, J-M., Mestre, O., Dennetière, D., Desmidt, S., Tamburini, A., 2014. Evolution de la température en France depuis les années 1950. Constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence. In : *La Météorologie*. N°87. Novembre 2014.

GIEC, 2022. Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. In : *IPCC*. 27 février 2022.

Moisselin, J-M., Schneider, M., Canellas, C., Mestre, O., 2002. Les changements climatiques en France au XX^e siècle. Etudes des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. In : *La Météorologie*. N°38. Août 2002.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Nombre de jours de gel par an

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

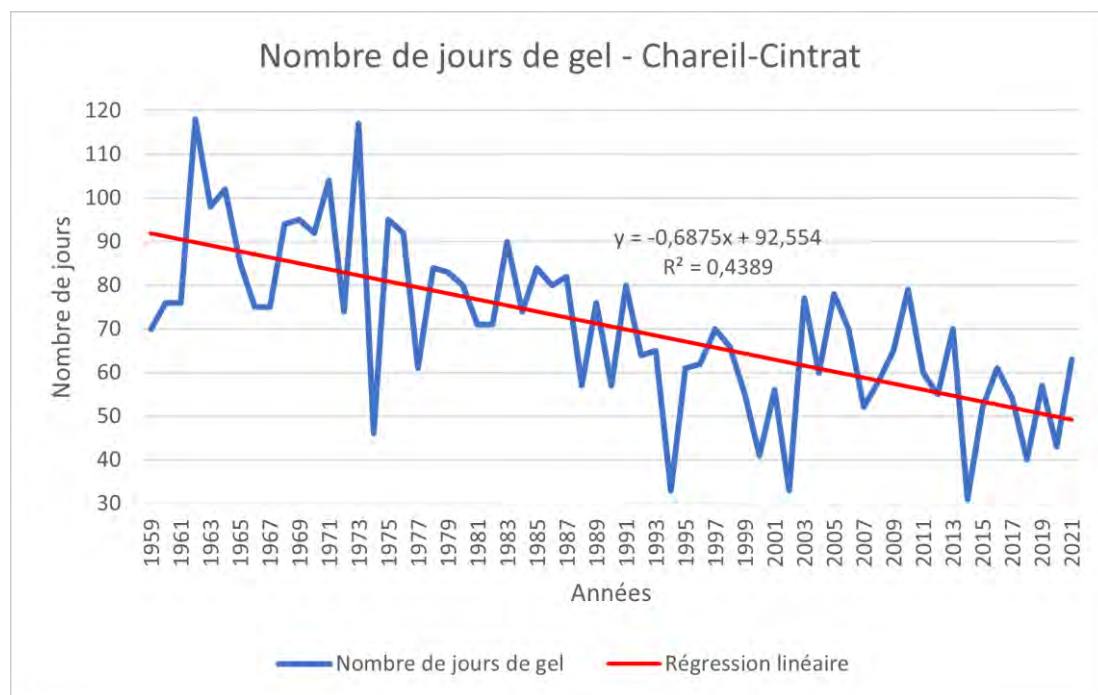
🕒 Indicateur 1

- Chareil-Cintrat (03) : 1959 – 2021
- Loubaresse (07) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1982 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Mont-Dore (63) : 1969 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 – 2021
- Bourg-Saint-Maurice (73) : 1961 – 2021
- Thonon-les-Bains (74) : 1959 - 2021

🧮 Calcul de l'indicateur 1

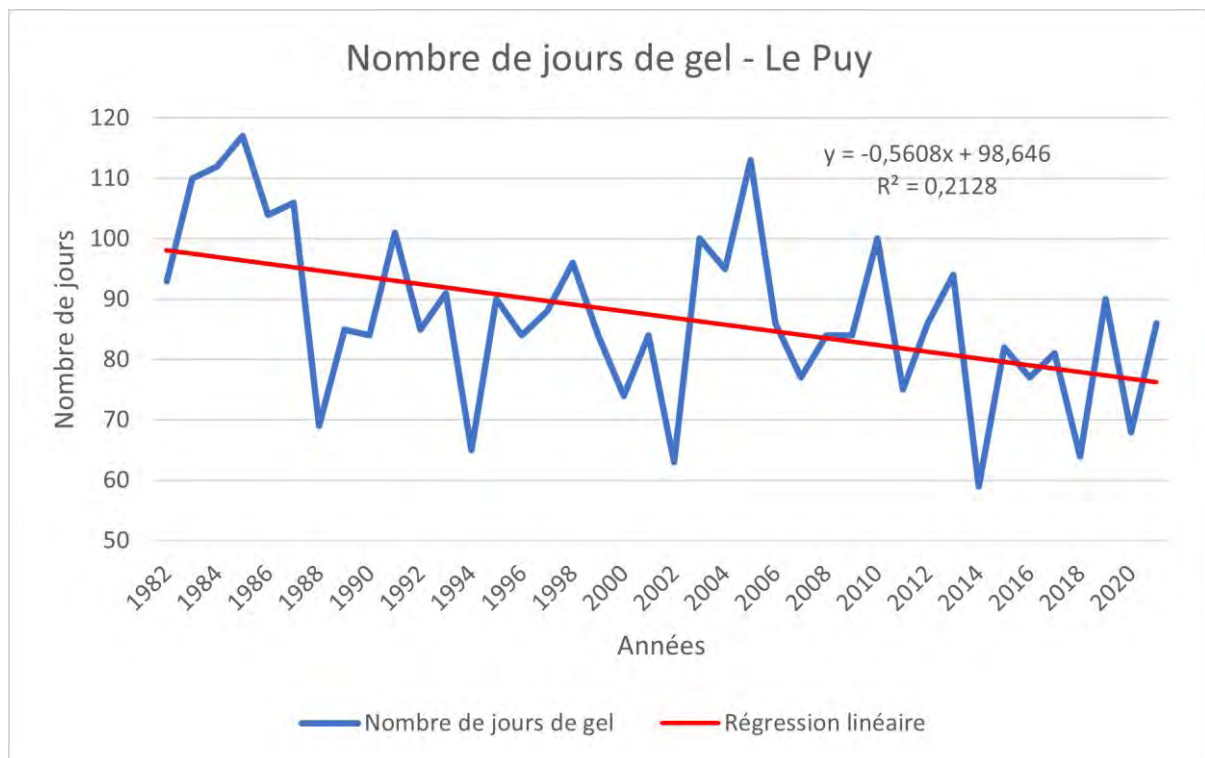
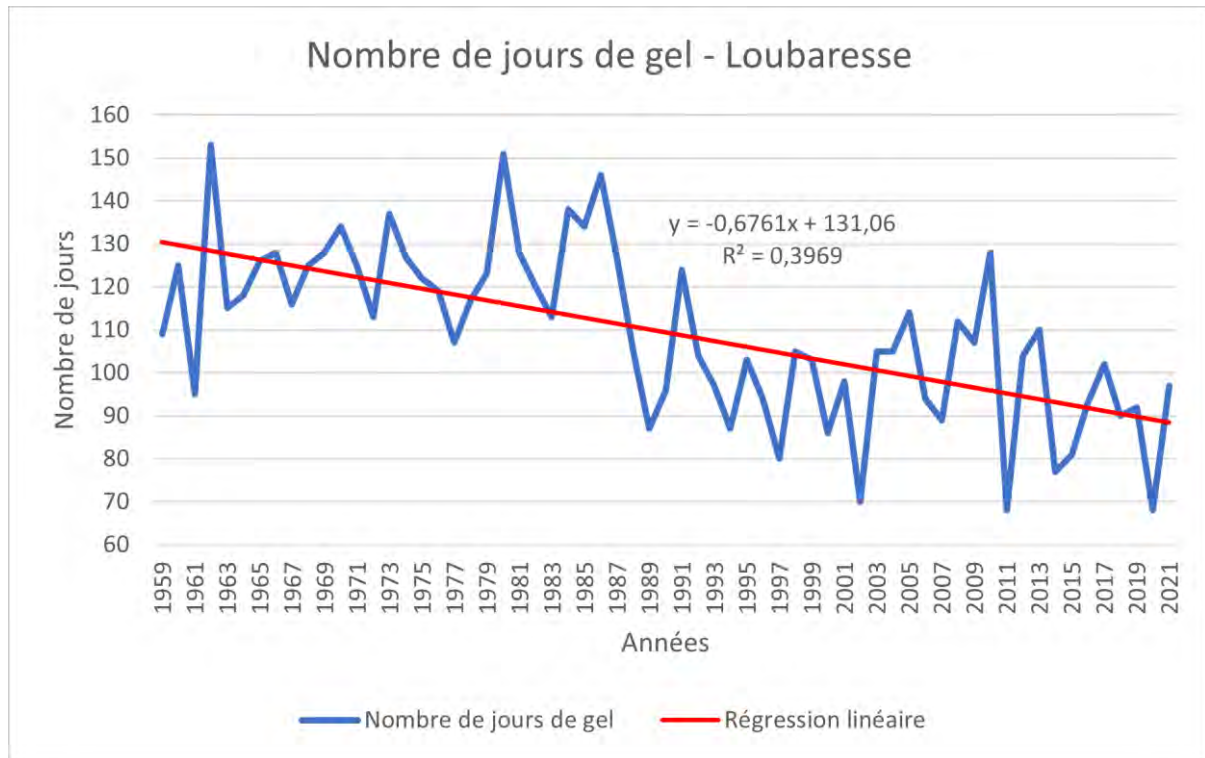
Nombre de jours pour chaque année où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

📈 Évolution observée



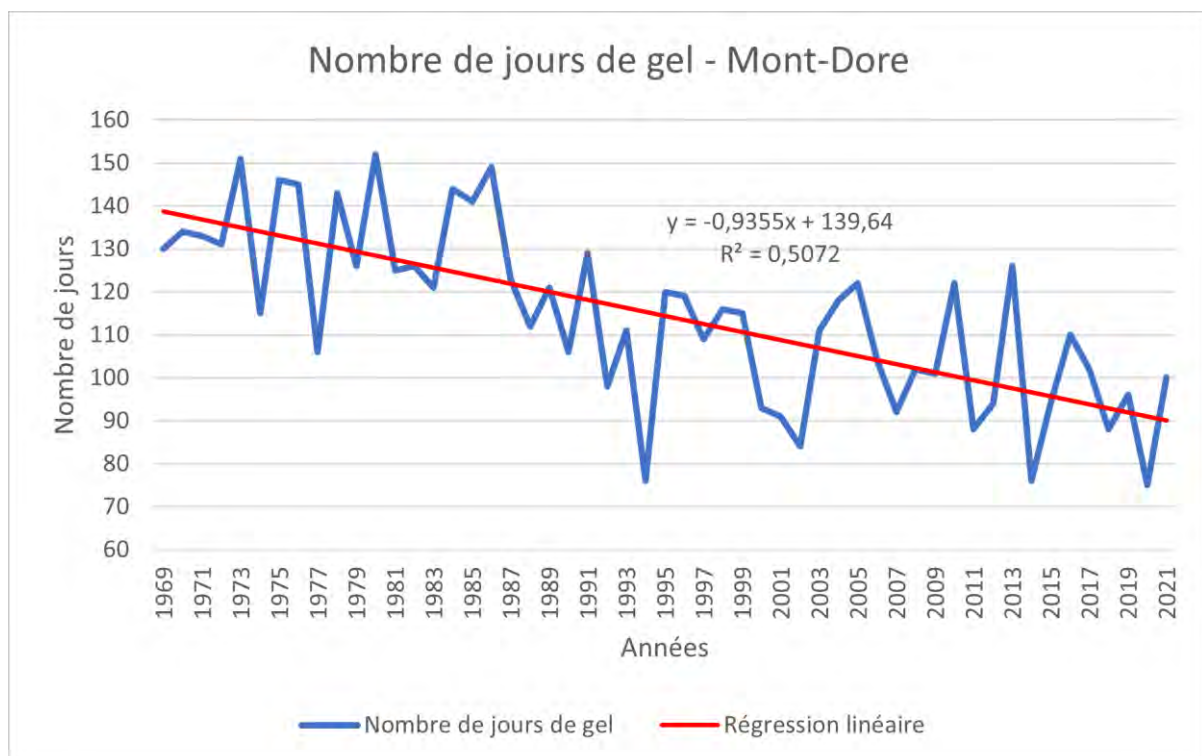
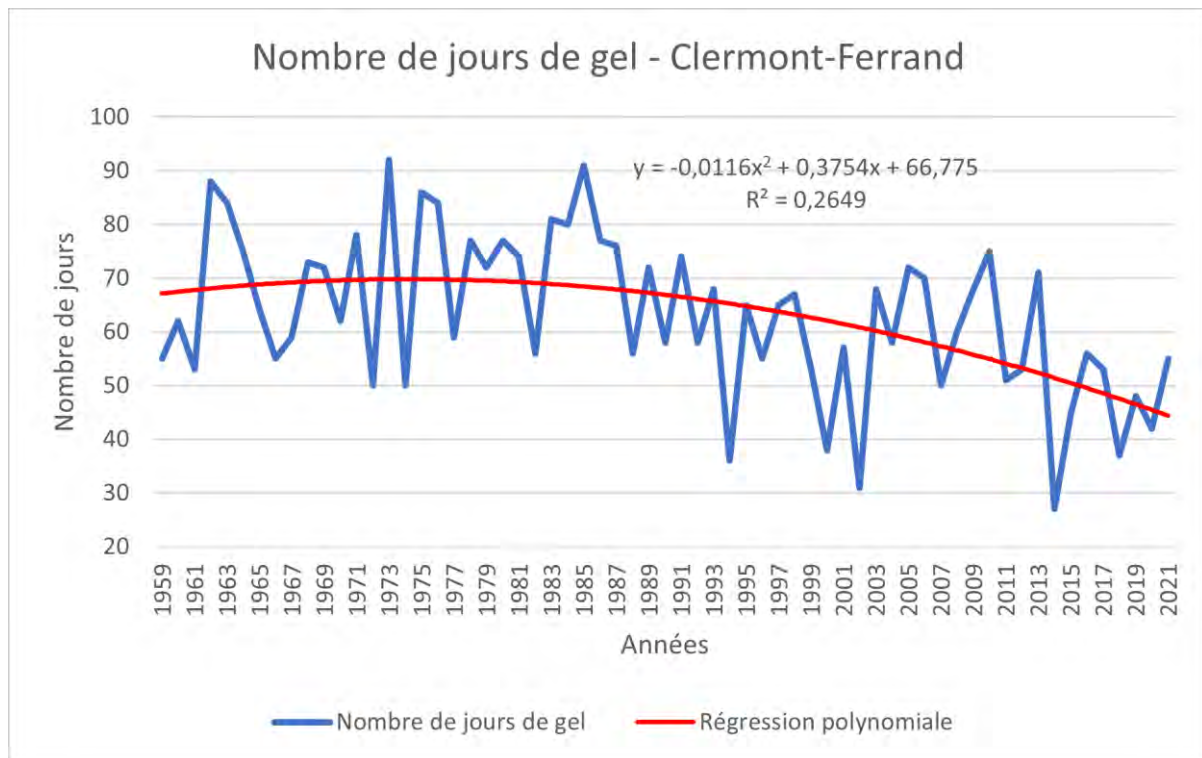


Nombre de jours de gel par an



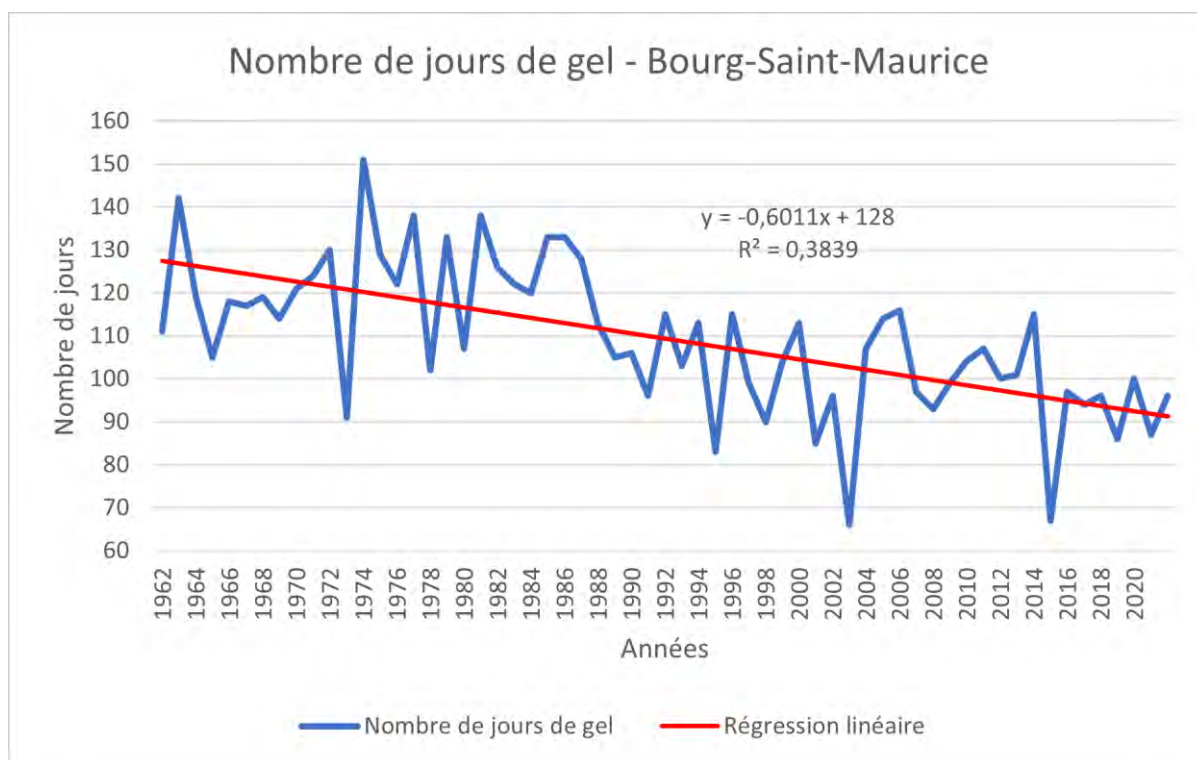
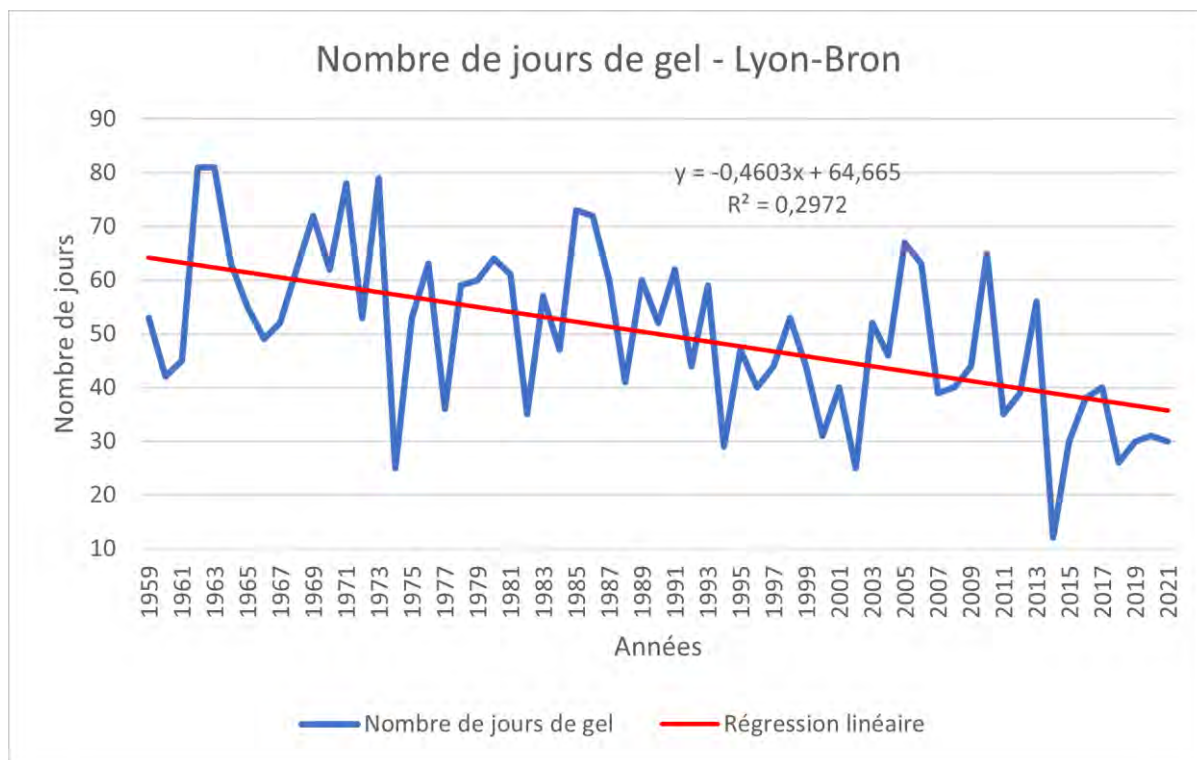


Nombre de jours de gel par an



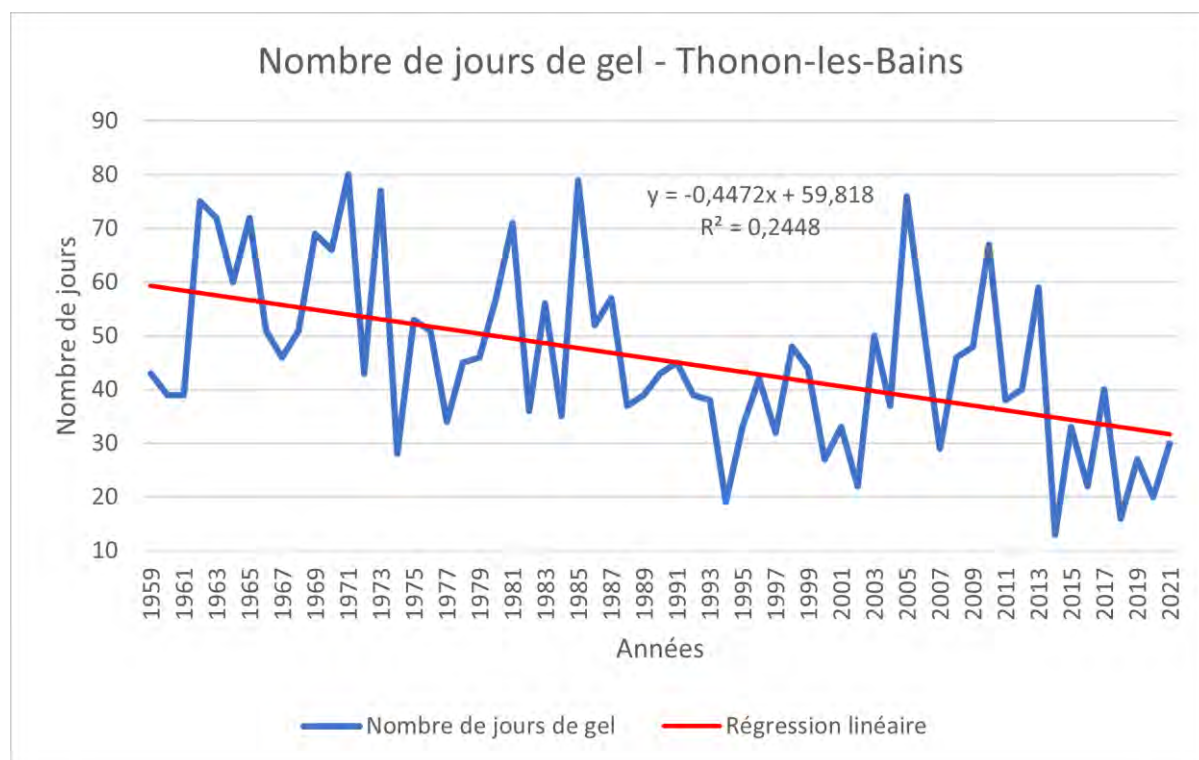


Nombre de jours de gel par an





Nombre de jours de gel par an



Analyse

L'évolution du nombre de jours de gel par an observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 pour chaque station étudiée montre une diminution tendancielle. Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendanciennes (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution du nombre de jours de gel moyen annuel (nb de jours/décennie)	Significativité de la tendance
Chareil-Cintrat (03)	-6,87	***
Loubaresse (07)	-6,76	***
Le Puy (43)	-5,61	**
Clermont-Ferrand (63)	-3,67	***
Mont-Dore (63)	-9,34	***
Lyon-Bron (69)	-4,6	***
Bourg-Saint-Maurice (73)	-6,01	***
Thonon-les-Bains (74)	-4,47	***

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

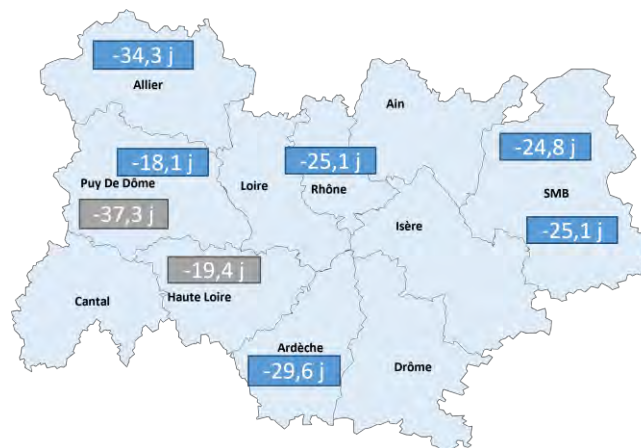


Nombre de jours de gel par an

Analyse

L'évolution du nombre de jours de gel n'est pas homogène à l'échelle de la région. La diminution va d'environ -3,7 jours à Clermont-Ferrand (63) à -9,3 jours à Mont-Dore (63). Cette différence s'explique par deux raisons. La première est que la station de Mont-Dore comptabilise plus de jours de gel, l'écart sera donc plus important en valeur absolue. La seconde est que les températures augmentent plus rapidement en altitude. Cette décroissance est cohérente avec l'augmentation des températures moyennes causée par le changement climatique.

L'évolution du nombre de jours de gel annuel en 63 ans (40 ans pour la station de Le Puy, 53 ans pour celle de Mont-Dore et 61 ans pour celle de Bourg-Saint-Maurice) est représentée dans la carte ci-dessous :



Il s'agit de la différence entre la moyenne de la première décennie (variable en fonction des stations) et de celle de la dernière (2012 – 2021). Les disparités entre les stations peuvent être expliquées en partie par les différences de profondeur de données. Les stations de Le Puy et de Mont-Dore sont en gris sur la carte car le nombre de données est limité par rapport aux autres stations.

Cette diminution du nombre de jours de gel observé dans les 12 départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes a des impacts sur l'agriculture. Plus précisément, il y a des conséquences sur les processus de production végétale. Le gel est notamment impliqué dans les stades phénologiques des arbres fruitiers. Le manque de froid implique une levée de dormance de plus en plus tardive (Seguin, 2010).

La baisse de fréquence des épisodes froids pourrait également avoir des incidences sur les cycles de certains ravageurs. Le nombre important de facteurs qui entrent en compte ne permettent pas d'énoncer des généralités sur tous les bioagresseurs (Lehmann, *et al.*, 2020). Le changement climatique, bien qu'il induise une augmentation des températures moyennes et une diminution du nombre de jours de gel, n'est qu'une composante de l'équation.



Nombre de jours de gel par an

Analyse

Une accélération de ce phénomène est même observée sur un territoire. L'évolution du nombre de jours de gel est mieux représentée par une régression polynomiale pour la station de Clermont-Ferrand (63). L'augmentation de la température n'est pas linéaire mais présente une accélération significative, avec un risque d'erreur inférieur à 5%. Les conséquences du changement climatique dans ce territoire sont donc d'autant accélérées. Cette accélération peut également être visible en étudiant les années avec le plus faible nombre de jours de gel. A l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes, 8 des 10 années avec le moins d'épisodes de froid sont au XXI^e siècle.

La diminution du nombre de jours de gel n'est pas forcément synonyme d'une réduction du risque de gel printanier, destructeur pour les productions arboricole et viticole. L'avancée des stades phénologiques est un phénomène attribué au changement climatique qui peut faire évoluer les dates des périodes à risque (Seguin, 2010). Les conséquences de cette diminution du nombre de jours de gel sur les productions agricoles régionales doivent donc être examinées au cas par cas.

Pour aller plus loin : Il serait intéressant de mener une analyse plus fine afin de suivre l'évolution du nombre de jours de gel par mois voire par décennie afin de repérer un éventuel décalage dans le temps ainsi que des périodes à risque (cf « Risque de gel sur la vigne et les arbres »).

A RETENIR

L'évolution du nombre de jours de gel est de -5,92 jours / décennie en moyenne à l'échelle de la région et de -26,71 jours au cours des 63 dernières années.

La diminution tendancielle des jours de gel ne peut pas exclure des gels tardifs. L'avancement des stades phénologiques des cultures pérennes implique une évolution des périodes à risque. Les impacts de cette réduction significative du nombre de jours de gel sur les productions agricoles doivent donc être étudiés au cas par cas.

Pour en savoir plus

Lehmann, P., Ammunét, T., Barton, M., Battisti, A., Eigenbrode, S.D., Jepsen, J.U., Kalinkat, G., Neuvonen, S., Niemelä, P., Terblanche, J.S., Økland, B., Björkman, C., 2020. Complex responses of global insect pests to climate warming. In : *Frontiers of Ecology and the Environment* [en ligne]. N°18(3), PP 141-150. DOI : 10.1002/fee.2160.

Seguin, B., 2010. Le changement climatique : conséquences pour les végétaux. In : *Quaderni*. PP 77-40. 5 janvier 2010. DOI : 10.4000/quaderni.525.



Nombre de jours estivaux par an

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

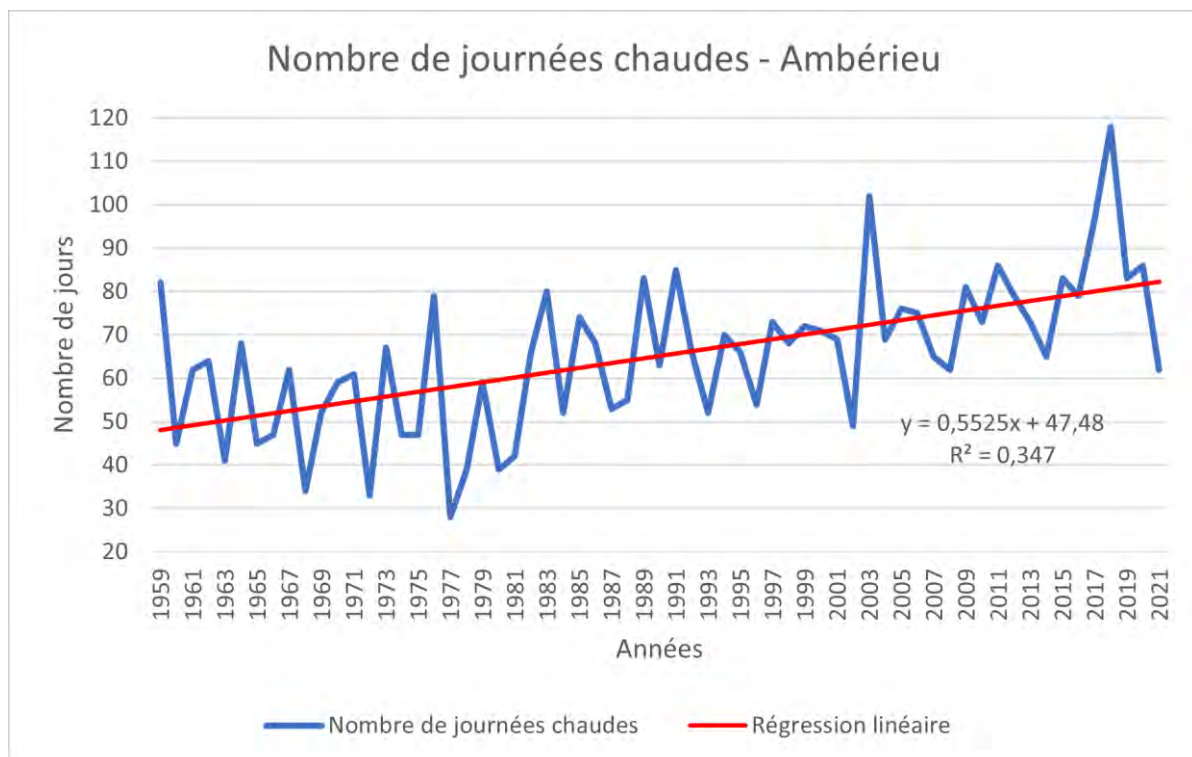
🕒 Indicateur 1

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy (03) : 1959 – 2021
- Montélimar (26) : 1959 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Mont-Dore (63) : 1969 – 2021
- Thônes (74) : 1959 - 2021
- Le Puy (43) : 1965 – 2021

📊 Calcul de l'indicateur 1

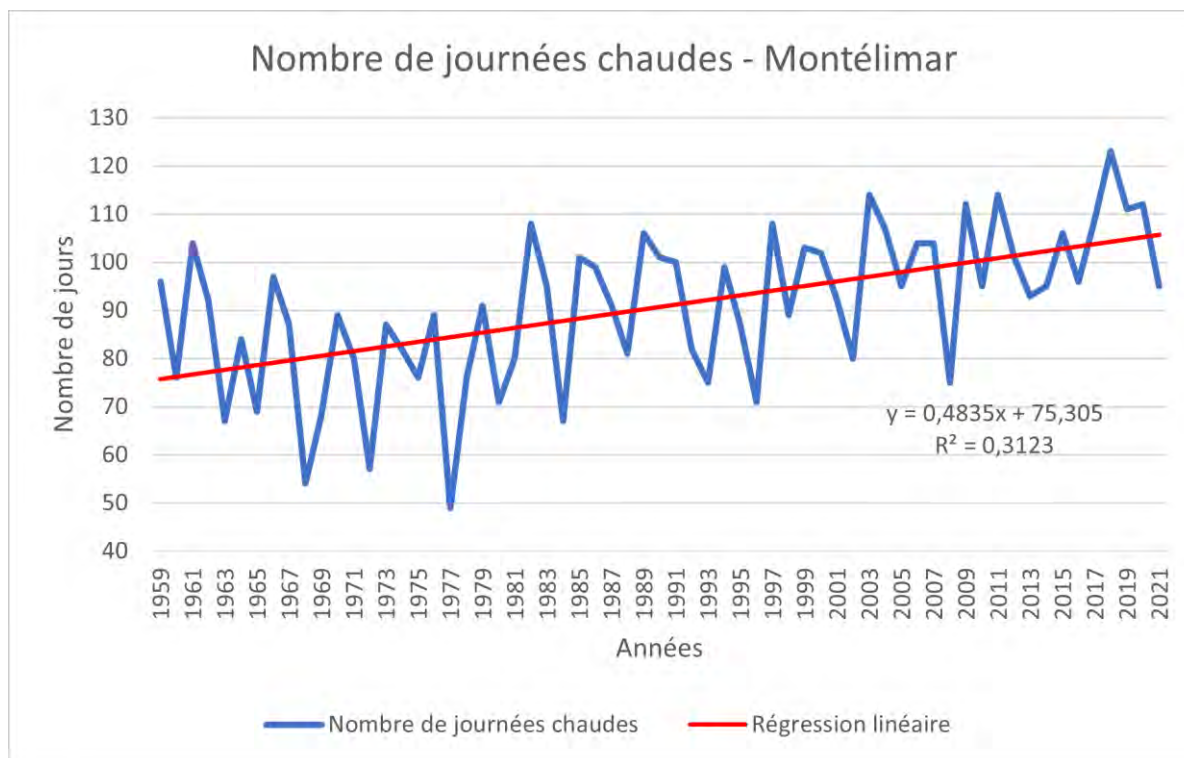
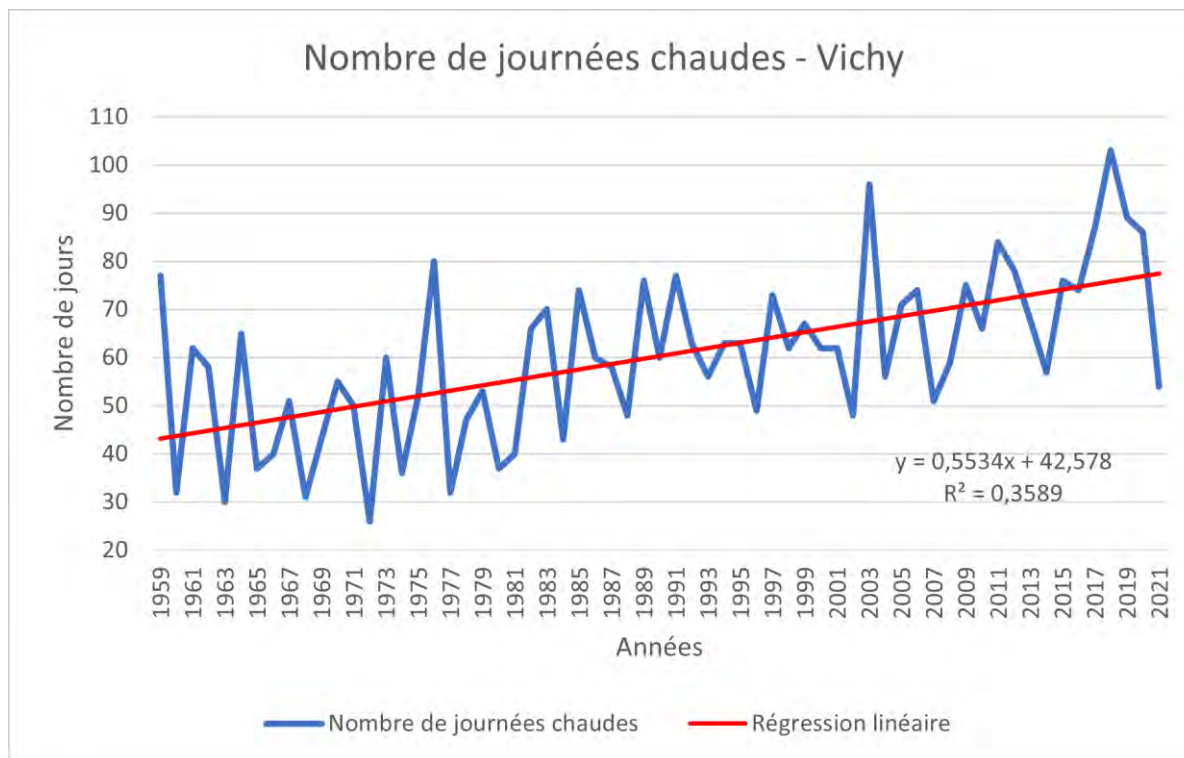
Nombre de jours pour chaque année où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C.

📈 Évolution observée



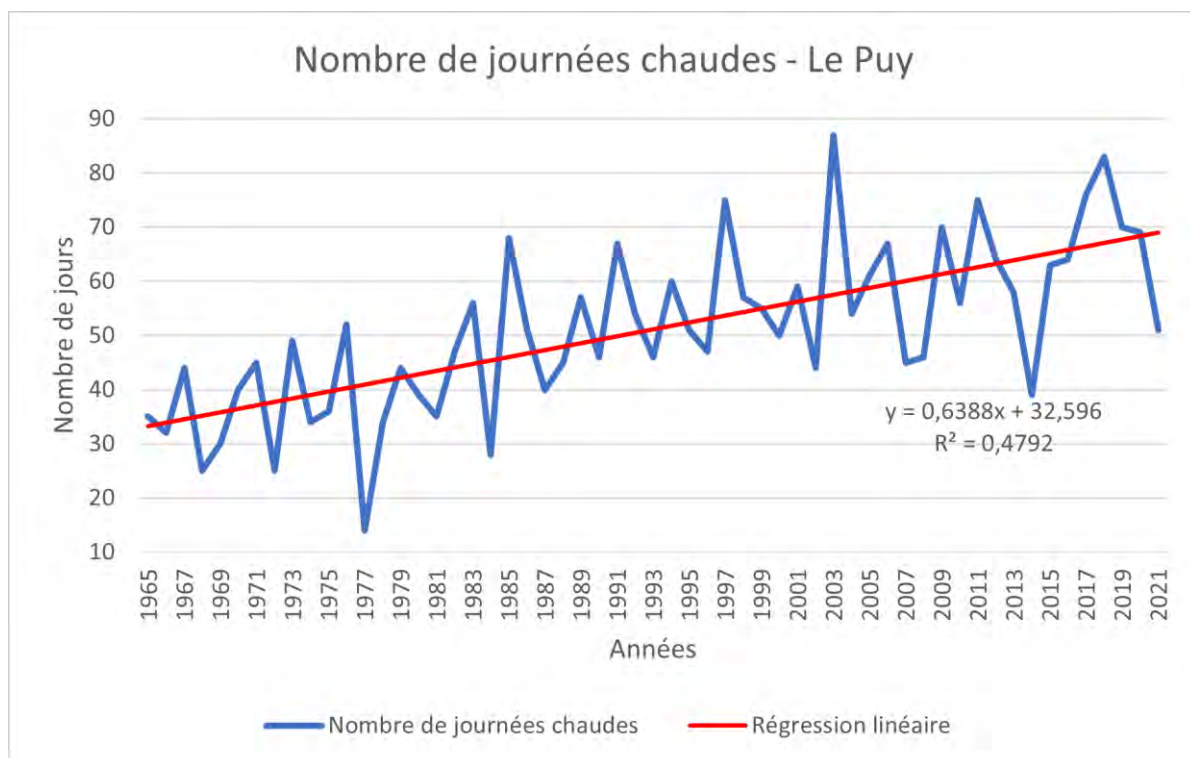
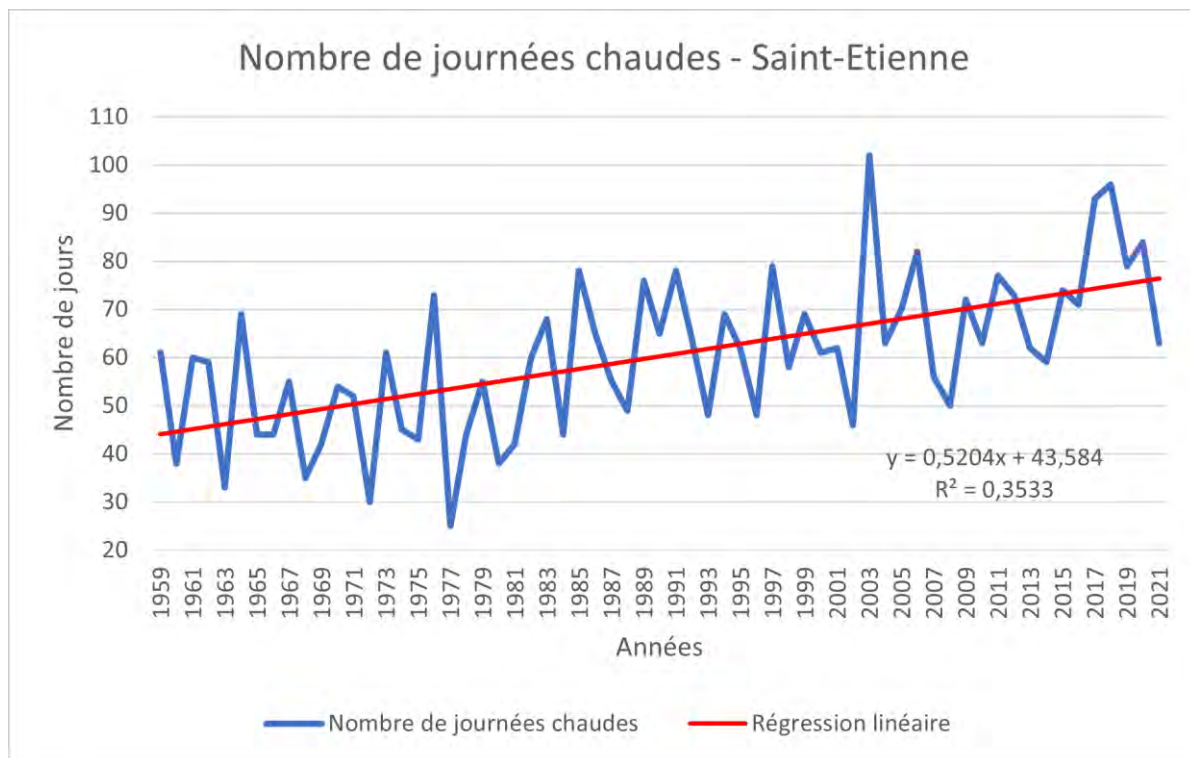


Nombre de jours estivaux par an



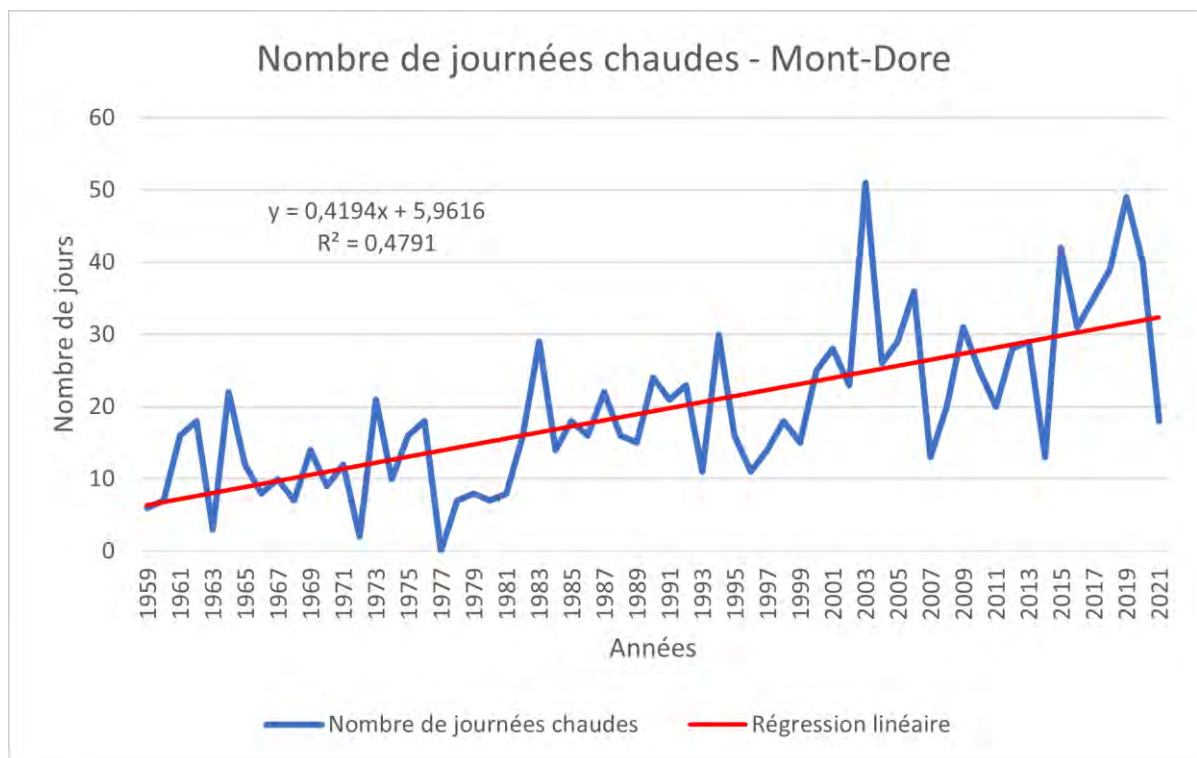
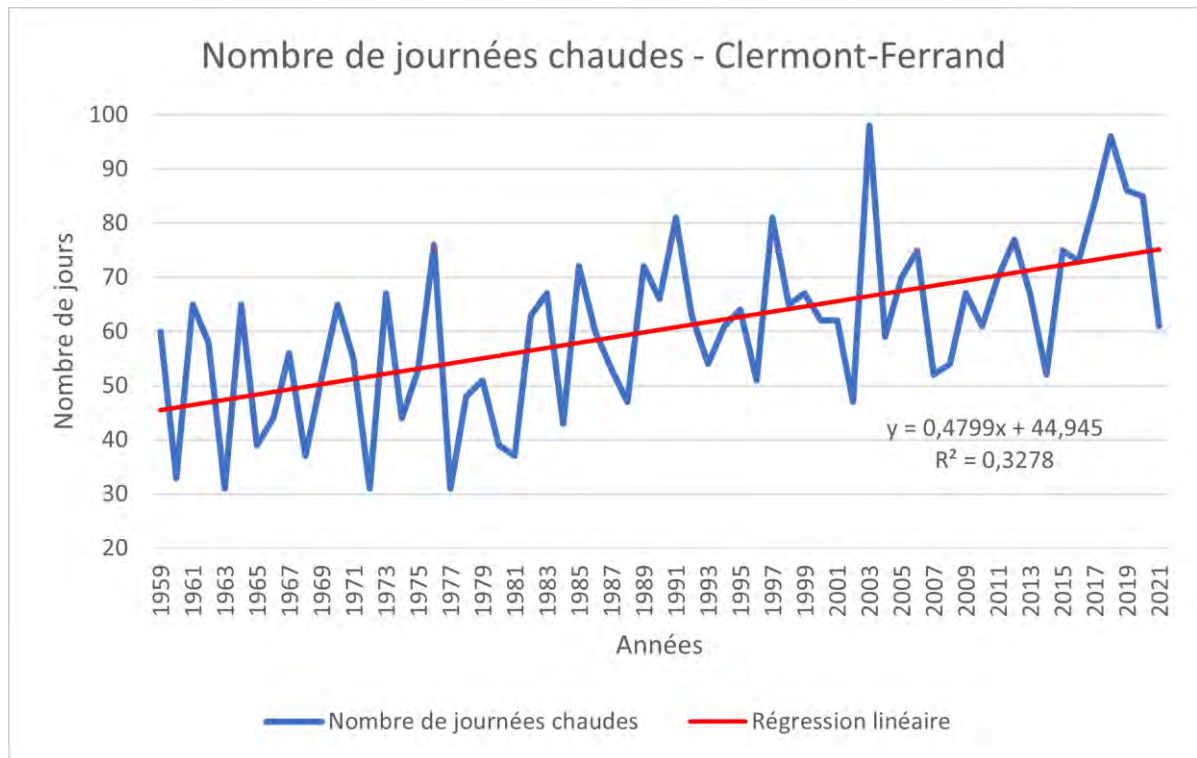


Nombre de jours estivaux par an



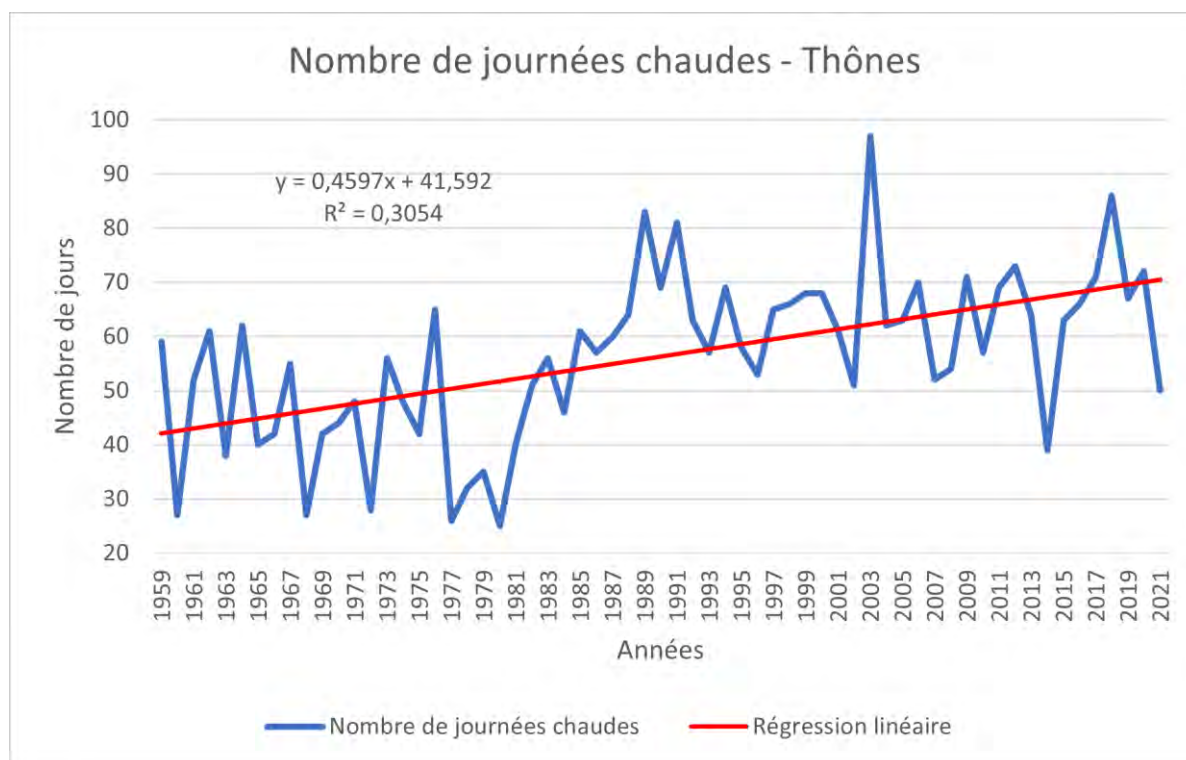


Nombre de jours estivaux par an





Nombre de jours estivaux par an



Analyse

L'évolution du nombre de jours estivaux par an observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 pour chaque station étudiée montre une augmentation tendancielle. Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution du nombre de jours estivaux moyens annuel (nb de jours/décennie)	Significativité de la tendance
Ambérieu (01)	5,52	***
Vichy (03)	5,53	***
Montélimar (26)	4,84	***
Saint-Etienne (42)	5,2	***
Le Puy (43)	6,39	***
Clermont-Ferrand (63)	4,8	***
Mont-Dore (63)	4,19	***
Thônes (74)	4,6	***

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

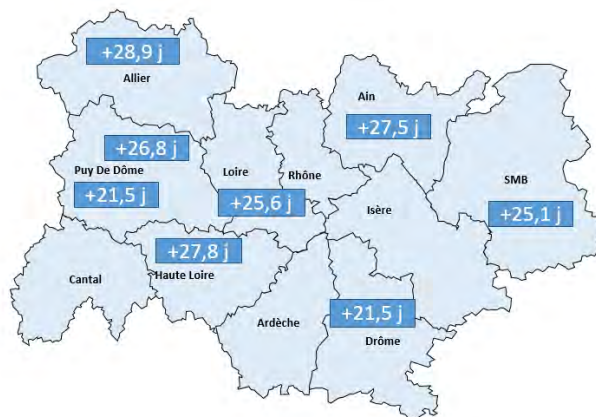
L'évolution du nombre de jours estivaux n'est pas homogène à l'échelle de la région. L'augmentation va d'environ 4,2 jours à Mont-Dore (63) à 6,4 jours à Le Puy (43). Cette croissance est cohérente avec l'augmentation des températures moyennes causée par le changement climatique.



Nombre de jours estivaux par an

Analyse

L'évolution du nombre de jours estivaux annuel en 63 ans (57 ans pour la station de Le Puy) est représentée dans la carte ci-dessous :



L'augmentation du nombre de journées chaudes a des conséquences multiples pour l'agriculture :

- Le risque de stress thermique est accru puisque les jours d'échaudage sont plus nombreux. Pourtant, l'avancement des calendriers culturaux liée à l'augmentation de la température est à prendre en compte lors de la mesure de l'impact réel.
- En automne, la viticulture est impactée puisque des températures élevées pendant la maturation accélèrent le processus d'accumulation en sucres et de diminution des acides dans les baies. Une augmentation des degrés alcooliques et une diminution des acidités sont causées par le réchauffement climatique (Mira de Orduña, 2010).
- En élevage, le stress thermique conduit généralement à des diminutions de la consommation alimentaire qui peuvent être à l'origine d'une diminution des performances. Ces effets apparaissent lorsque la température dépasse 25°C (Morand-Fehr et Doreau, 2001).
- Une augmentation des journées chaudes implique également une augmentation de l'évapotranspiration. La menace de stress hydrique s'ajoute à celle de stress thermique.

Pour aller plus loin : Un examen détaillé de la répartition intra annuelle des augmentations observées pourrait permettre d'évaluer l'évolution du risque par rapport à des périodes sensibles. Il s'agirait d'analyser le nombre de jours estivaux par saison, par mois voire par décade (cf « Nombre de jours échaudants »).



Nombre de jours estivaux par an

A RETENIR

L'évolution du nombre de jours estivaux est de 5,13 jours / décennie en moyenne à l'échelle de la région et de 24,8 jours au cours des 63 dernières années (57 pour la station de Le Puy).

L'augmentation significative du nombre de journées chaudes provoque un accroissement du risque d'échaudage des cultures, des modifications du processus lié au degré d'alcool et à l'acidité des vins, un accroissement de l'ETP et donc de la menace de stress thermique ou encore une diminution de la consommation alimentaire chez les ruminants.

Une analyse de la répartition intra annuelle des augmentations observées pourrait permettre d'évaluer l'évolution du risque par rapport à des périodes sensibles des cultures.



Pour en savoir plus

Mira de Orduña, R., 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. In : *Food Research International*. Vol 43, Issue 7, PP 1844-1855. Août 2020.

Morand-Fehr, P., et Doreau, M., 2001. Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur. In : *INRAE Productions animales*. Vol 14, n°1, PP 15-27.



Cumul annuel de précipitations

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

🕒 Indicateur 1

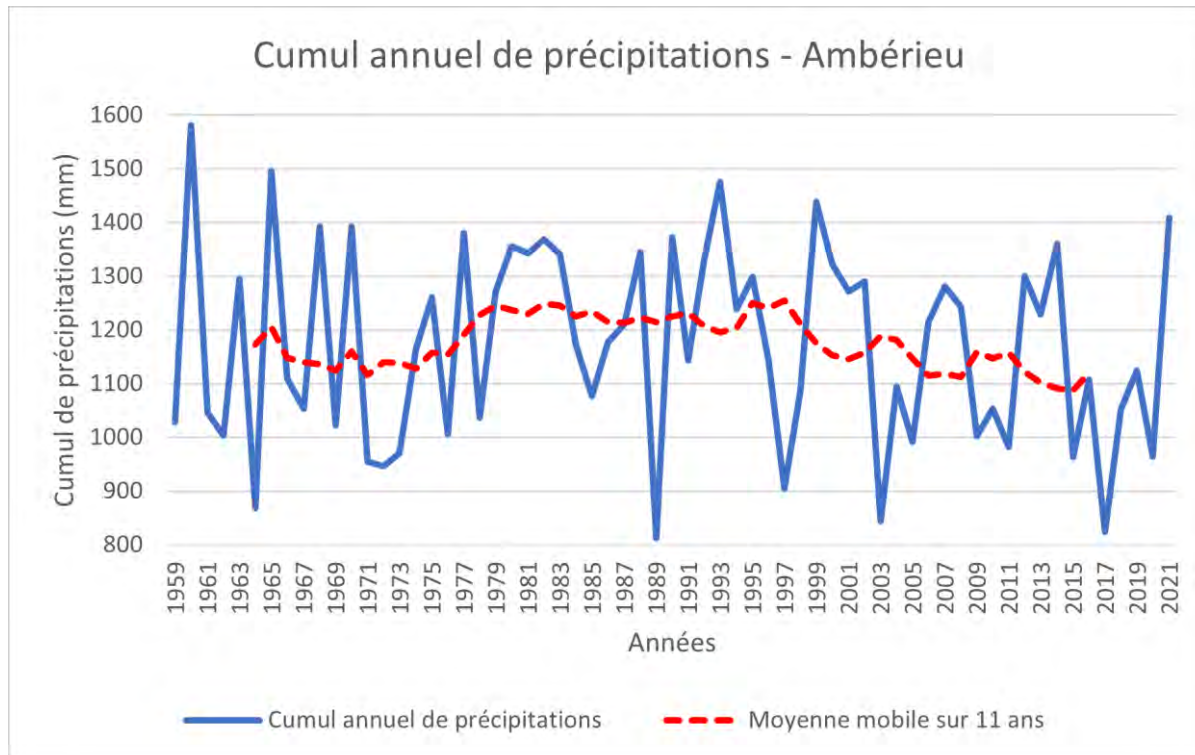
- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy (03) : 1959 – 2021
- Aubenas (07) : 1959 – 2021
- Aurillac (15) : 1959 – 2021
- Montélimar (26) : 1959 – 2021
- Bourgoin (38) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1965 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 – 2021
- Bourg-Saint-Maurice (73) : 1959 – 2021
- Annecy (74) : 1959 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021

🧮 Calcul de l'indicateur 1

Cumul annuel des précipitations journalières.

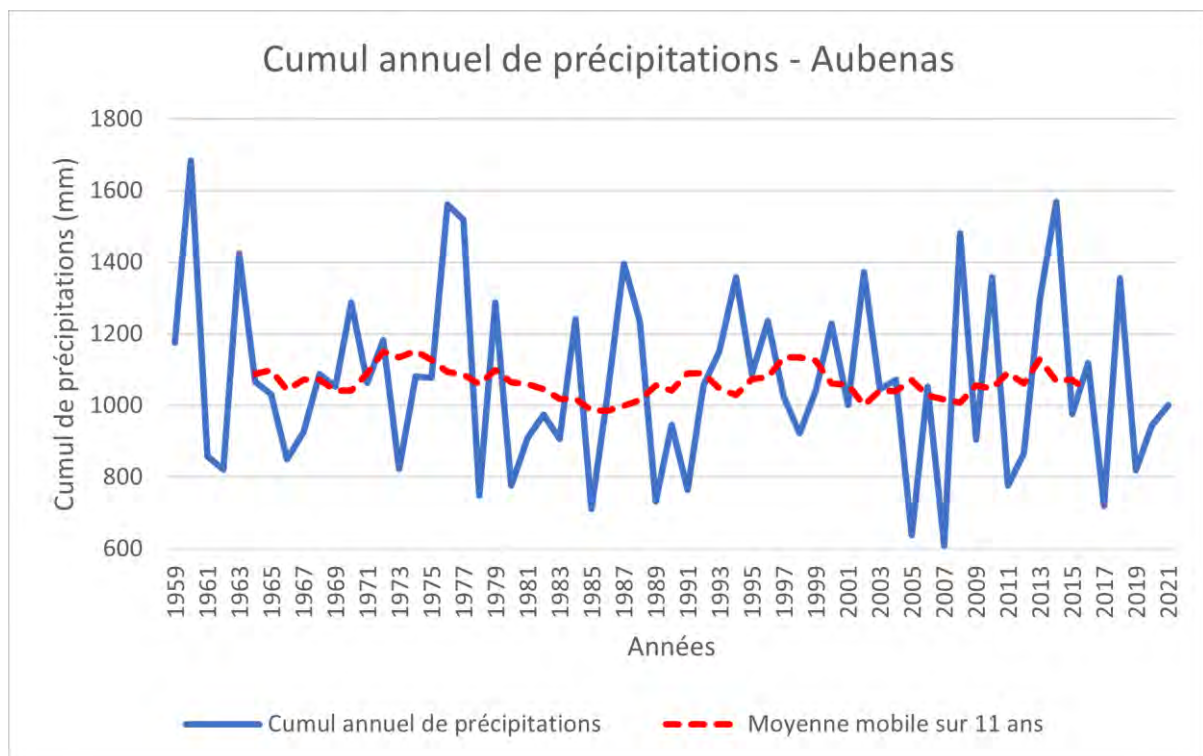
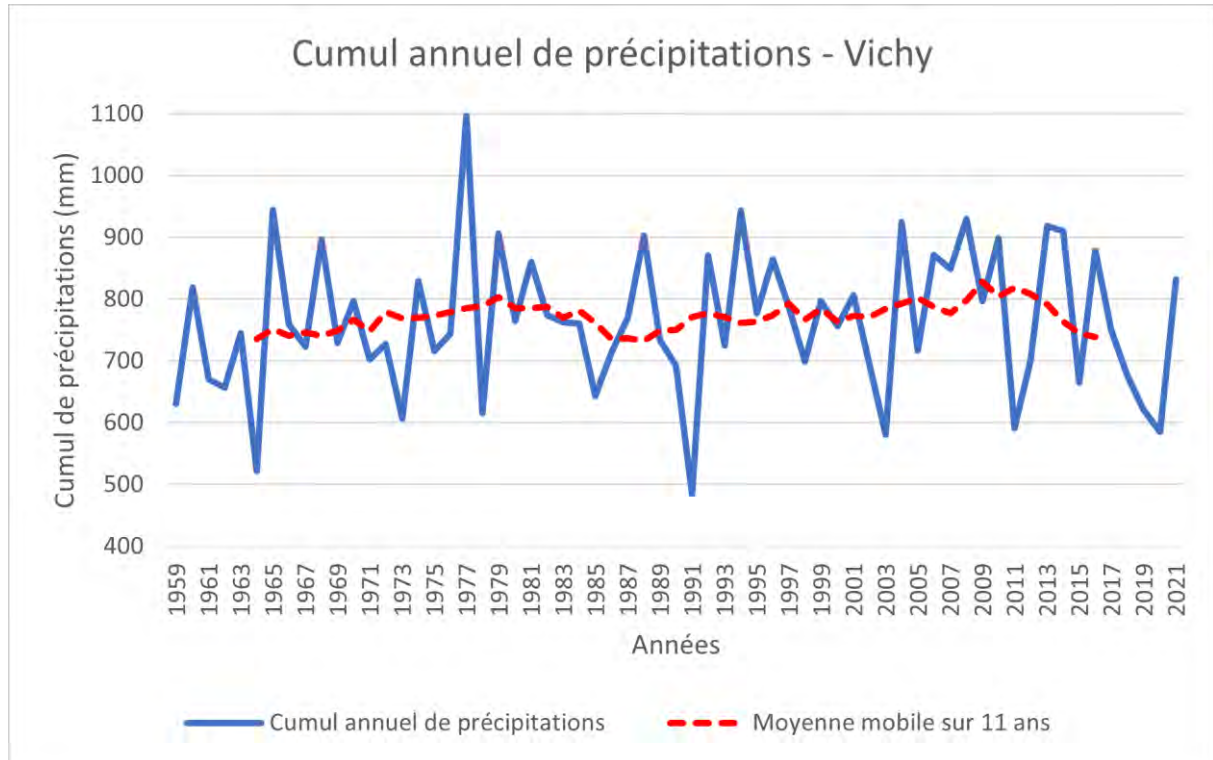
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



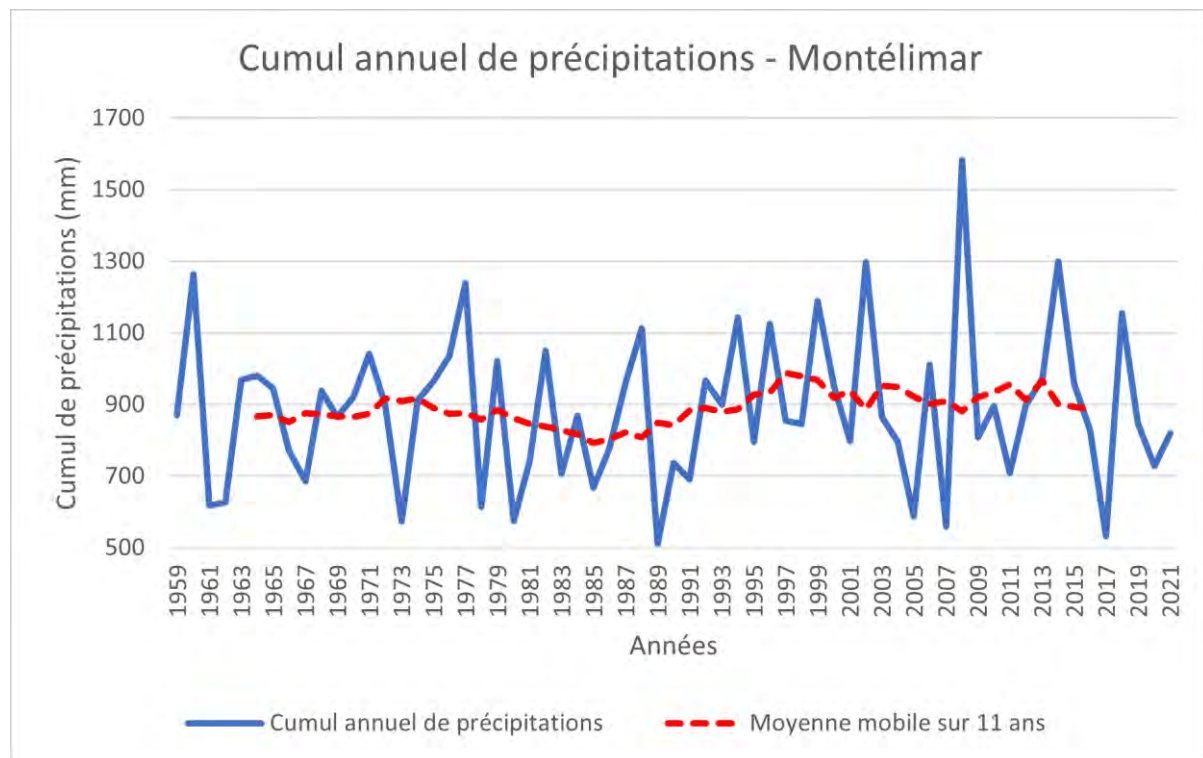
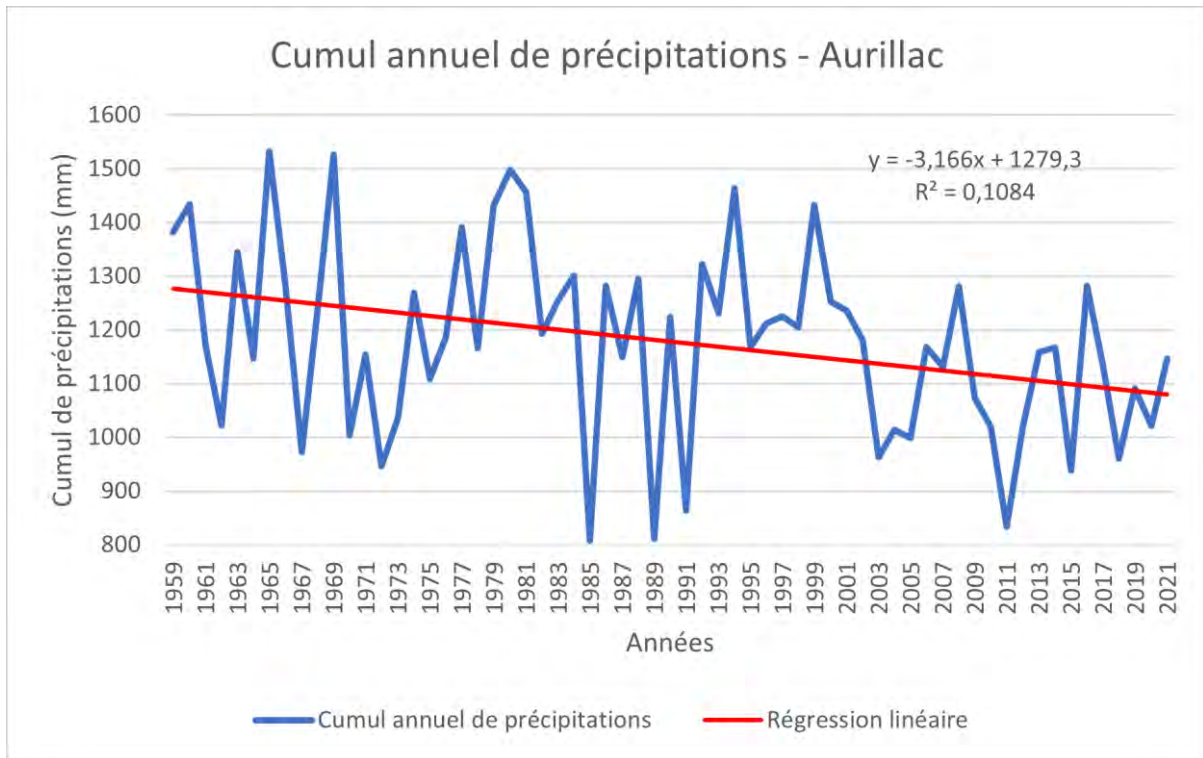


Cumul annuel de précipitations



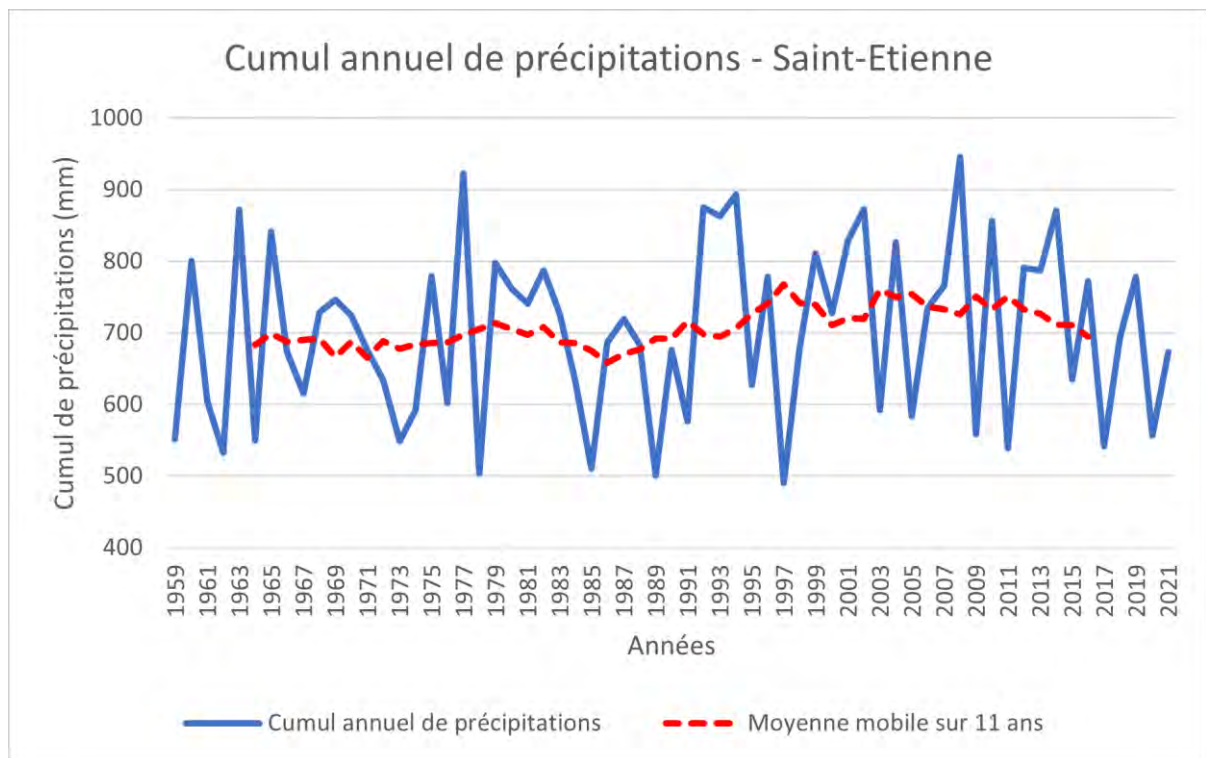
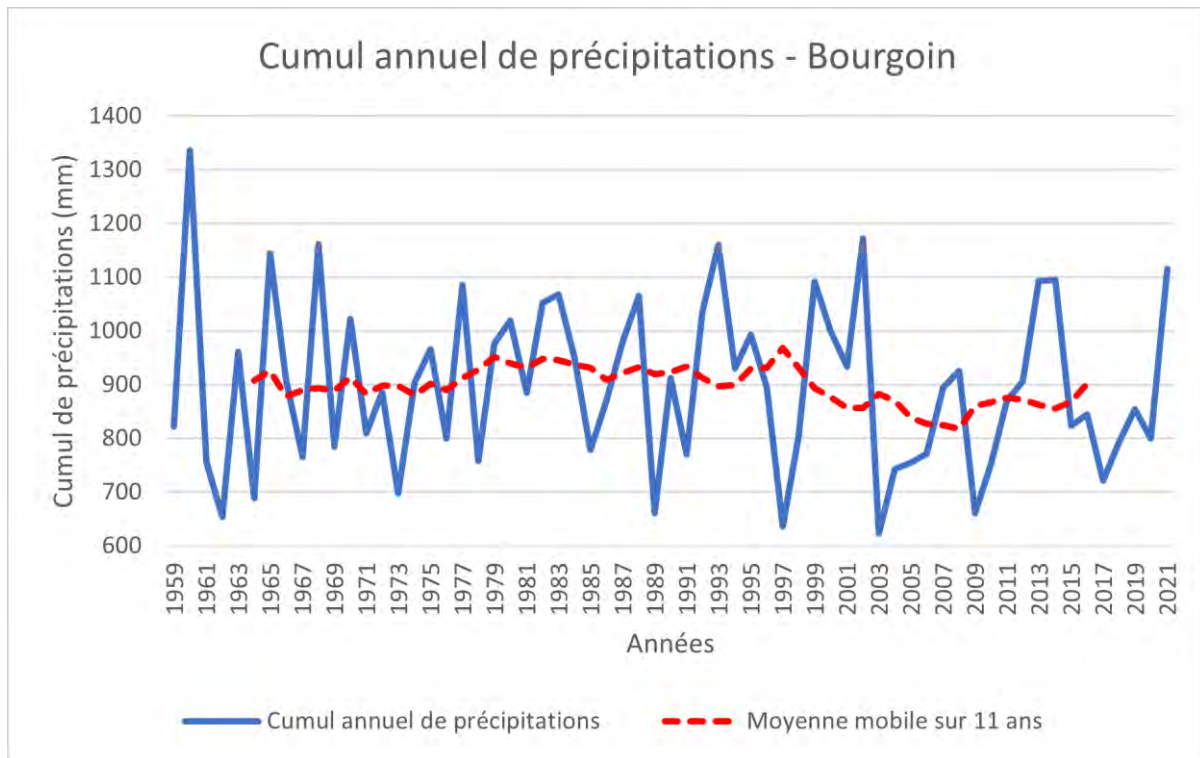


Cumul annuel de précipitations



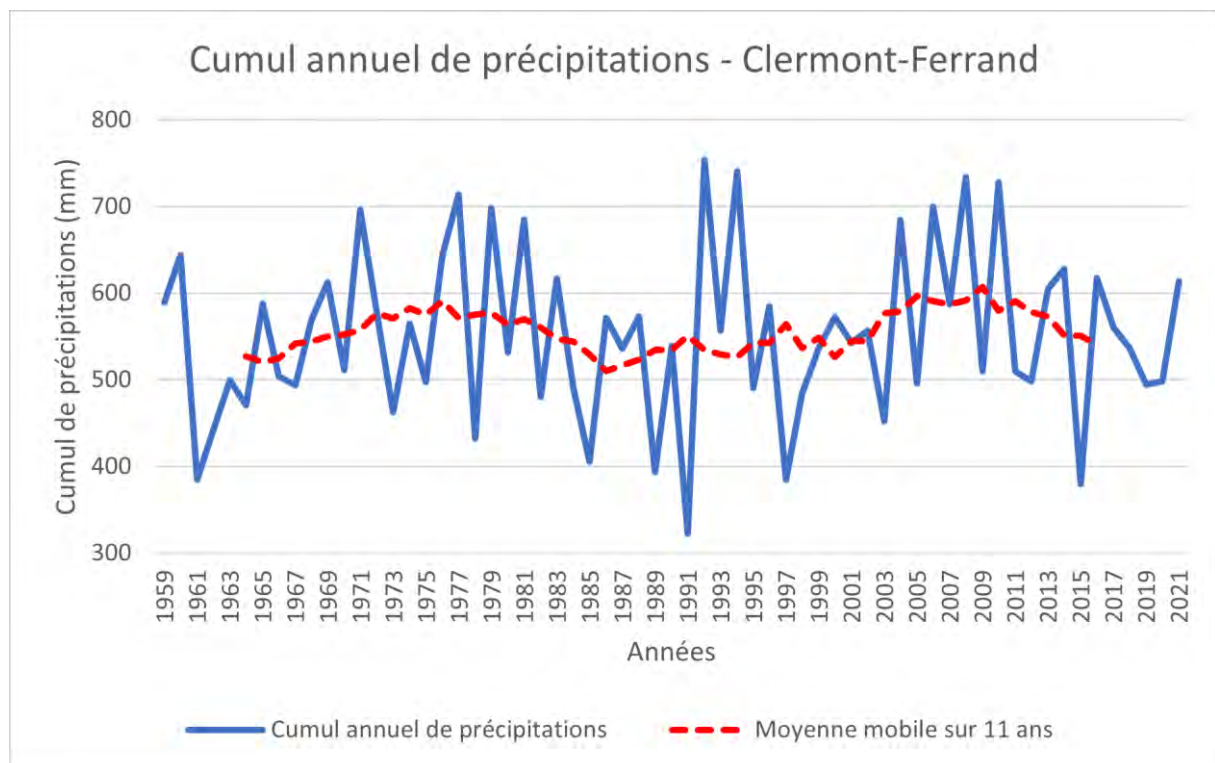
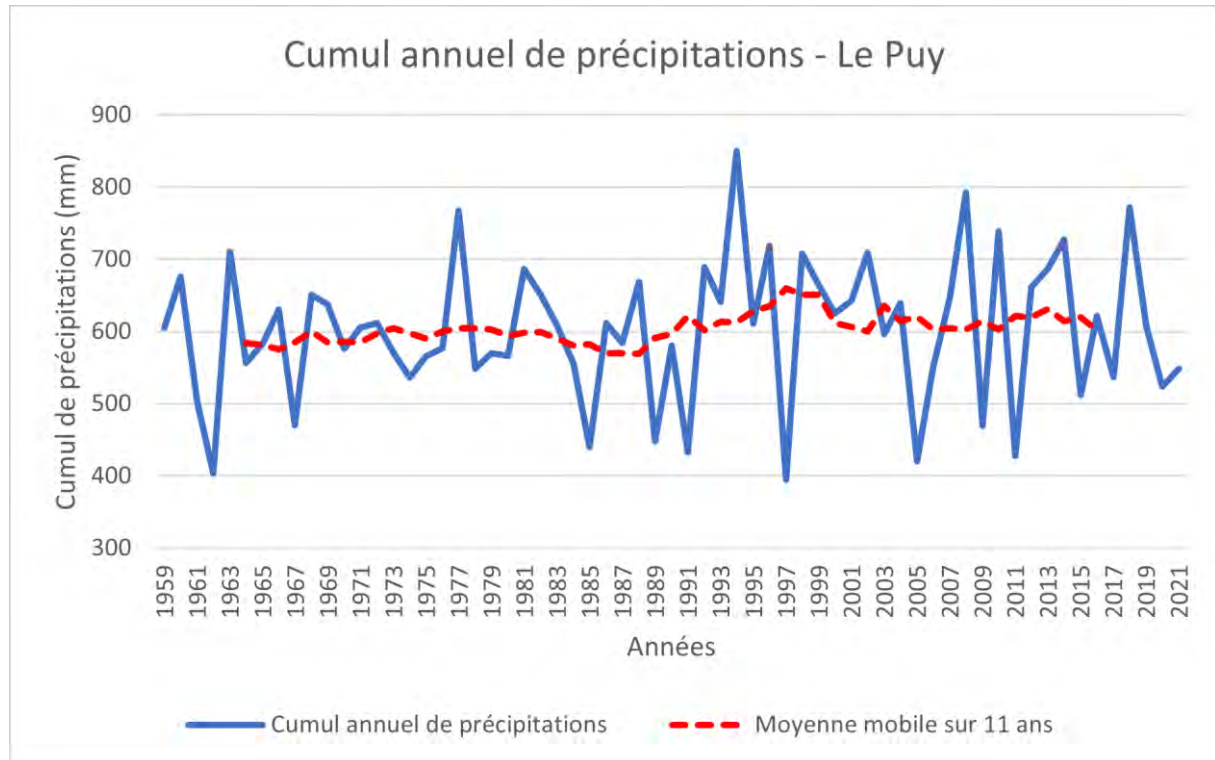


Cumul annuel de précipitations



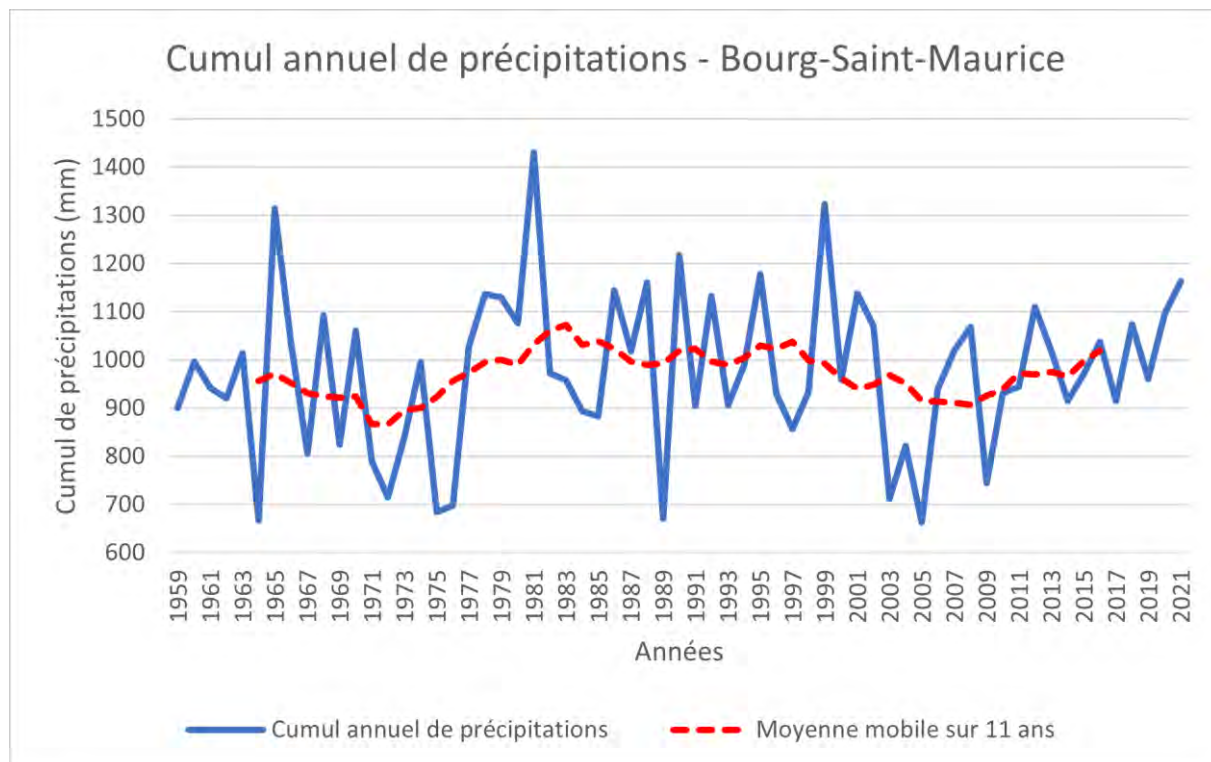
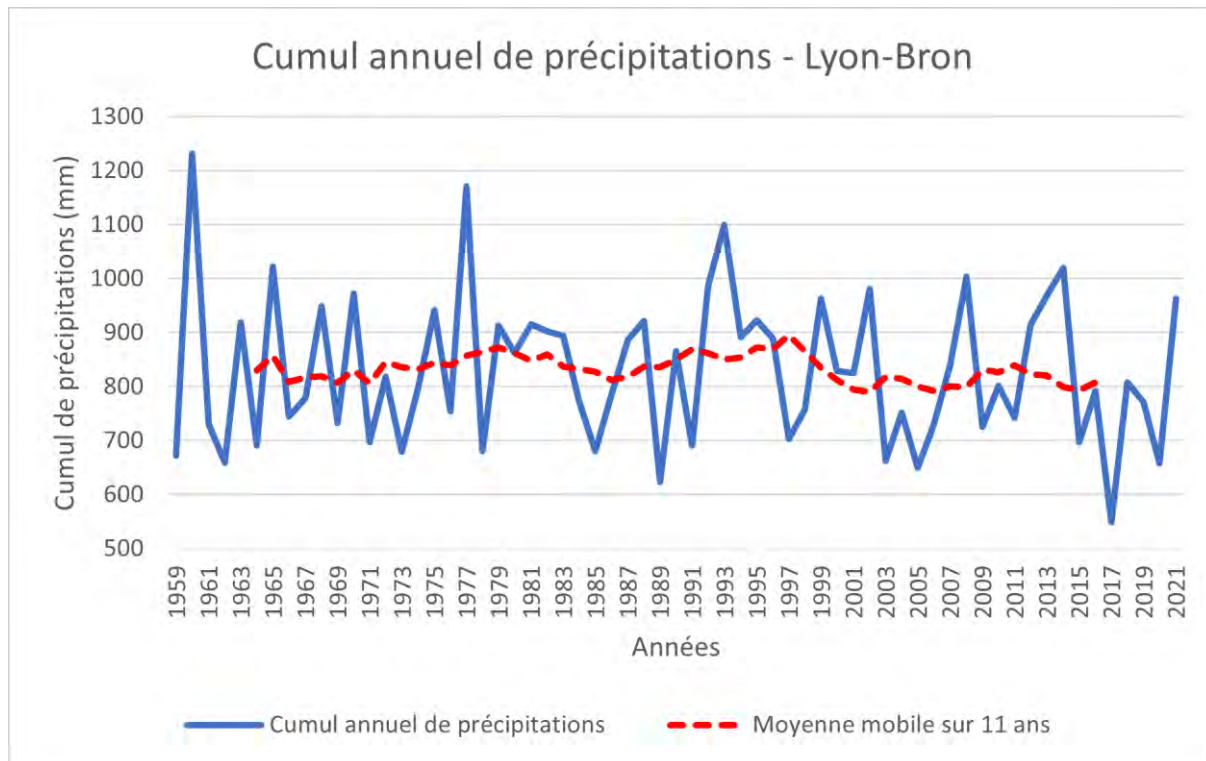


Cumul annuel de précipitations



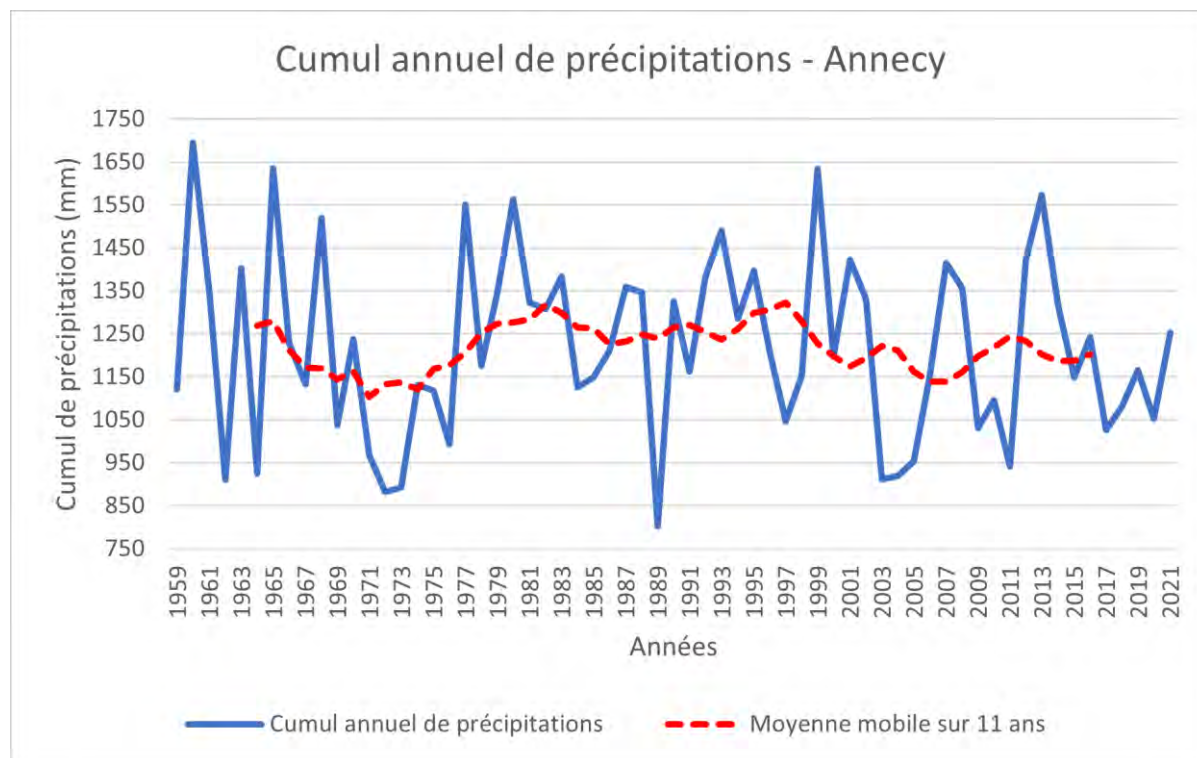


Cumul annuel de précipitations





Cumul annuel de précipitations



Analyse

L'évolution du cumul annuel de précipitations observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 pour chaque station étudiée ne montre pas de tendances significatives. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution du cumul annuel de précipitations (mm/décennie)	Significativité de la tendance
Ambérieu (01)	-9,31	ns
Vichy (03)	4,93	ns
Aubenas (07)	-12,13	ns
Aurillac (15)	-31,67	**
Montélimar (26)	6,38	ns
Bourgoin (38)	4,83	ns
Saint-Etienne (42)	3,34	ns
Le Puy (43)	3,9	ns
Clermont-Ferrand (63)	5,49	ns
Lyon-Bron	5,05	ns
Bourg-Saint-Maurice (73)	4,38	ns
Annecy (74)	5,94	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Cumul annuel de précipitations

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

🕒 Indicateur 1

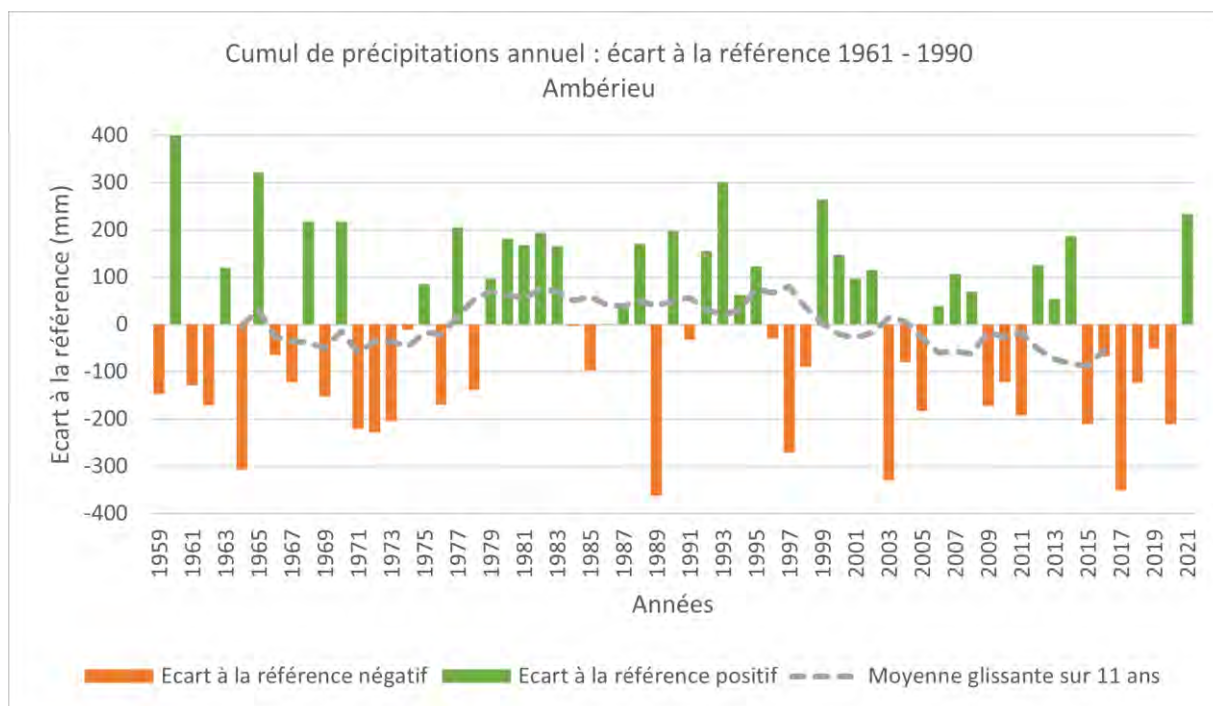
- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy (03) : 1959 – 2021
- Aubenas (07) : 1959 – 2021
- Aurillac (15) : 1959 – 2021
- Montélimar (26) : 1959 – 2021
- Bourgoin (38) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1965 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 – 2021
- Bourg-Saint-Maurice (73) : 1959 – 2021
- Annecy (74) : 1959 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021

📊 Calcul de l'indicateur 2

Les données sont identiques à celles de l'indicateur 1 mais exprimées en anomalies. Il s'agit de l'écart entre le cumul annuel de précipitations et le cumul de précipitation moyen pluriannuel établi à partir des mesures réalisées de 1961 à 1990. La normale climatologique standard de 1961 – 1990 est la période officielle de référence définie par l'Organisation Météorologique Mondiale. Bien que les normales climatologiques standard soient actualisées tous les 10 ans à des fins opérationnelles, la période 1961 – 1990 est conservée comme période de référence historique, afin de faciliter les évaluations du changement climatique à long terme.

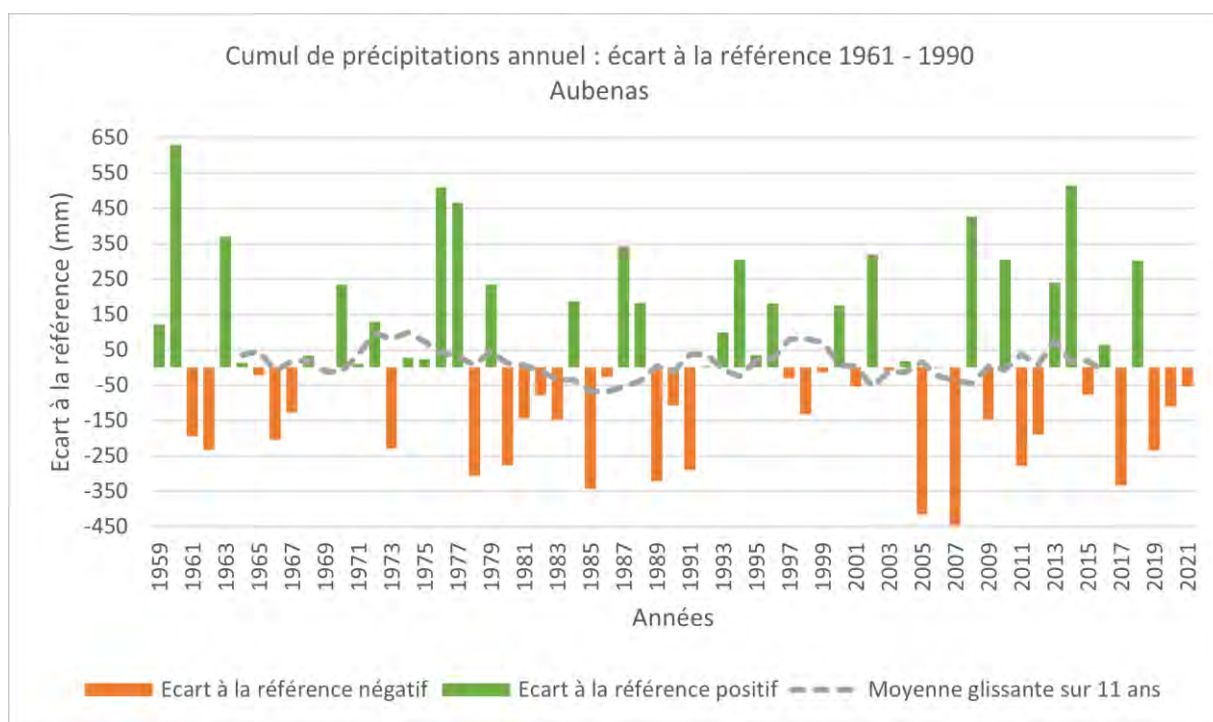
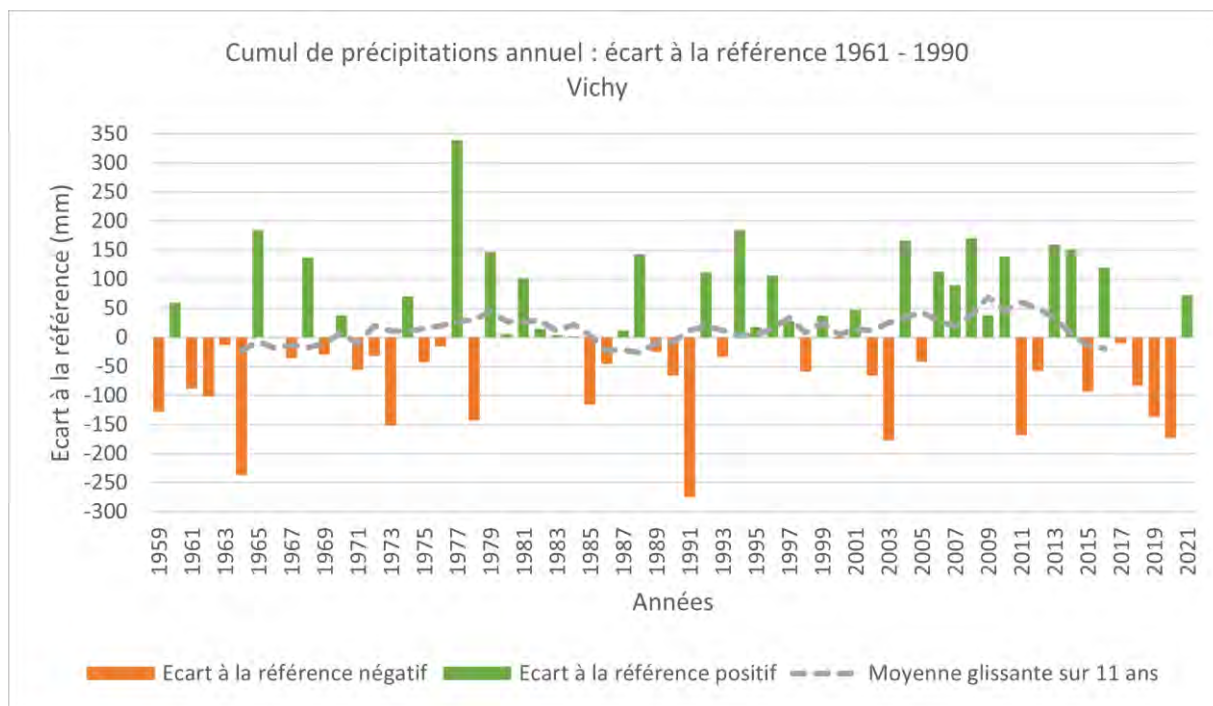
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



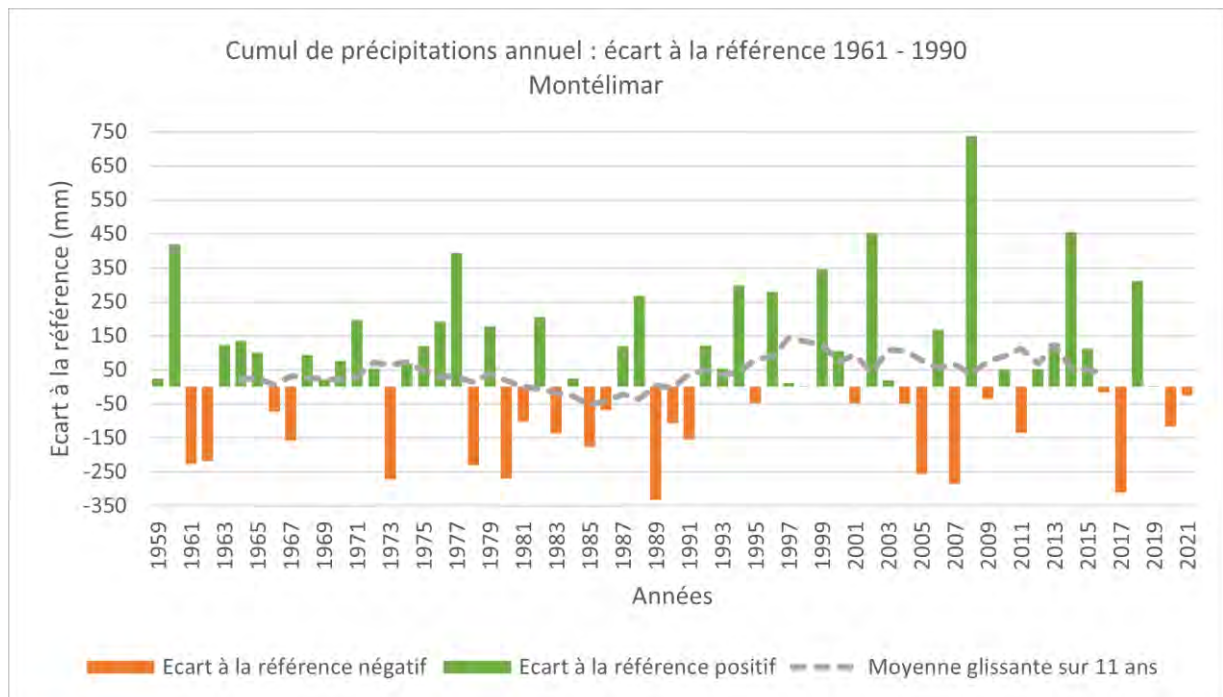
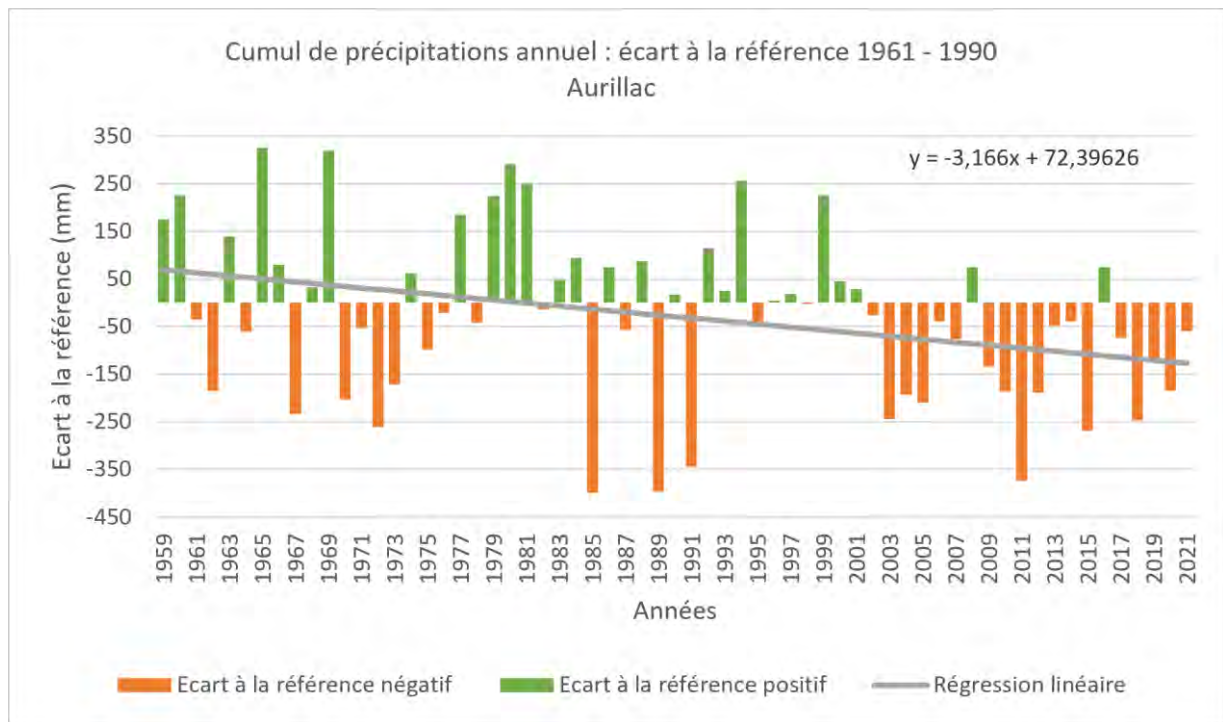


Cumul annuel de précipitations



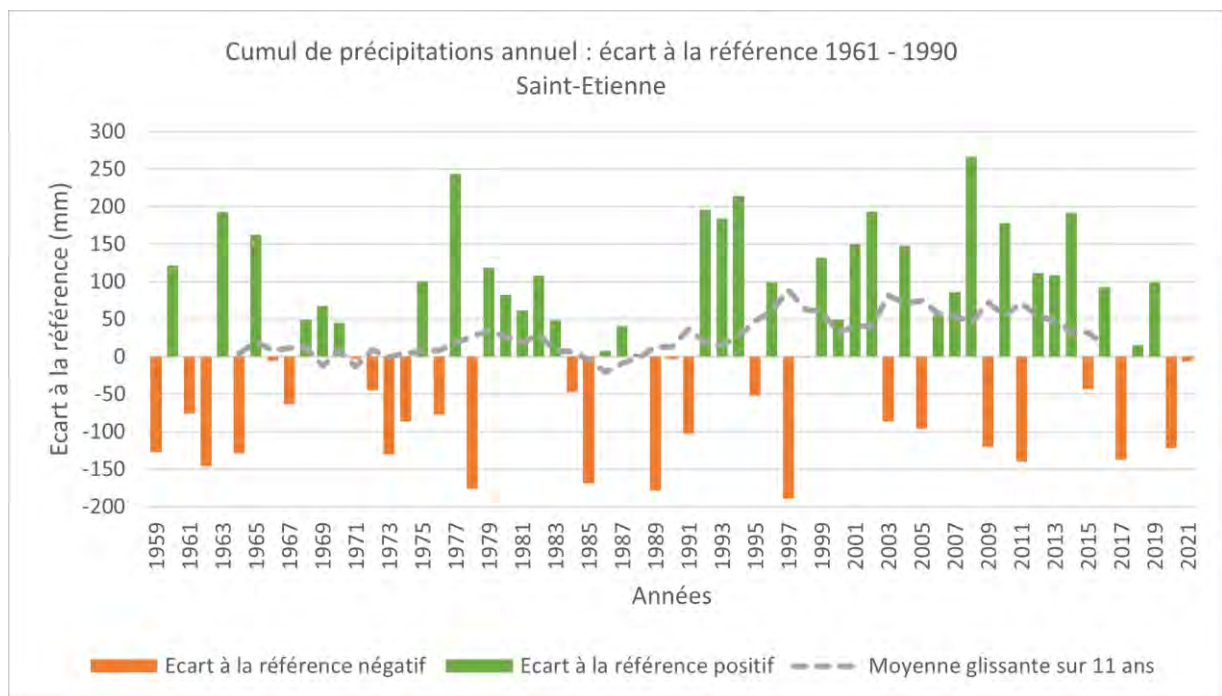
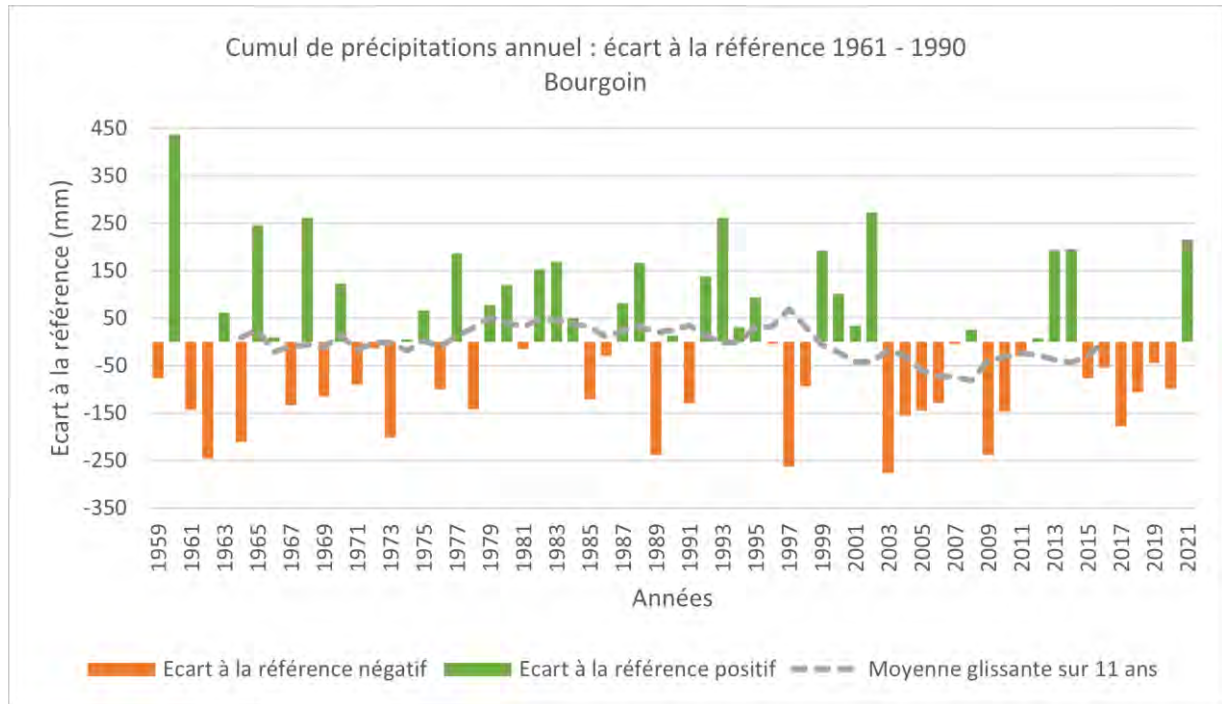


Cumul annuel de précipitations



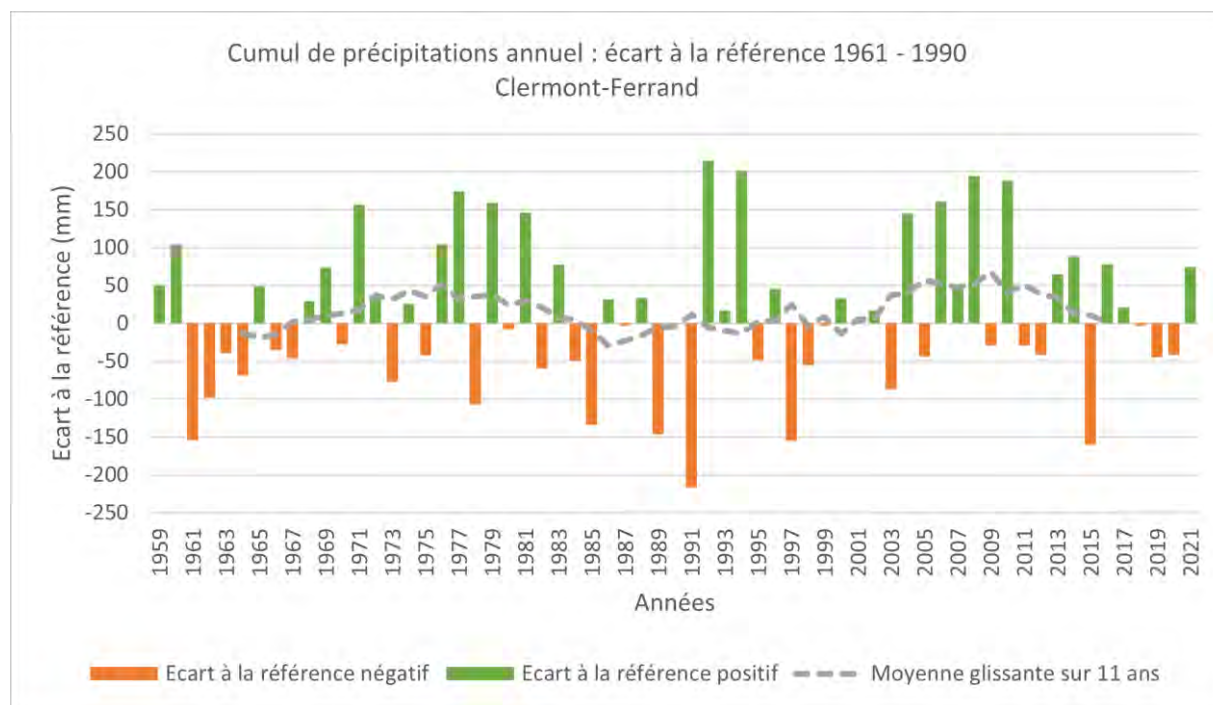
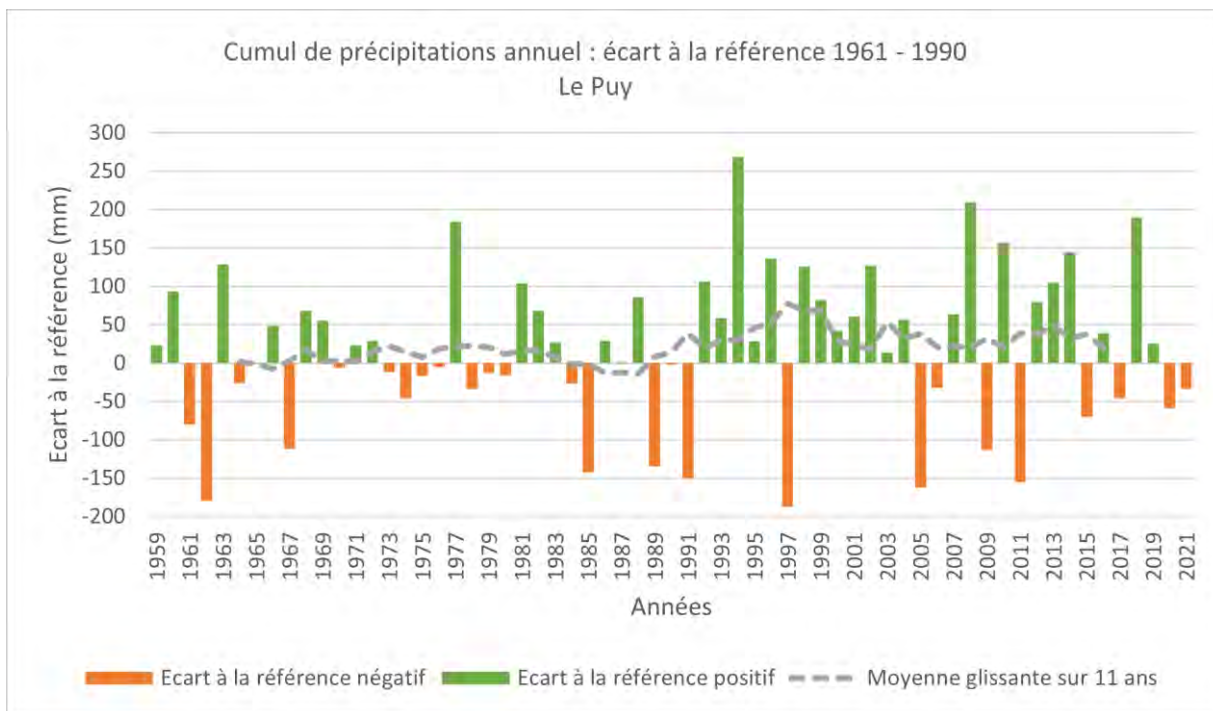


Cumul annuel de précipitations



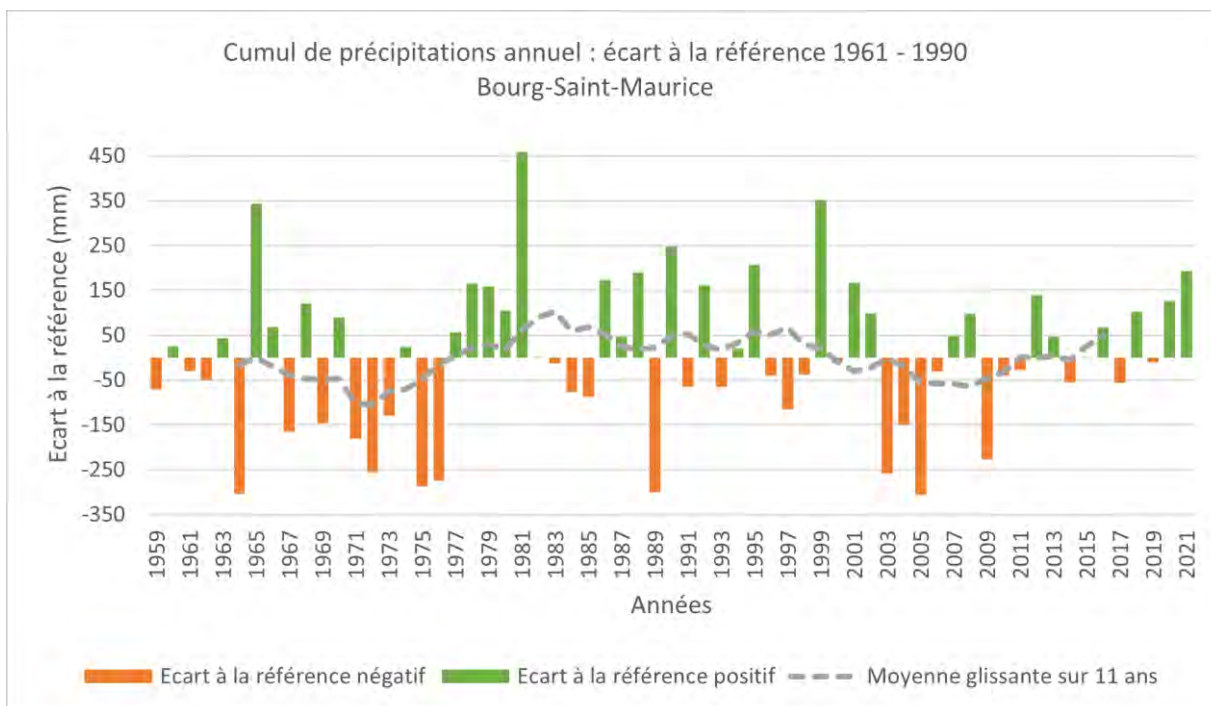
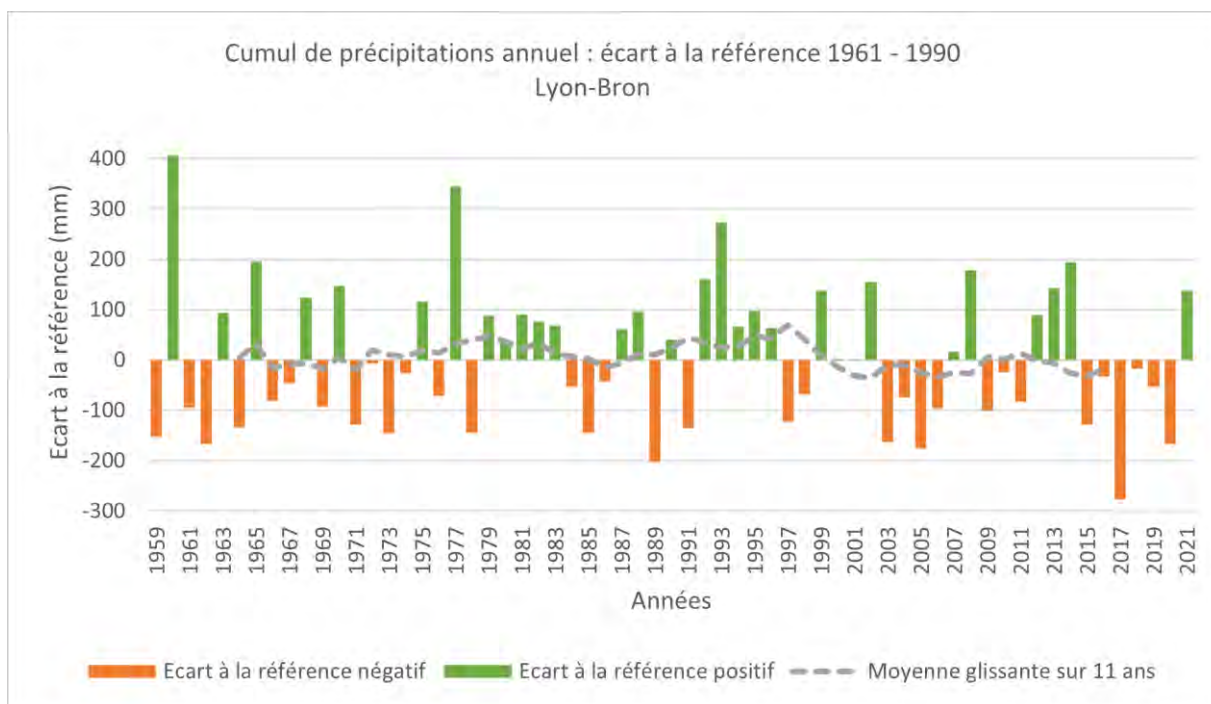


Cumul annuel de précipitations



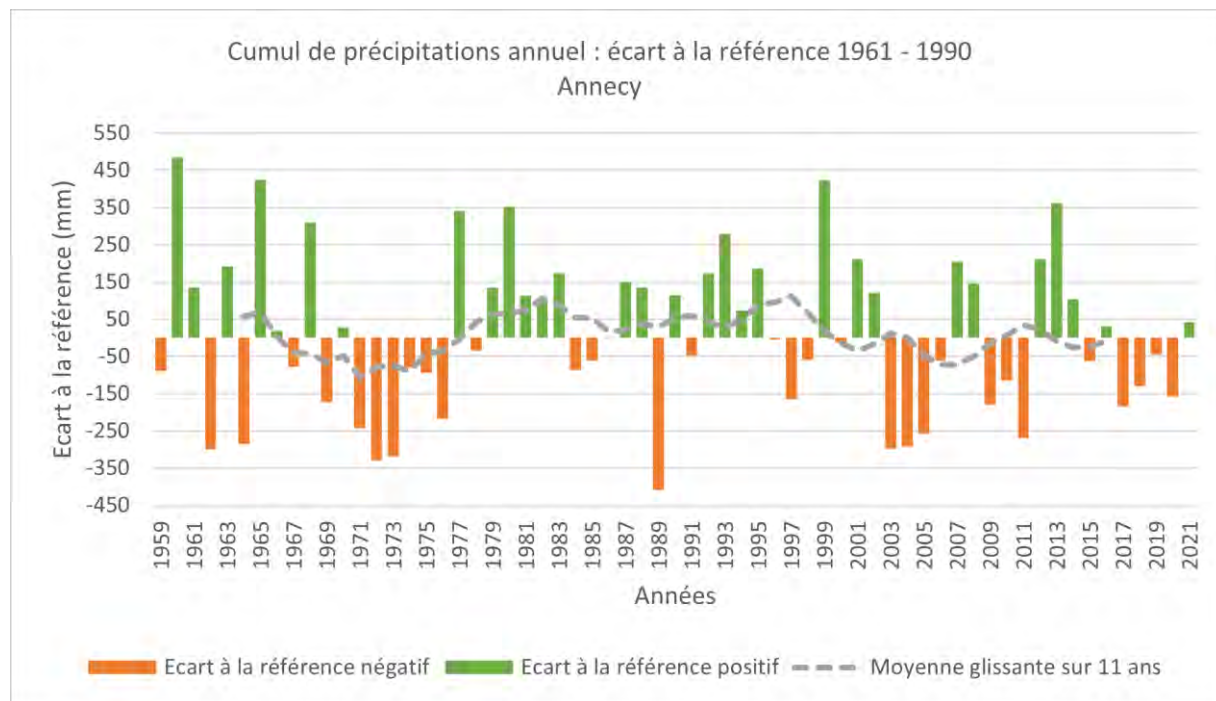


Cumul annuel de précipitations





Cumul annuel de précipitations



Analyse

La station d'Aurillac (15) est la seule pour laquelle la tendance est significative. Globalement, les évolutions montrent une absence de tendance générale ainsi qu'une hétérogénéité spatiale pour cet indicateur. Il y a autant de stations qui présentent une augmentation du cumul annuel des précipitations qu'une diminution. L'absence de tendance significative est un résultat semblable à ce qui a été observé dans la région Occitanie (ORACLE Occitanie, 2021). Cette situation se distingue de celle observée pour les températures, dont les tendances sont significatives et beaucoup plus homogènes spatialement.

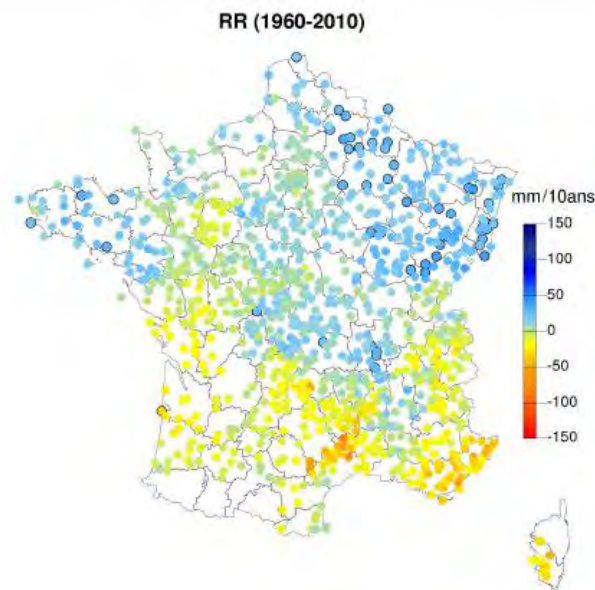
A l'échelle de la France, l'évolution du cumul annuel de précipitations sur la période 1960-2010 en métropole n'est pas significative (Gibelin, 2015). Une forte variabilité spatiale est également présente avec davantage de hausse dans le Nord et de baisse dans le Sud-Est comme l'illustre la carte ci-dessous :



Cumul annuel de précipitations

Analyse

Evolution annuelle des précipitations (1960-2010)



Source : Gibelin, 2015.

L'absence de signal clair pourrait être expliquée en partie par de fortes disparités mensuelles, saisonnières ou interannuelles. En effet, les variations entre deux années consécutives peuvent atteindre 1023,6mm à Montélimar entre 2007 et 2008. Afin de vérifier cette théorie, le calcul du coefficient de variation permet de mesurer la variabilité interannuelle relative. Il s'agit du rapport entre l'écart-type et la moyenne. Pourtant, par ajustement linéaire, il n'y a pas de tendance significative quant à l'augmentation ou la diminution du coefficient de variation. Il n'est pas possible de démontrer que la variabilité relative interannuelle augmente ou diminue.

Le GIEC parle d'une augmentation de la fréquence des épisodes de fortes précipitations. Toutefois, les séries annuelles disponibles ne permettent pas de le vérifier (Moisselin *et al.*, 2012).

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

A RETENIR

L'évolution du cumul annuel de précipitations observée en région Auvergne-Rhône-Alpes de 1959 à 2021 pour chaque station étudiée ne montre pas de tendances significatives. Seule la station d'Aurillac (15) présente une baisse significative d'environ -31,67 mm / décennie.

Le cumul annuel régional est donc relativement constant ces 63 dernières années ce qui correspond aux tendances observées à l'échelle nationale.

La variabilité interannuelle ne semble pas évoluer non plus. Il serait donc intéressant d'étudier les cumuls saisonniers afin de vérifier si la stagnation des précipitations annuelles ne masquerait pas des modifications saisonnières.



Cumul annuel de précipitations



Pour en savoir plus

Gibelin, A-L., 2015. Evolution du climat passé en France métropolitaine depuis les années 50. In : *Rencontres Nationales de l'Agrométéorologie*. Session Agriculture et Changement Climatique. 14 janvier 2015.

Moisselin, J-M., Schneider, M., Canellas, C., Mestre, O., 2002. Les changements climatiques en France au XXe siècle. Etudes des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. In : *La Météorologie*. N°38. Août 2002.

[ORACLE Occitanie](#), 2021.



Cumul saisonnier de précipitations

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes fournies par Météo France de 1959 à 2021.

🕒 Indicateur 1

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy (03) : 1959 – 2021
- Aubenas (07) : 1959 – 2021
- Aurillac (15) : 1959 – 2021
- Montélimar (26) : 1959 – 2021
- Bourgoin (38) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1965 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 – 2021
- Bourg-Saint-Maurice (73) : 1959 – 2021
- Annecy (74) : 1959 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021

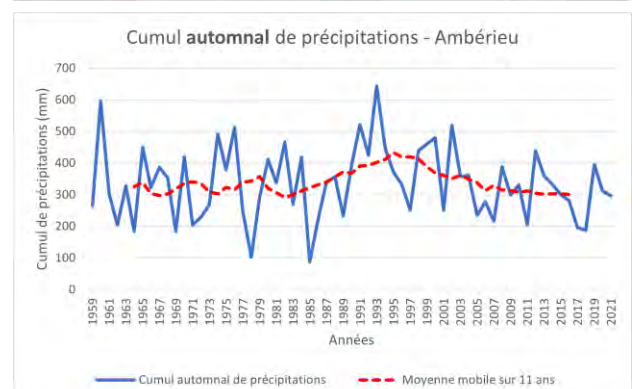
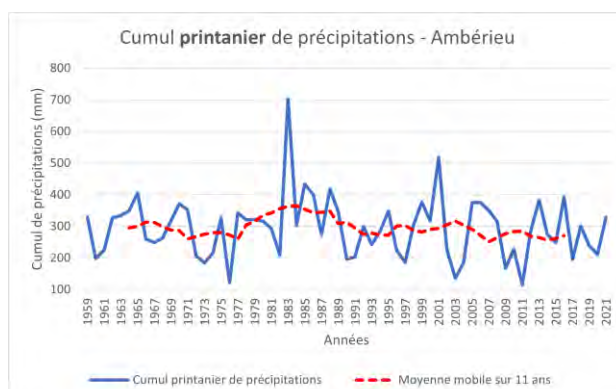
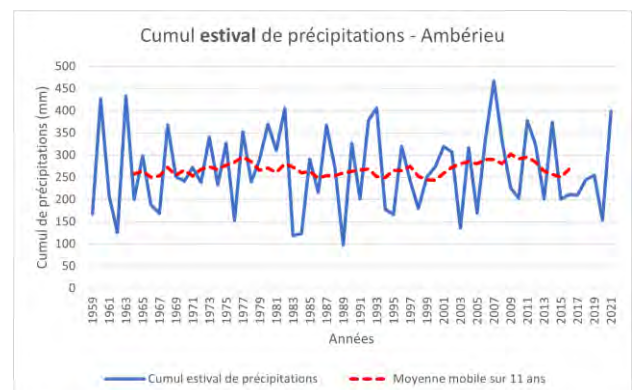
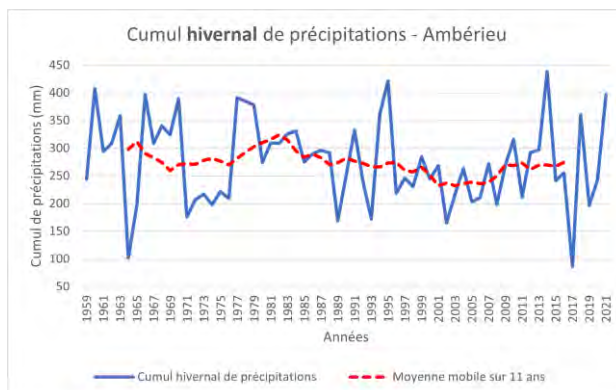
📊 Calcul de l'indicateur 1

Cumul trimestriel des précipitations journalières, selon un découpage des saisons utilisé en climatologie :

- Hiver : Décembre – Janvier – Février
- Printemps : Mars – Avril – Mai
- Été : Juin – Juillet – Août
- Automne : Septembre – Octobre – Novembre

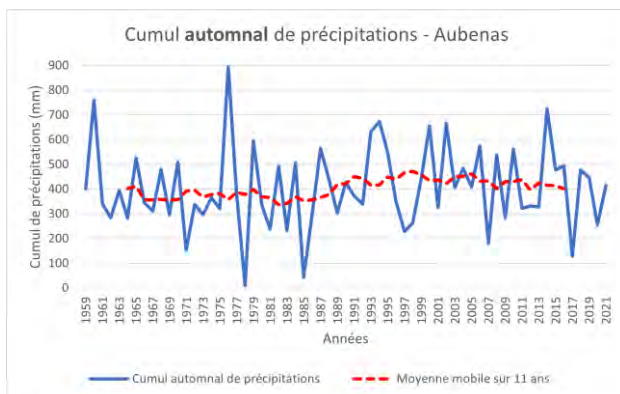
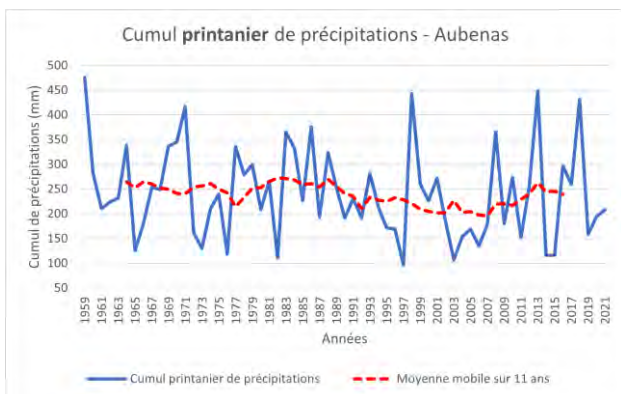
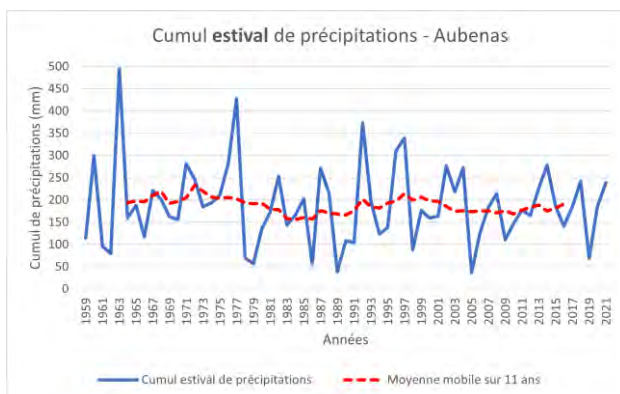
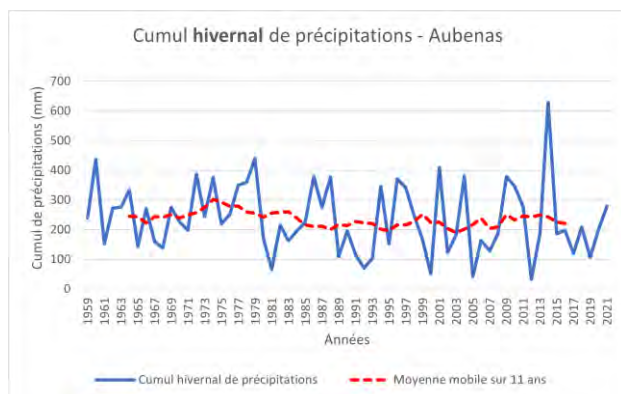
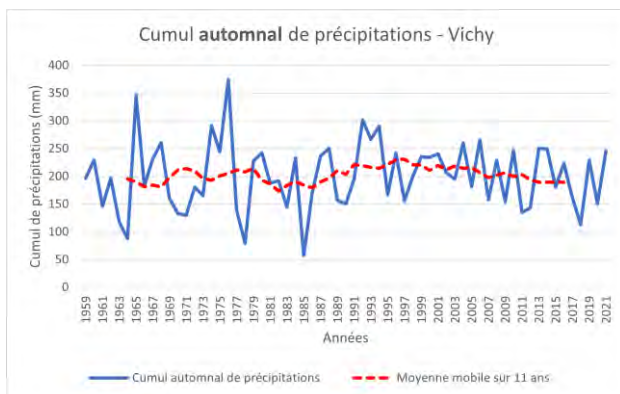
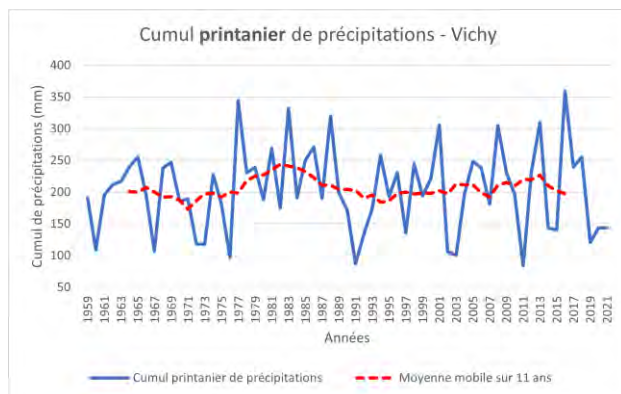
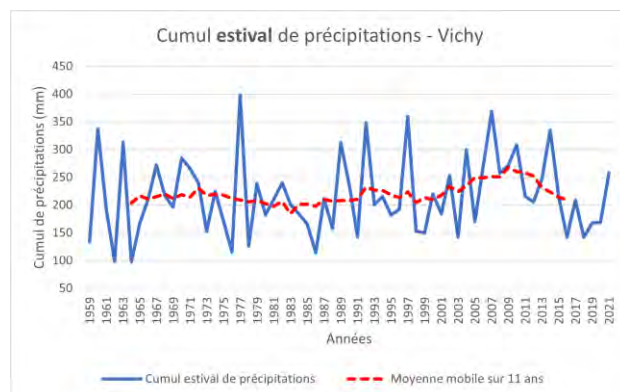
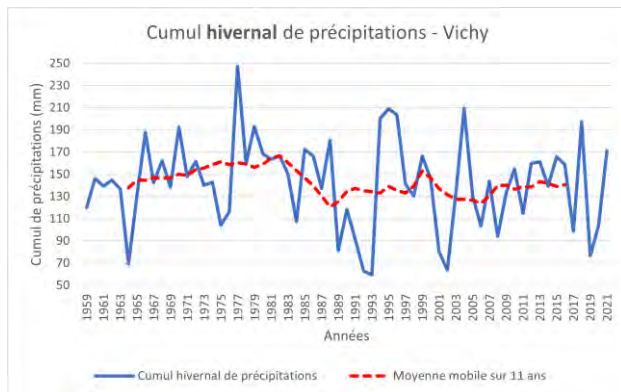
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



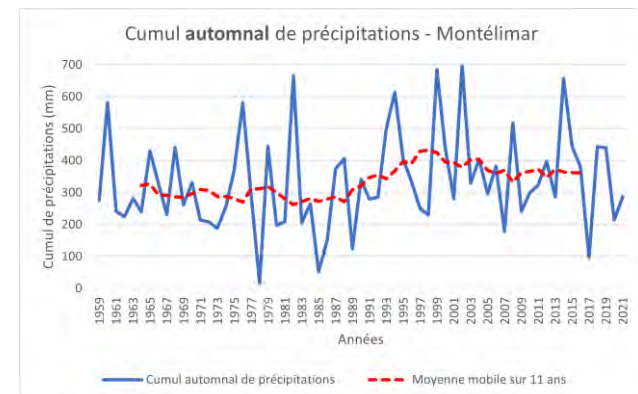
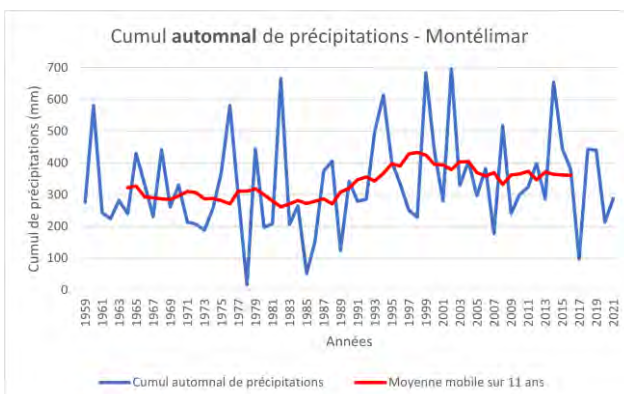
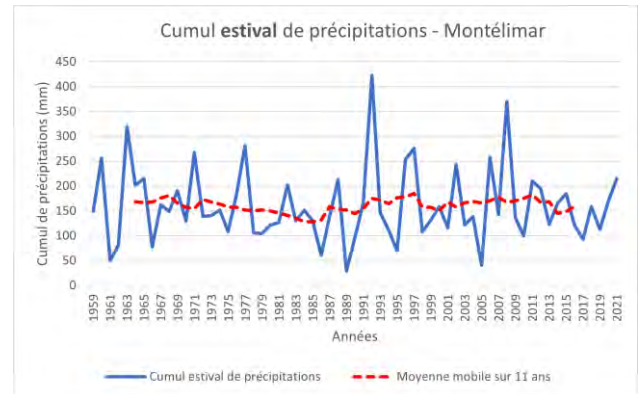
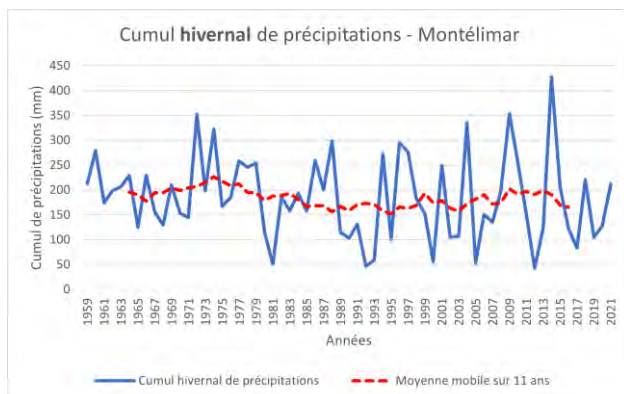
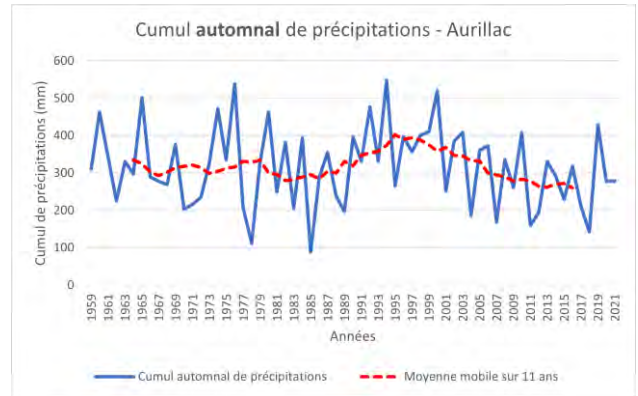
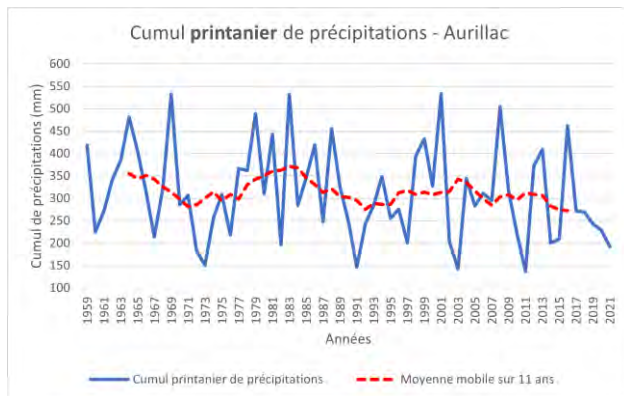
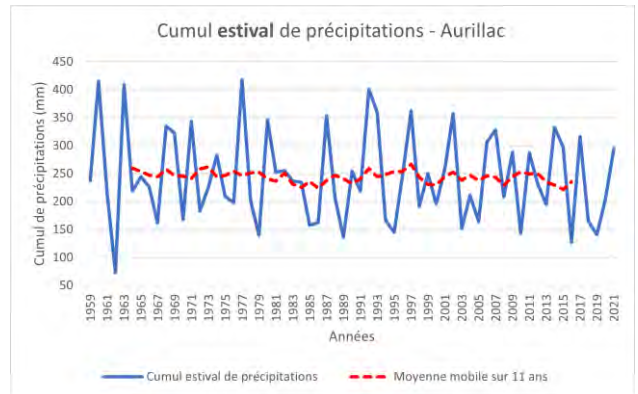
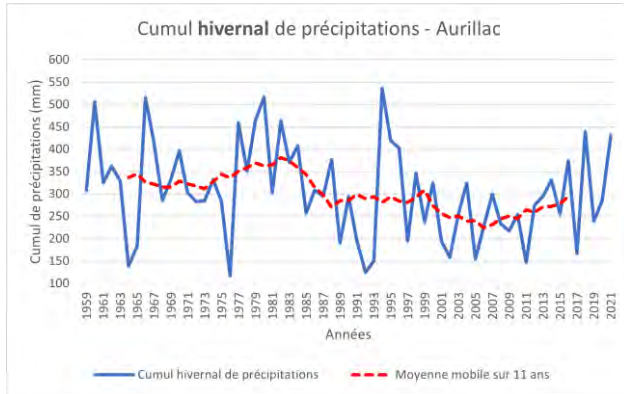


Cumul saisonnier de précipitations



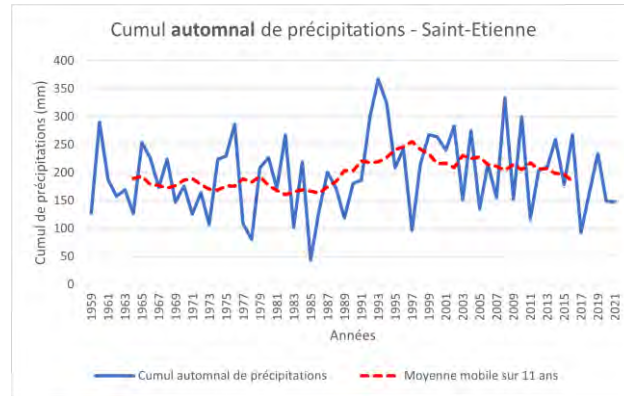
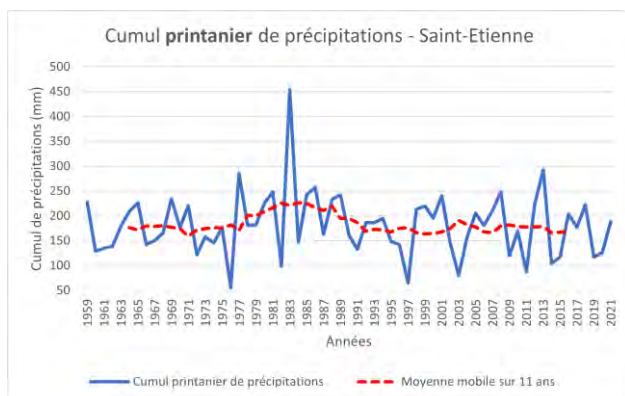
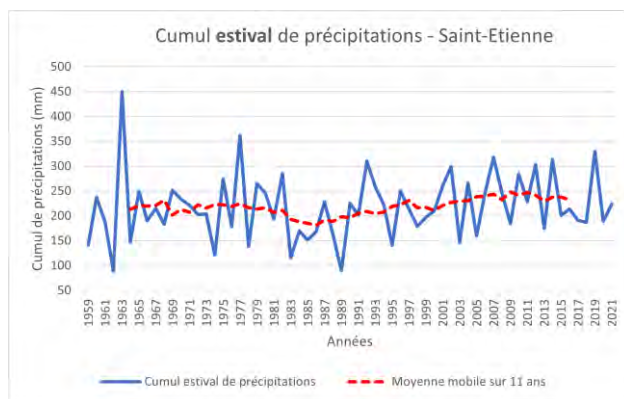
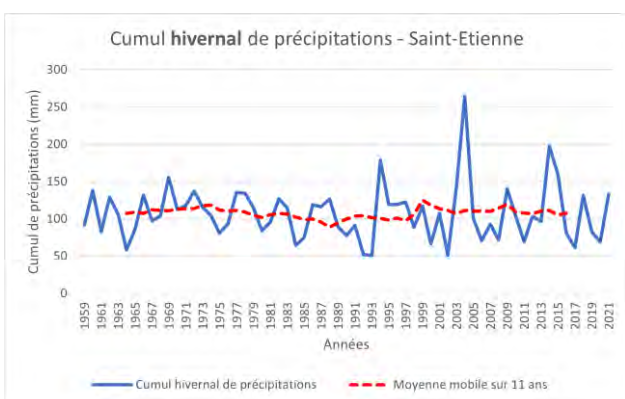
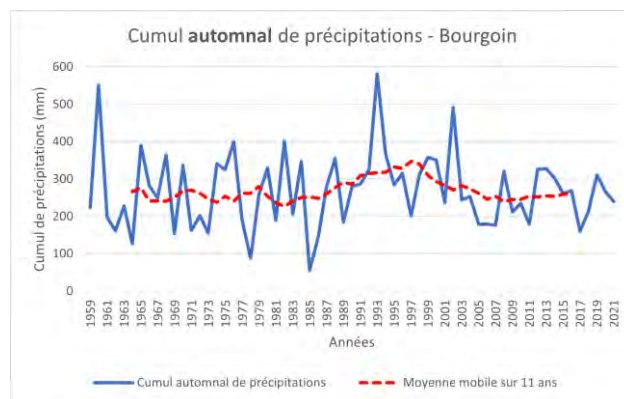
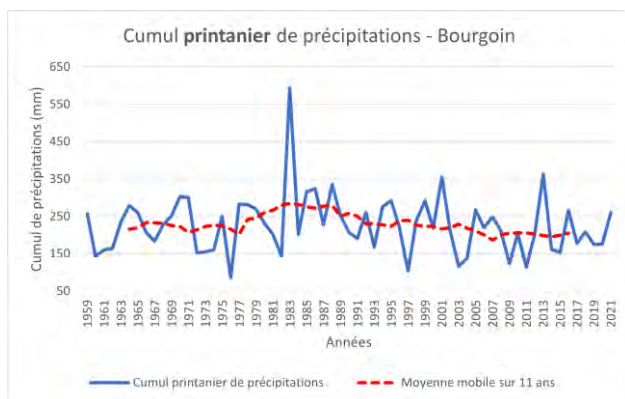
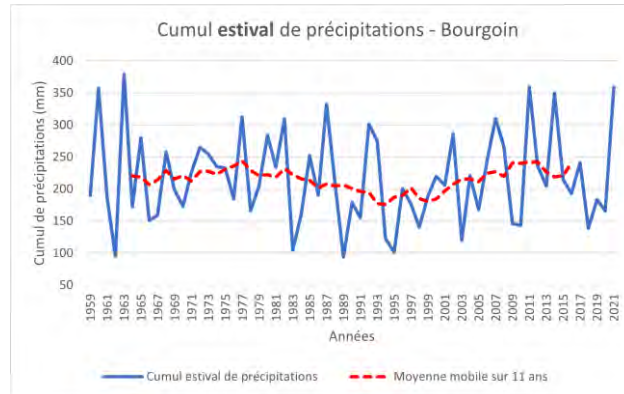
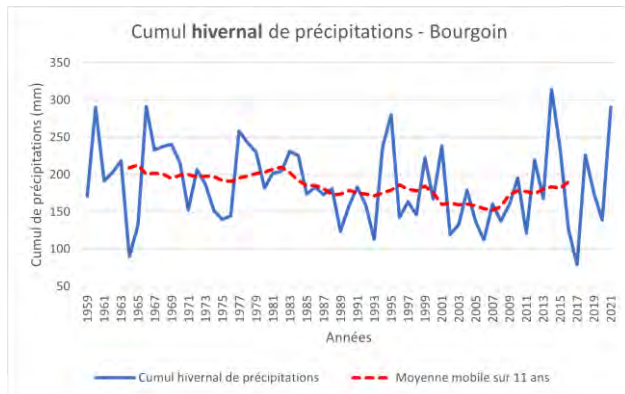


Cumul saisonnier de précipitations



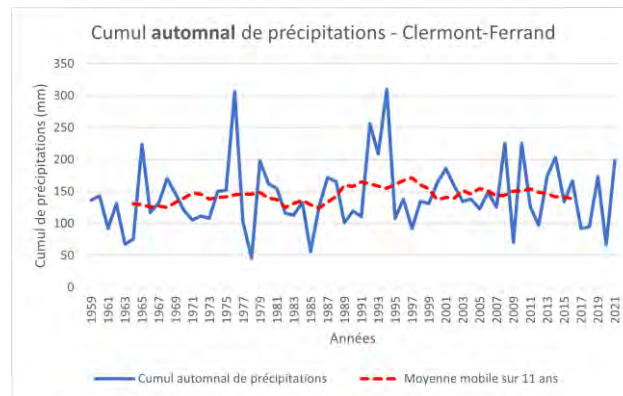
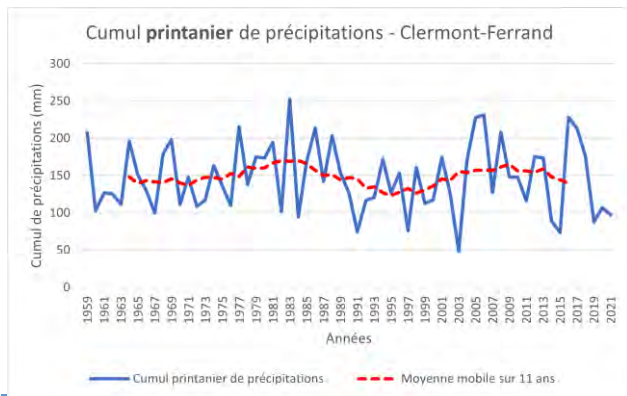
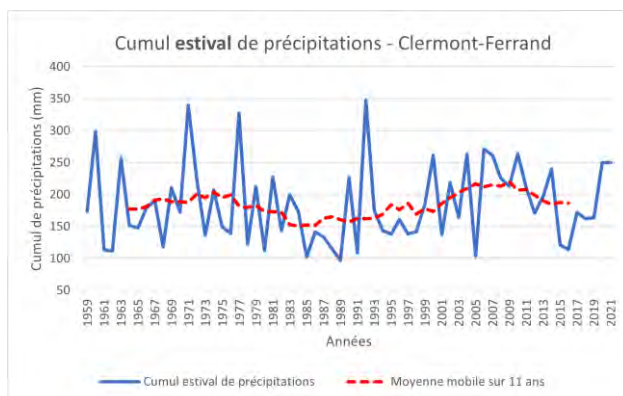
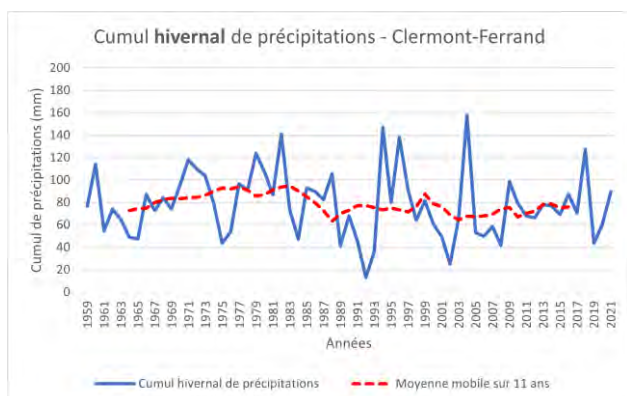
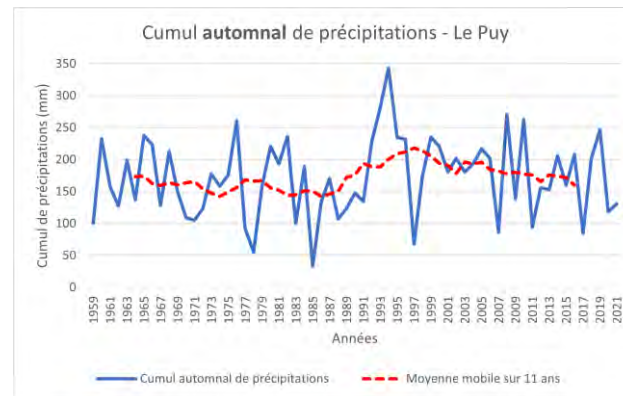
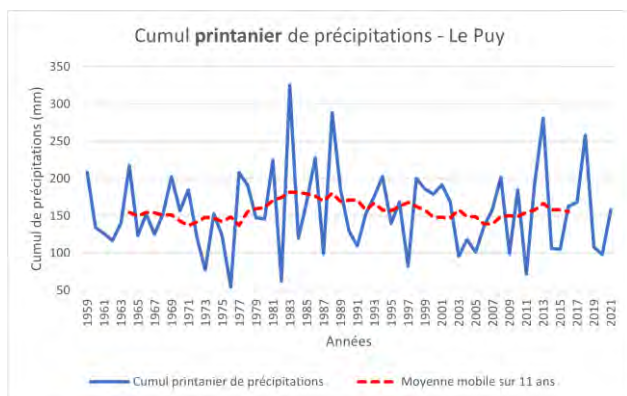
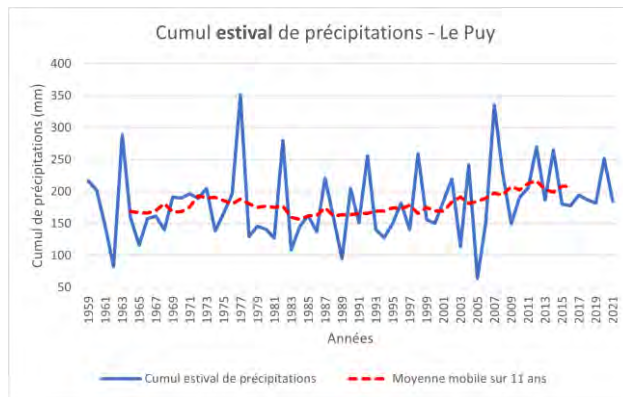
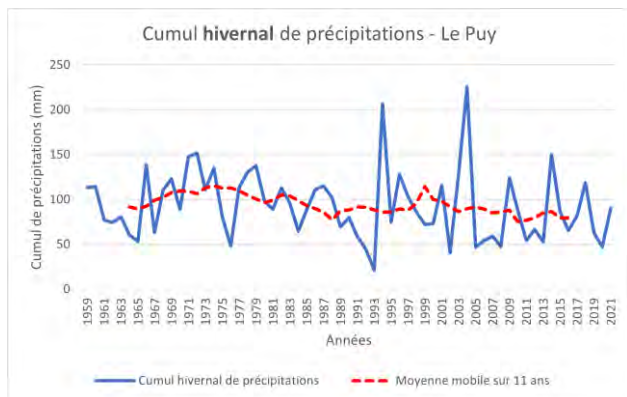


Cumul saisonnier de précipitations



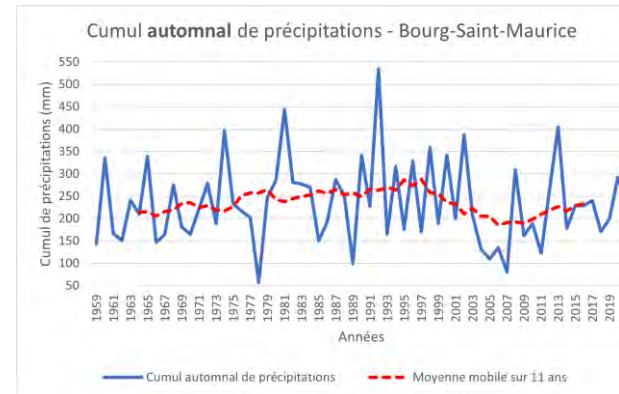
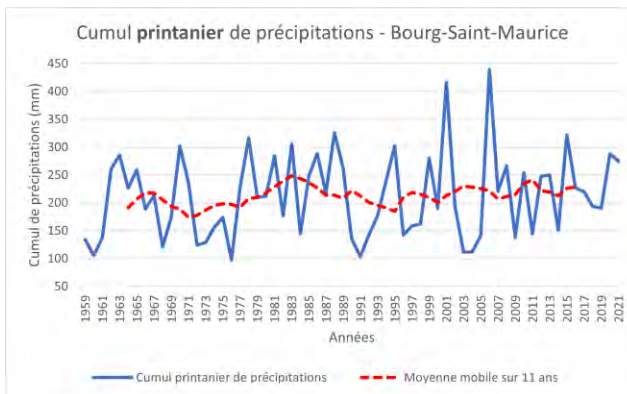
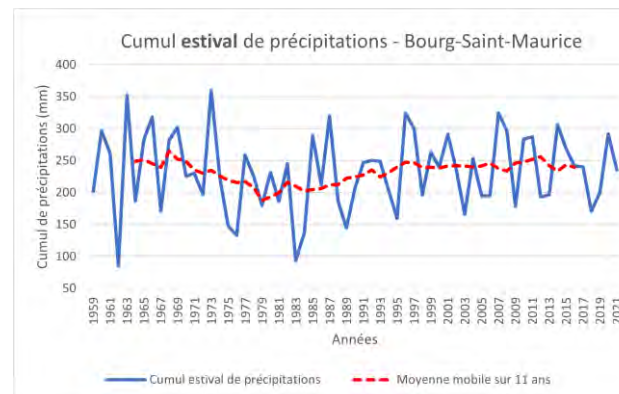
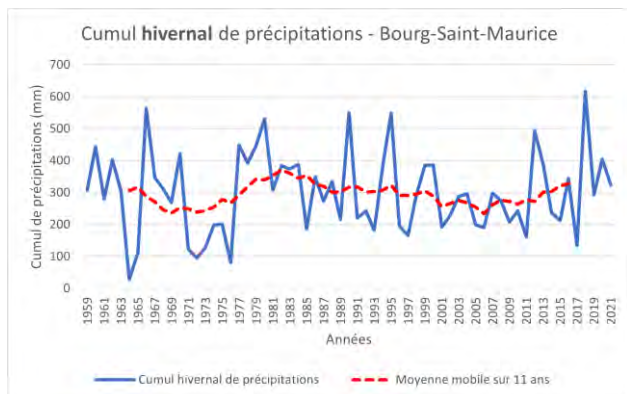
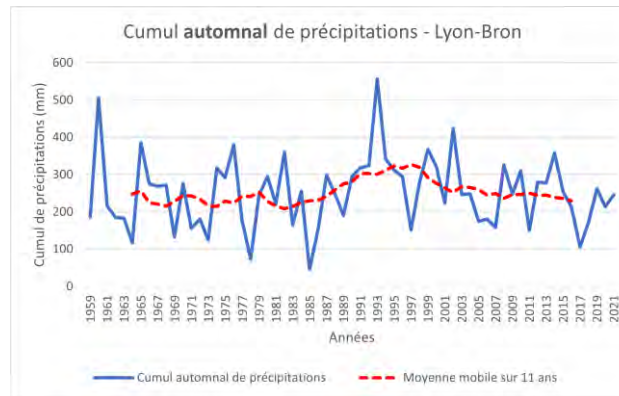
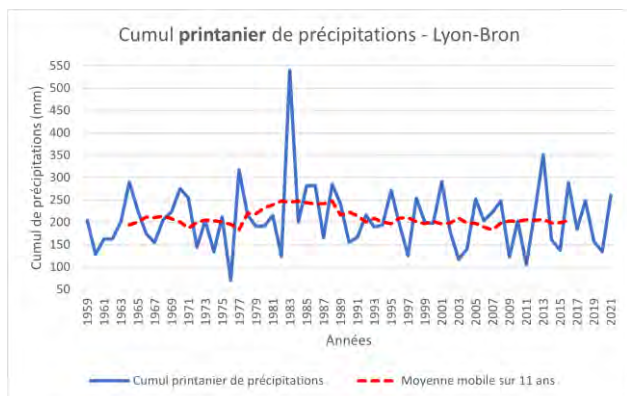
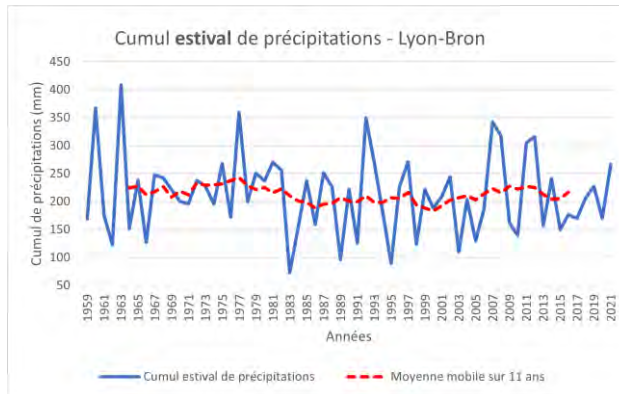
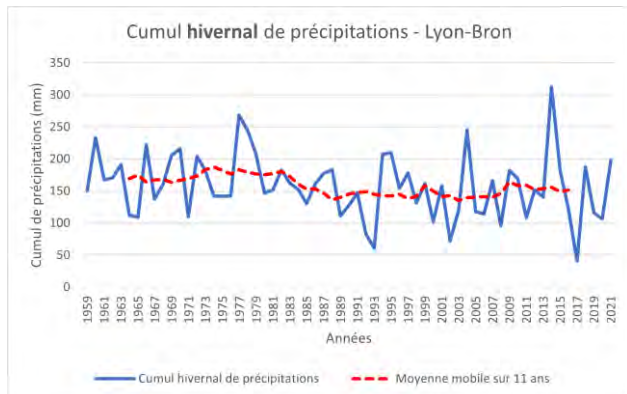


Cumul saisonnier de précipitations



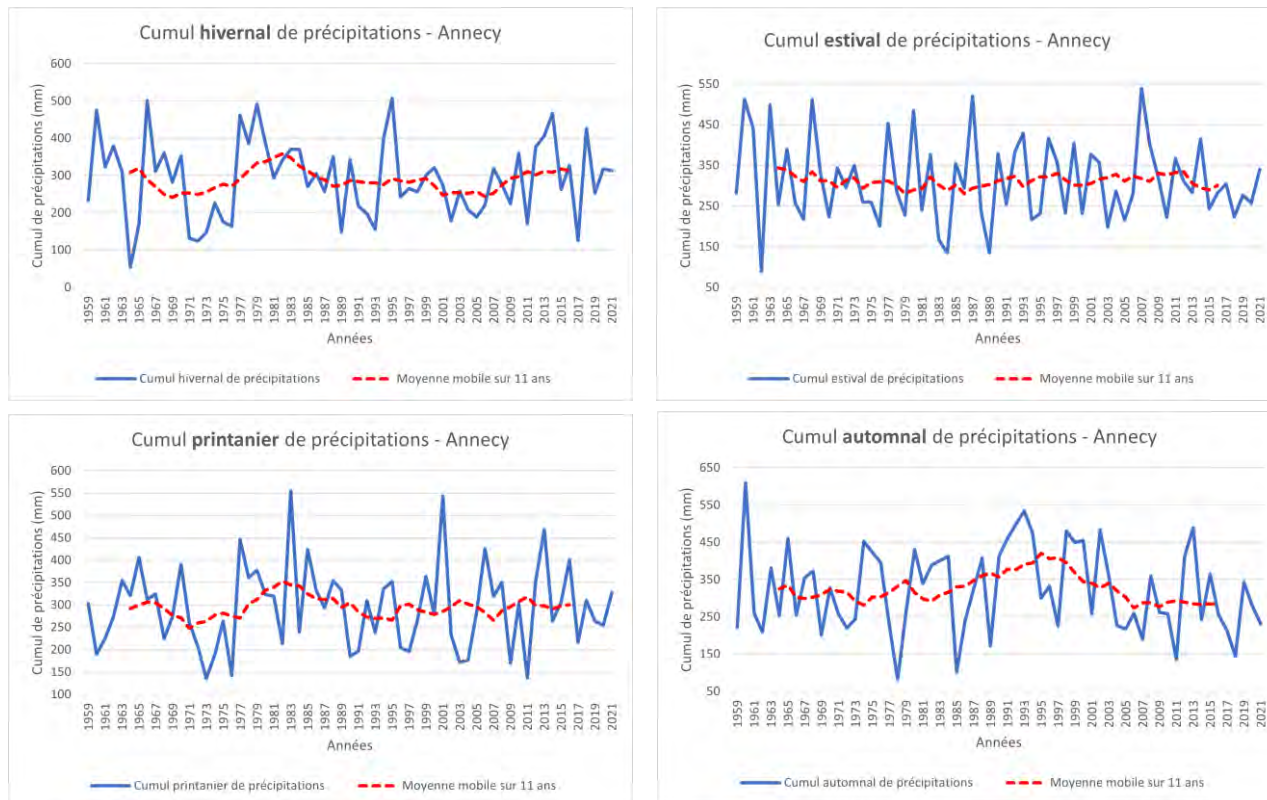


Cumul saisonnier de précipitations





Cumul saisonnier de précipitations



Analyse

L'évolution du cumul saisonnier de précipitations observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 pour chaque station étudiée ne montre pas de tendances significatives. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Hiver (mm/décennie)	Printemps (mm/décennie)	Été (mm/décennie)	Automne (mm/décennie)	Significativité
Ambérieu (01)	-6,01	-4,69	1,35	-1,58	ns
Vichy (03)	-2,06	0,79	3,75	1,69	ns
Aubenas (07)	-8,36	-7,97	-3,28	6,42	ns
Aurillac (15)	-1,37	-9,91	-3,75	-5,79	ns
Montélimar (26)	-5,10	-1,55	-0,17	1,35	ns
Bourgoin (38)	-5,16	-3,68	-0,29	0,48	ns
Saint-Etienne (42)	0,13	-1,94	4,82	4,82	ns
Le Puy (43)	-3,47	0,21	5,13	3,57	ns
Clermont-Ferrand (63)	-1,53	-0,54	2,82	3,12	ns
Lyon-Bron	-5,56	-0,04	3,34	1,28	ns
Bourg-Saint-Maurice (73)	2,06	6,84	1,61	-0,27	ns
Anancy (74)	-0,02	1,53	4,22	-5,81	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Cumul saisonnier de précipitations

Analyse

Les observations saisonnières affinent l'interprétation de la tendance annuelle non significative des cumuls de précipitations (cf. « Cumul annuel des précipitations »). Les évolutions décrites par les graphiques ci-dessus ne sont pas assez importantes pour être significatives. Elles ne suivent pas exactement la littérature scientifique qui montre que, malgré le faible nombre de séries significatives, l'hiver est constitué majoritairement de séries de précipitations à la hausse et l'été de séries de précipitation à la baisse (Moisselin *et al.*, 2002). Une partie de l'explication peut résider dans le fait que les données de l'étude ne prennent en compte que le XX^e siècle.

Pour aller plus loin : Il faut rappeler qu'il ne s'agit que des cumuls trimestriels de précipitation. Ils ne décrivent en rien les autres « modalités » des précipitations comme le nombre d'épisodes pluvieux, l'intensité, le nombre de jours consécutifs sans pluie, etc... Des indicateurs comme le rapport entre les précipitations et l'évapotranspiration permettent de mettre en valeur les périodes sèches (cf. « Disponibilité en eau au démarrage de la végétation »).

A RETENIR

L'évolution du cumul saisonnier de précipitations observée en région Auvergne-Rhône-Alpes de 1959 à 2021 pour chaque station étudiée ne montre pas de tendances significatives.

Le cumul saisonnier régional est donc relativement constant ces 63 dernières années ce qui confirme les résultats observés du cumul annuel. La tendance non significative du cumul annuel des pluies est due à l'absence d'évolution significative pour toutes les saisons.

Pour en savoir plus

Moisselin, J-M., Schneider, M., Canellas, C., Mestre, O., 2002. Les changements climatiques en France au XX^e siècle. Etudes des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. In : *La Météorologie*. N°38. Août 2002.

Date de la dernière gelée

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021 pour les stations des départements d'ex-Rhône-Alpes (sauf la Loire). Données de 1980 à 2015 issues du projet AP3C pour les stations des départements d'ex-Auvergne et de la Loire.

Le projet AP3C a vocation à produire des projections localisées, à l'échelle parcellaire, à l'horizon 2050, sur la base de données quotidiennes observées entre 1980 et 2015. Le projet ORACLE a lui vocation à représenter exclusivement des données passées et observées, sans faire de projections vers le futur. Le projet AP3C étant déployé en Auvergne et dans la Loire, et afin de valoriser au mieux les résultats existants produits sur ces départements, vous trouverez dans ce livret ORACLE des résultats relatifs aux données observées homogénéisées du projet AP3C.

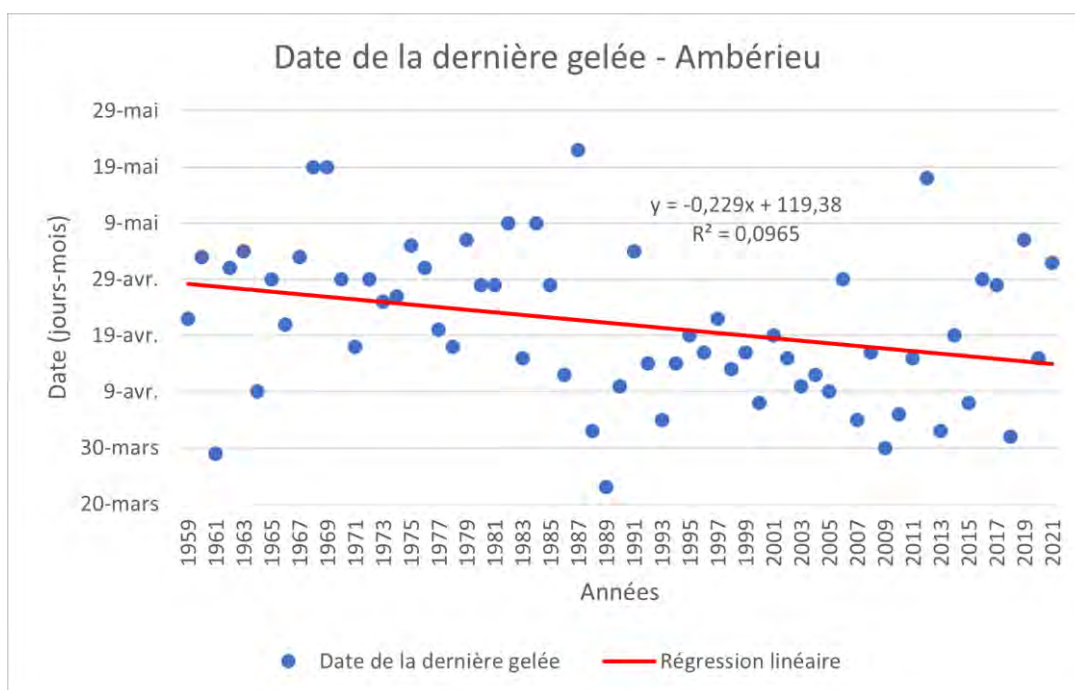
🕒 Indicateur

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy-Charmeil (03) : 1980 – 2015
- Issanlas (07) : 1977 – 2021
- Aurillac (15) : 1980 – 2015
- Saint-Jean-en-Royans (26) : 1978 – 2021
- Villard-de-Lans (38) : 1981 – 2021
- Saint-Etienne (42) : 1980 – 2015
- Le Puy (43) : 1980 – 2015
- Clermont-Ferrand (63) : 1980 – 2015
- Lyon-Bron (69) : 1982 – 2021
- Thônes (74) : 1959 - 2021

📊 Calcul de l'indicateur

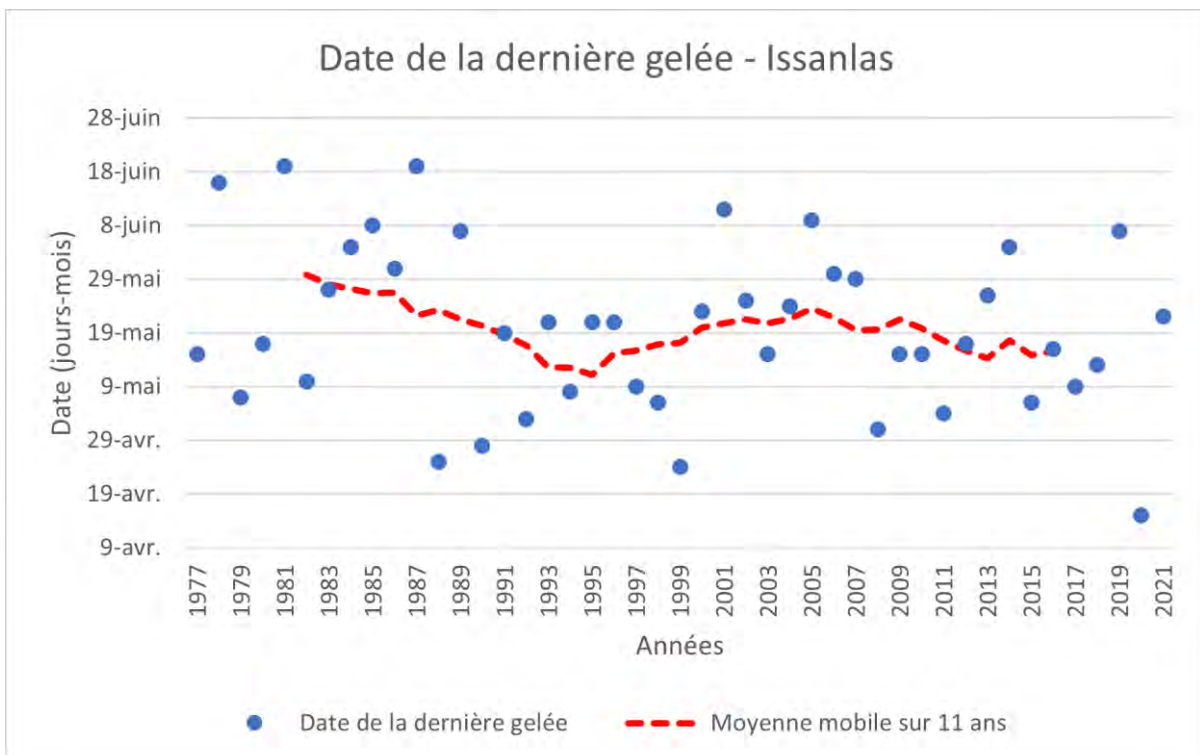
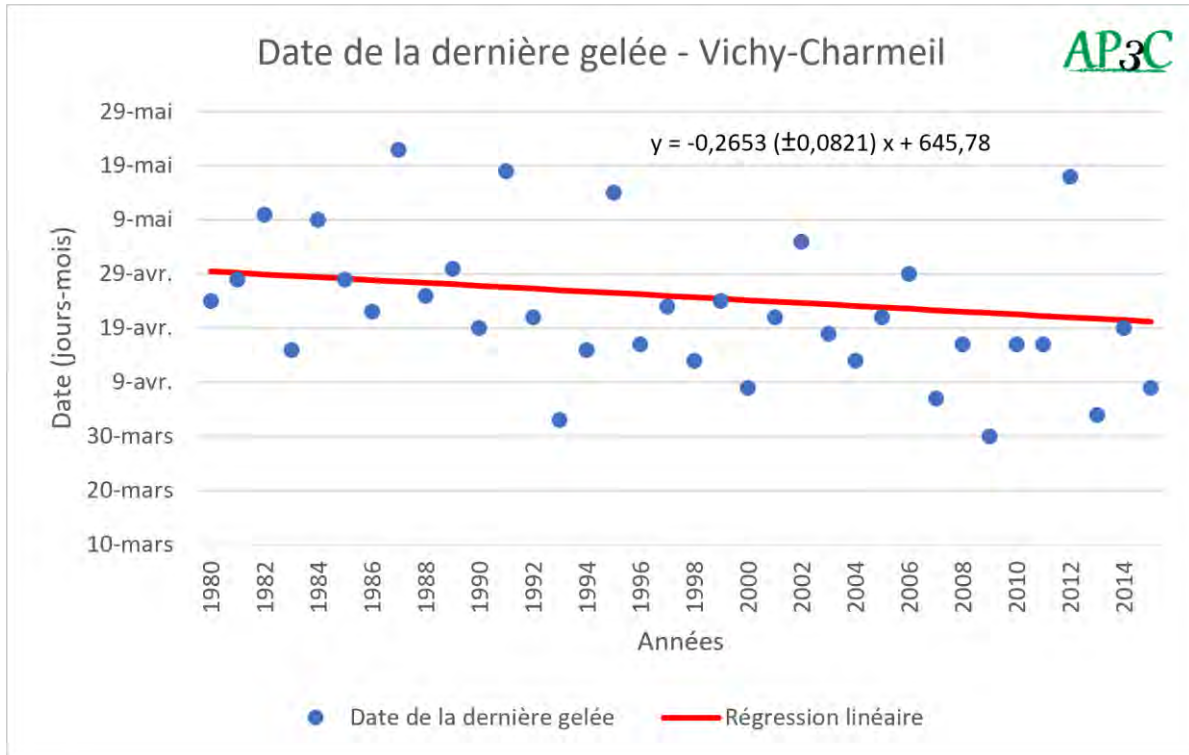
Date du dernier jour où la température minimale est inférieure ou égale à 0°C du 1^{er} janvier au 30 juin. Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



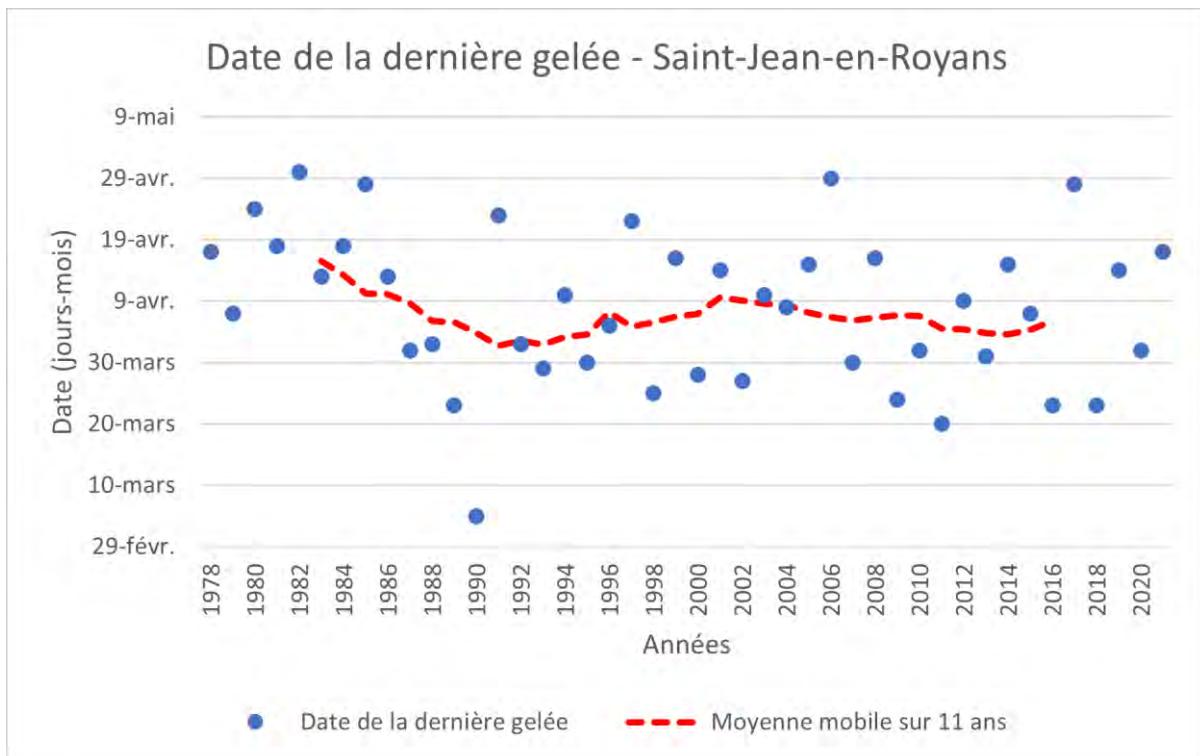
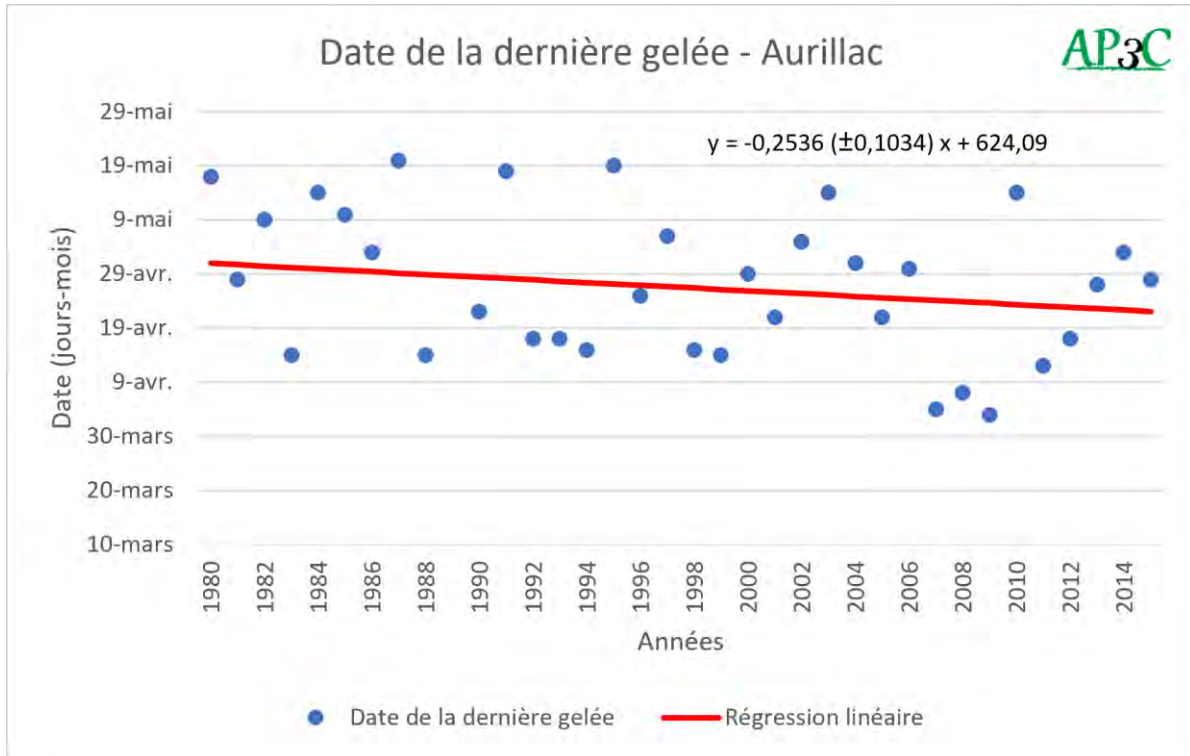


Date de la dernière gelée



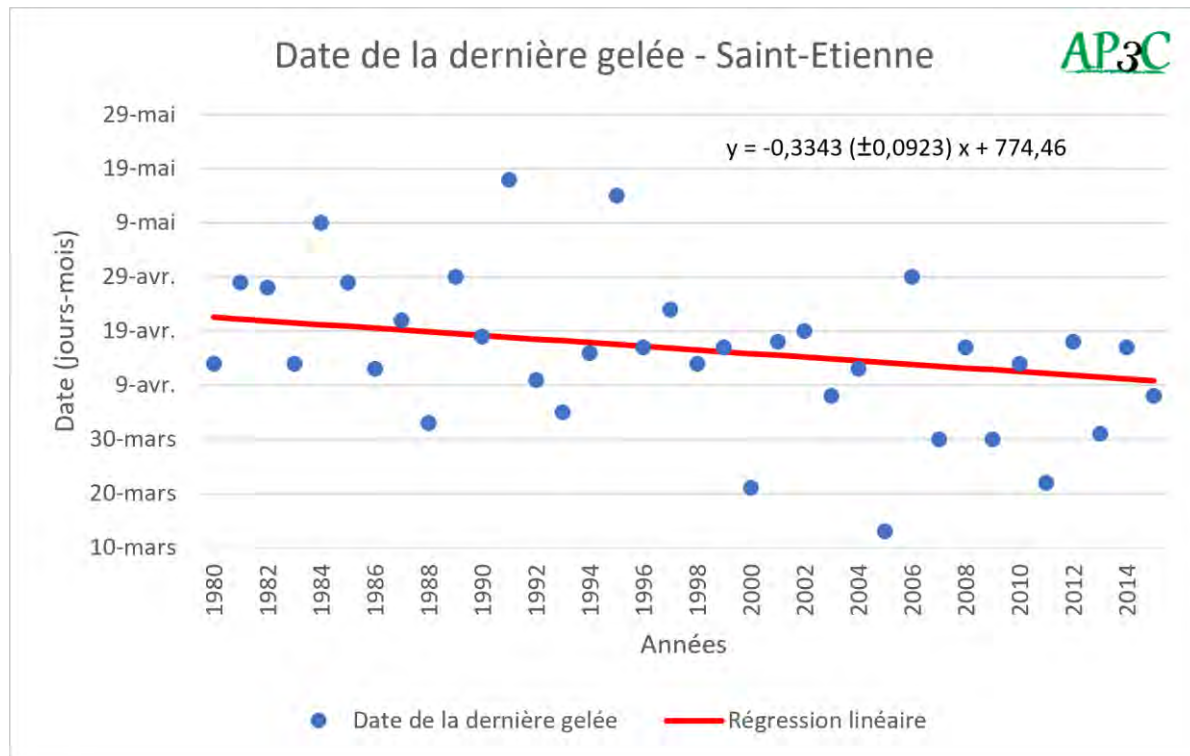
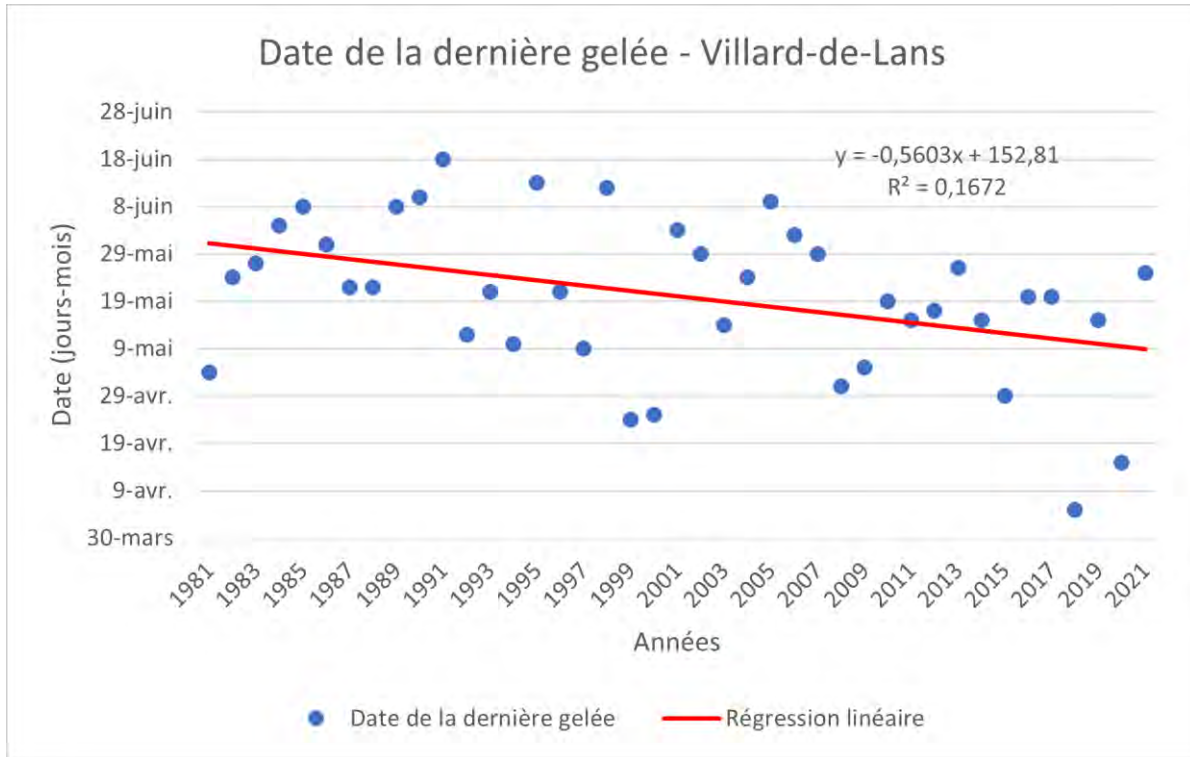


Date de la dernière gelée



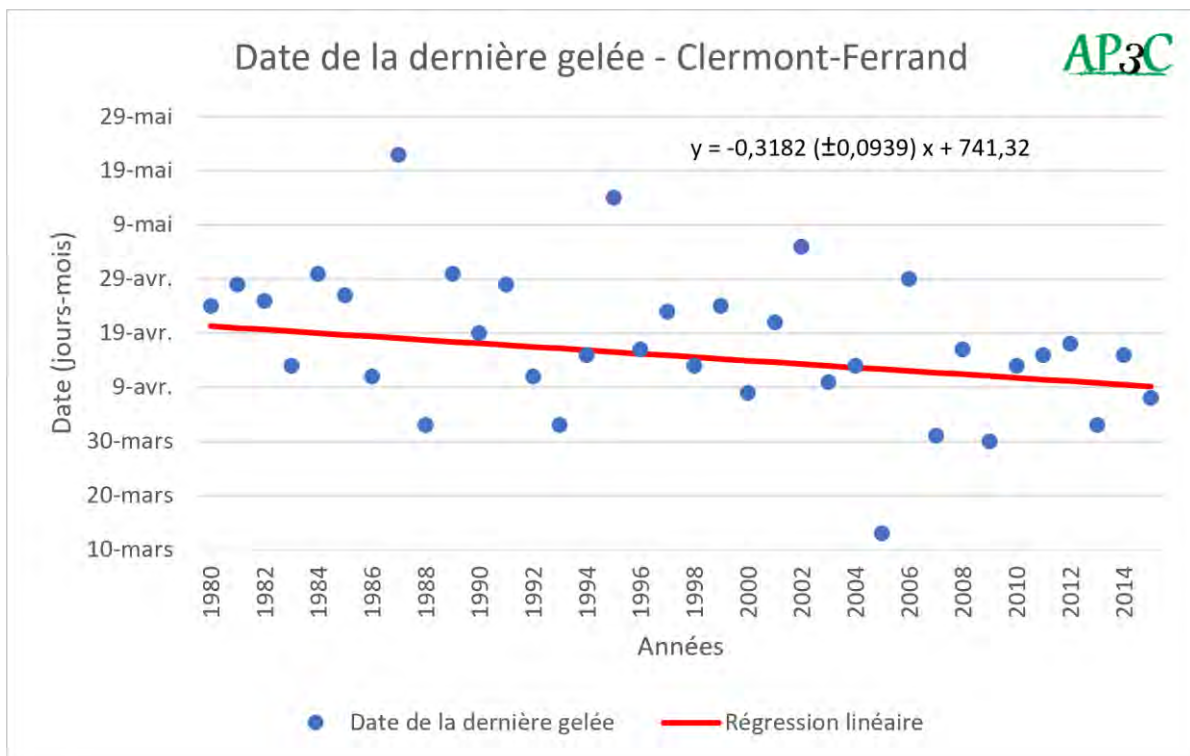
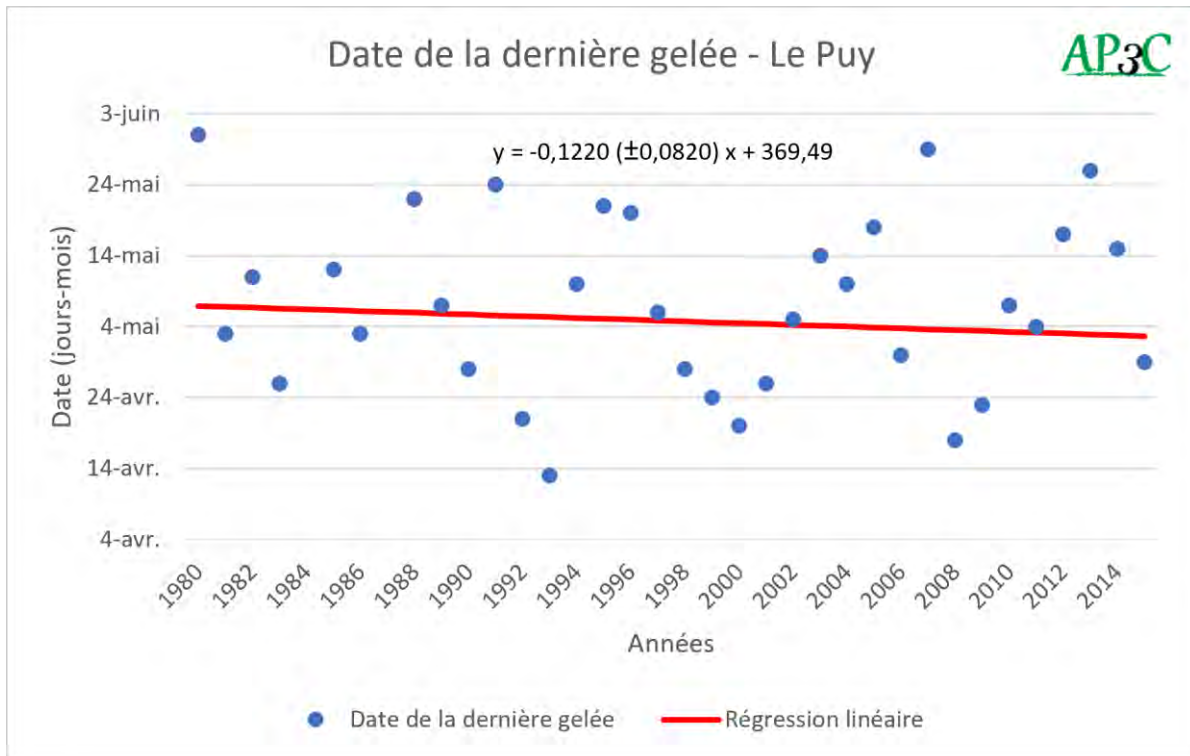


Date de la dernière gelée



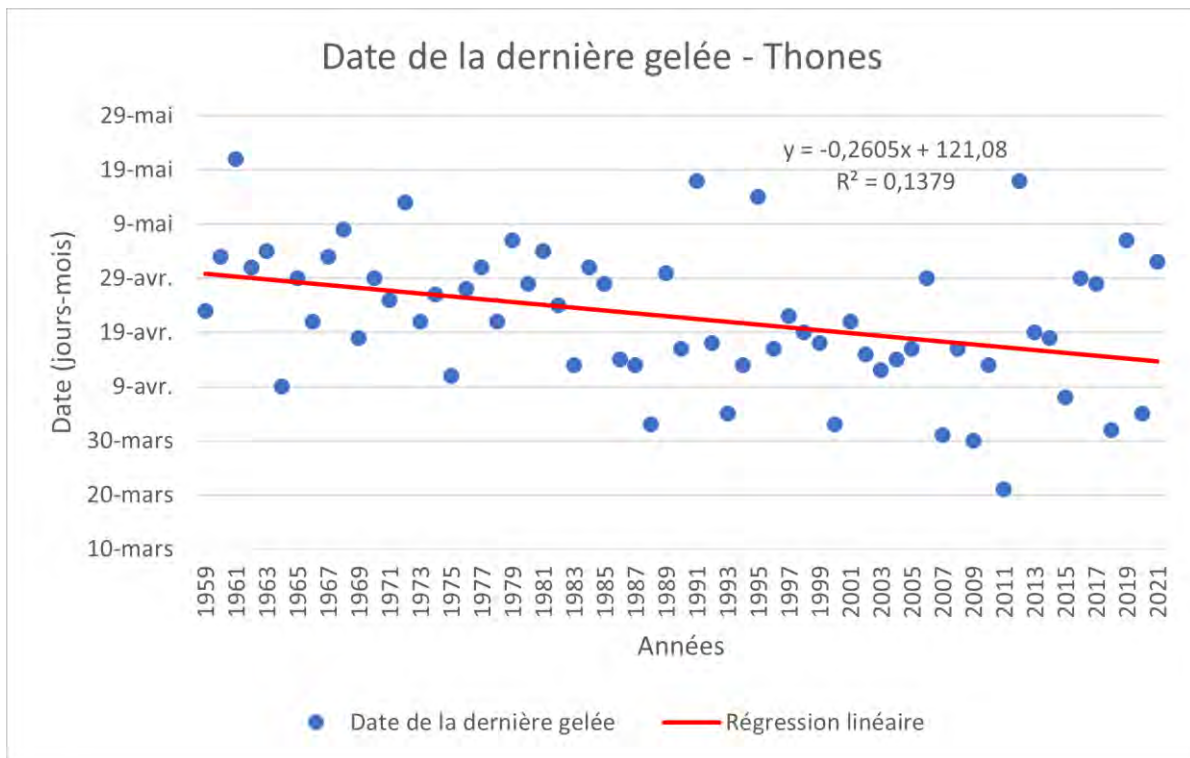
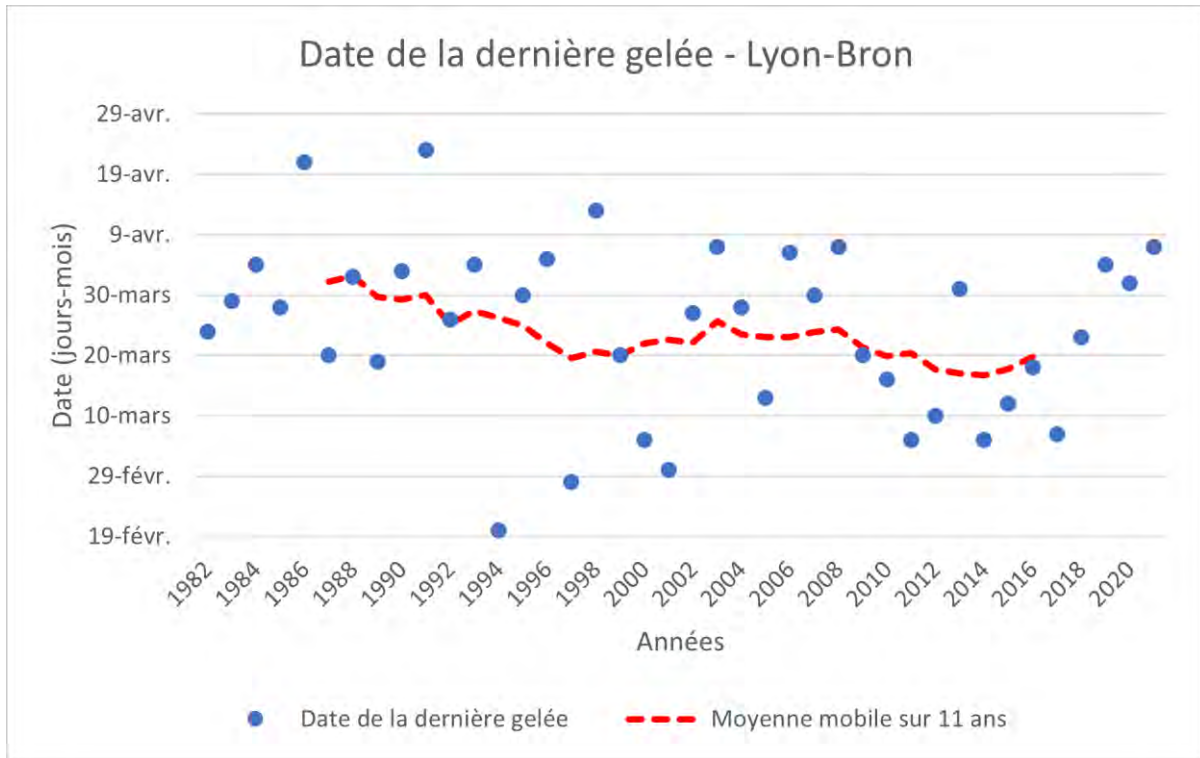


Date de la dernière gelée





Date de la dernière gelée





Date de la dernière gelée

Analyse

L'évolution de la date de dernière gelée observée depuis 1959 pour les départements non concernés par le projet AP3C et depuis 1980 pour les autres montre des tendances significatives pour une partie des stations. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution de la date de la dernière gelée sur la période disponible (nb j/décennie)	Significativité de la tendance	Evolution de la date de la dernière gelée de 1980 à 2015 (nb j/décennie)	Significativité de la tendance
Ambérieu (01)	-2,30	*	-4,04	ns
Vichy-Charmeil (03)			-2,65	**
Issanlas (07)	-2,56	ns	-2,54	ns
Aurillac (15)			-2,54	*
Saint-Jean-en-Royans (26)	-1,87	ns	-2,91	ns
Villard-de-Lans (38)	-5,60	**	-4,34	ns
Saint-Etienne (42)			-3,34	***
Le Puy (43)			-1,22	ns
Clermont-Ferrand (63)			-3,18	***
Lyon-Bron (69)	-2,62	ns	-4,90	ns
Thônes (74)	-2,60	**	-3,59	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

A l'échelle de toute la période étudiée, les évolutions significatives sont les suivantes (évolutions sur toute la période disponible mais aussi sur la période 1980-2015 de 36 années) :

- **-14,50 j** en 63 ans ou **-14,54 j** en 36 ans à Ambérieu (01)
- **-9,55 j** en 36 ans à Vichy-Charmeil (03)
- **-9,13 j** en 36 ans à Aurillac (15)
- **-28,56 j** en 51 ans ou **-15,62 j** en 36 ans à Villard-de-Lans (38)
- **-13,03 j** en 36 ans à Saint-Etienne (42)
- **-11,46 j** en 36 ans à Clermont-Ferrand (63)
- **-16,38 j** en 63 ans ou **-12,92 j** en 36 ans à Thônes (74)



Date de la dernière gelée



Analyse

Globalement, il y a un avancement de la date de dernière gelée en sortie d'hiver. Ce décalage est plus ou moins marqué suivant les stations.

Cette évolution a dû engendrer, pour les stations d'Ambérieu (01), Vichy-Charmeil (03), Aurillac (15), Villard-de-Lans (38), Saint-Etienne (42), Clermont-Ferrand (63) et Thônes (74) un risque associé aux gelées printanières potentiellement réduit. En revanche, cela favoriserait une transition saisonnière plus brusque (Graux et Carrère, 2012).

Le gel de printemps peut avoir des impacts dévastateurs sur des prairies avec de l'herbe au stade de la plantule. Sur des prairies déjà installées ou permanentes, le froid peut griller le bout des feuilles et provoquer des retards de végétation plus ou moins importants.

Les veaux sont également sensibles aux à-coups de froid. Les agneaux et les cabris sont également très sensibles aux basses températures et à l'humidité. Les coups de froid et gels tardifs obligent parfois les agriculteurs à rentrer les jeunes animaux pour les mettre à l'abri.

Le risque de gel tardif ne disparaît pas, notamment dans les situations où le démarrage de la végétation et les dates de mises à l'herbe des animaux sont elles aussi plus précoces.

Pour aller plus loin : L'étude de l'évolution de la date de la première gelée en automne permettrait de pouvoir analyser la durée complète de la période de gelée et donc d'avoir une vue d'ensemble du phénomène. Des informations plus précises sur la pousse de l'herbe seraient notamment disponibles.

A RETENIR

L'évolution sur toute la période disponible pour les stations hors projet AP3C montre une tendance significative à l'avancement de la date de dernière gelée pour les stations d'Ambérieu (01), de Villard-de-Lans (38) et de Thônes (74). L'évolution de 1980 à 2015 pour les stations concernées par le projet AP3C montre également une tendance significative à l'avancement pour les stations de Vichy-Charmeil (03), Aurillac (15), Saint-Etienne (42) et Clermont-Ferrand (63).

Pour les stations avec un avancement de la date de dernière gelée, le risque d'impact du gel de printemps sur les prairies ne disparaît pas du fait de l'avancement concomitant du démarrage de la végétation et de la pousse de l'herbe. Au contraire, dans certaines situations, la végétation étant plus avancée dans son cycle, les gels de printemps peuvent entraîner des conséquences plus importantes.

Les analyses de l'évolution de la date de la première gelée et de la durée de la période de gelée permettraient d'affiner ces résultats.



Pour en savoir plus

Graux, A.-I., Carrère, P., 2012. Impacts du changement climatique sur les prairies – quelles alternatives ? In : *INRAE*. Confédération paysanne de l'Orne. Janvier 2012.



Date de mise à l'herbe

Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021 pour les stations des départements d'ex-Rhône-Alpes (sauf la Loire). Données de 1980 à 2015 issues du projet AP3C pour les stations des départements d'ex-Auvergne et de la Loire.

Le projet AP3C a vocation à produire des projections localisées, à l'échelle parcellaire, à l'horizon 2050, sur la base de données quotidiennes observées entre 1980 et 2015. Le projet ORACLE a lui vocation à représenter exclusivement des données passées et observées, sans faire de projections vers le futur. Le projet AP3C étant déployé en Auvergne et dans la Loire, et afin de valoriser au mieux les résultats existants produits sur ces départements, vous trouverez dans ce livret ORACLE des résultats relatifs aux données observées homogénéisées du projet AP3C.

Indicateur

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Vichy-Charmeil (03) : 1980 - 2015
- Issanlas (07) : 1985 – 2021
- Aurillac (15) : 1980 - 2015
- Saint-Jean-en-Royans (26) : 1992 – 2021
- Villard-de-Lans (38) : 1981 - 2021
- Saint-Etienne (42) : 1980 – 2015
- Le Puy (43) : 1980 – 2015
- Clermont-Ferrand (63) : 1980 - 2015
- Annecy (74) : 1977 – 2021

Calcul de l'indicateur

Pour les départements non concernés par le projet AP3C, il s'agit de la date de franchissement du seuil de 300°CJ par une somme des températures moyennes en base 0°C écrêtée à 18°C à partir du 1^{er} février. La date du 1^{er} février a été retenue car elle correspond au repère d'initialisation du cycle de reproduction de la majorité des graminées prairiales. Le seuil de 300°CJ correspond à une mise à l'herbe « moyenne » (repère plus souvent utilisé pour les troupeaux allaitants).

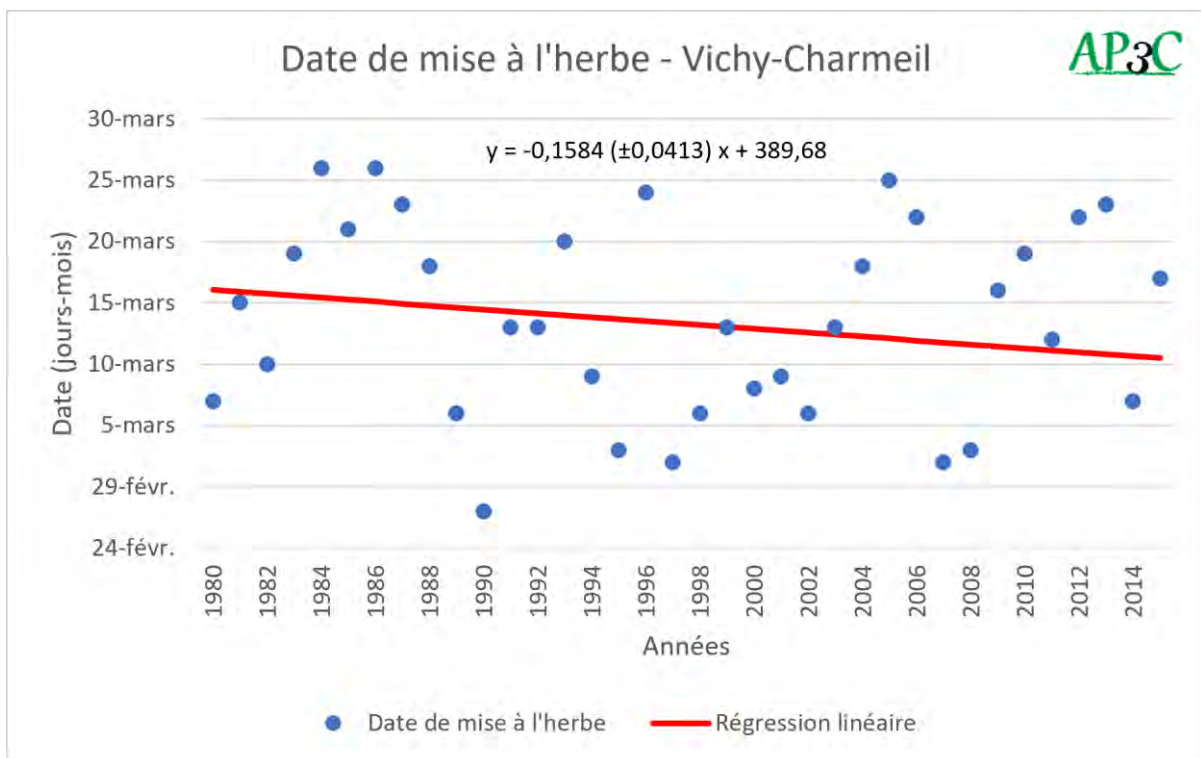
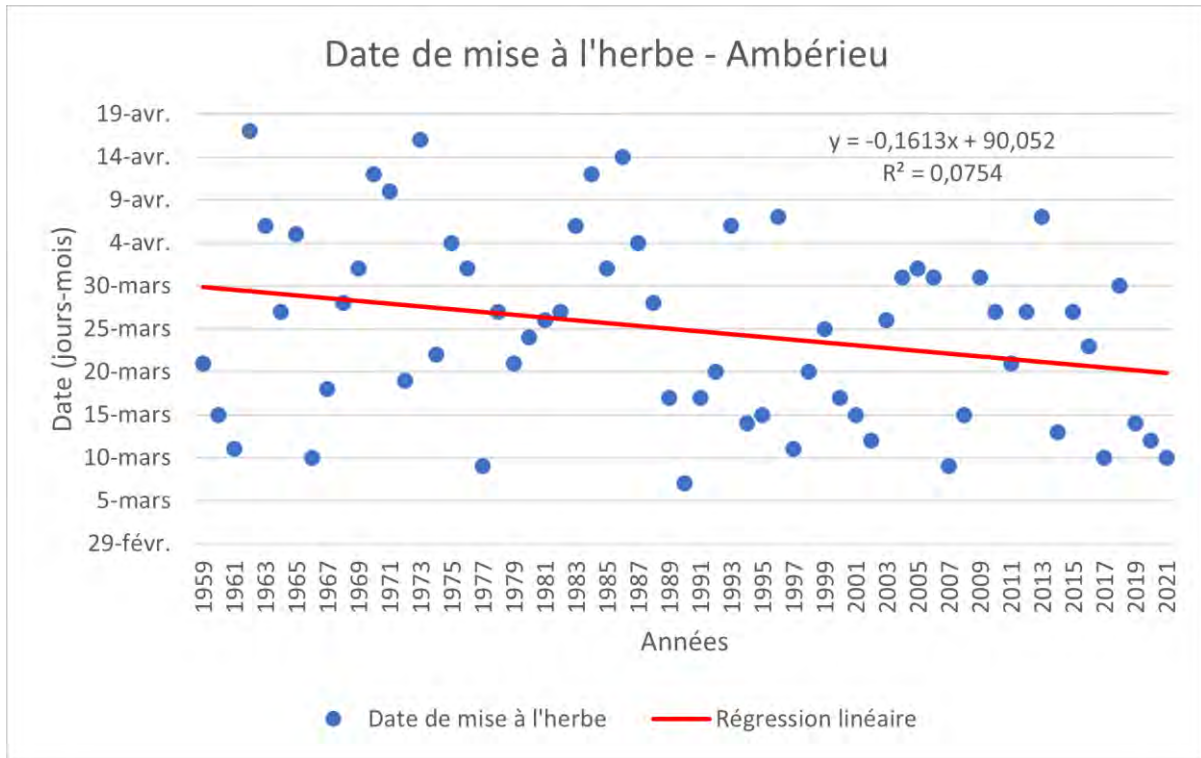
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

Pour les départements concernés par le projet AP3C, il s'agit de la date de franchissement du seuil de 250°CJ par une somme des températures moyennes en base 0°C écrêtée à 18°C à partir du 1^{er} février. Le seuil de 250°C correspond à une mise à l'herbe « précoce » (repère plus souvent utilisé pour les troupeaux laitiers).



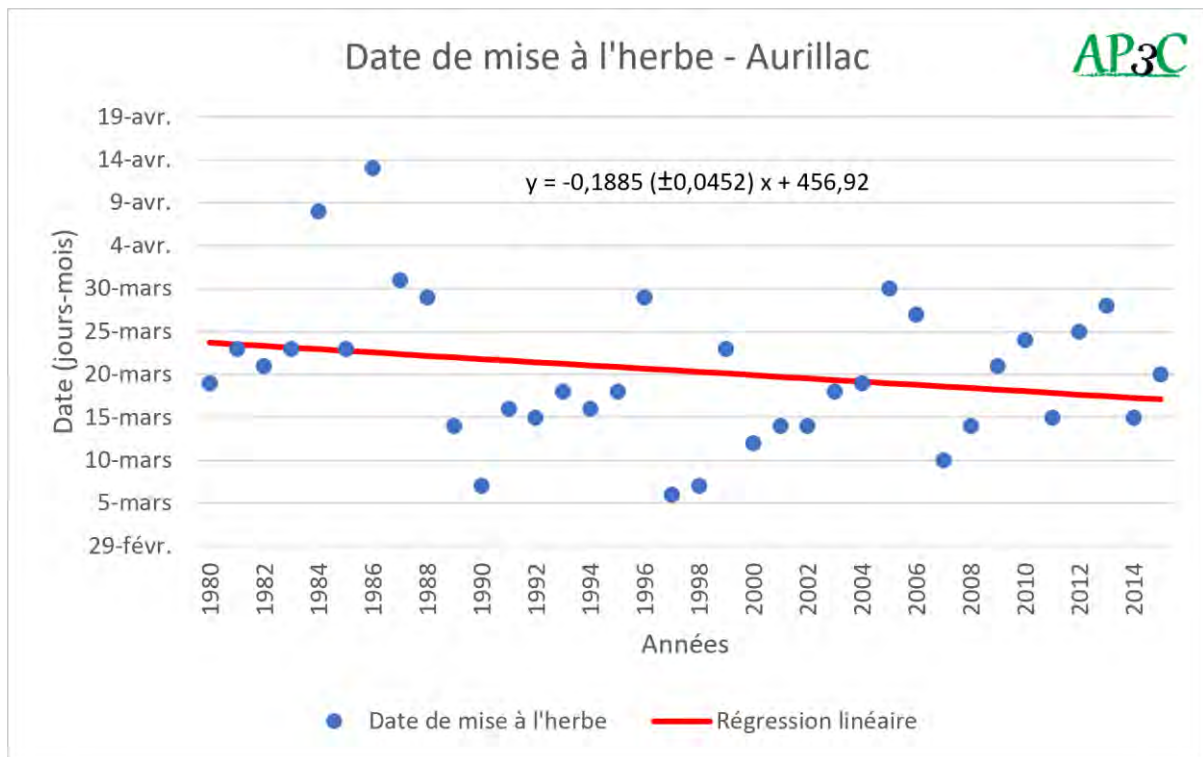
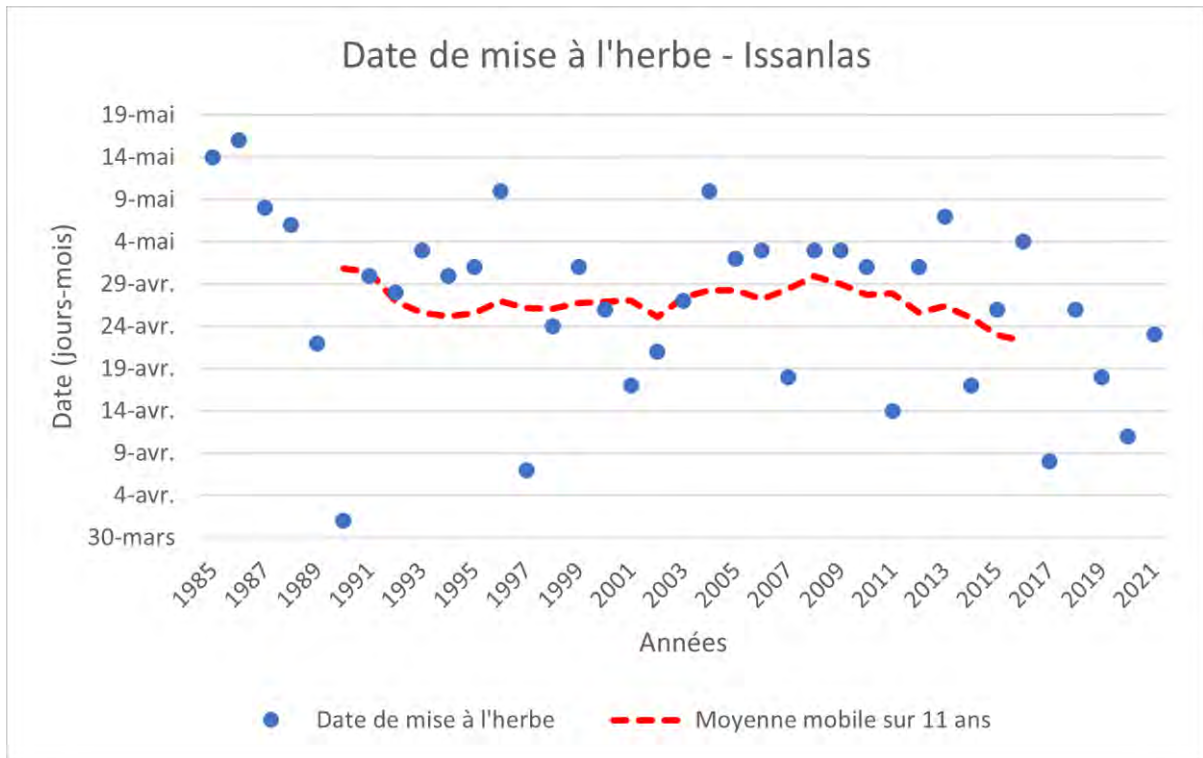
Date de mise à l'herbe

Évolution observée



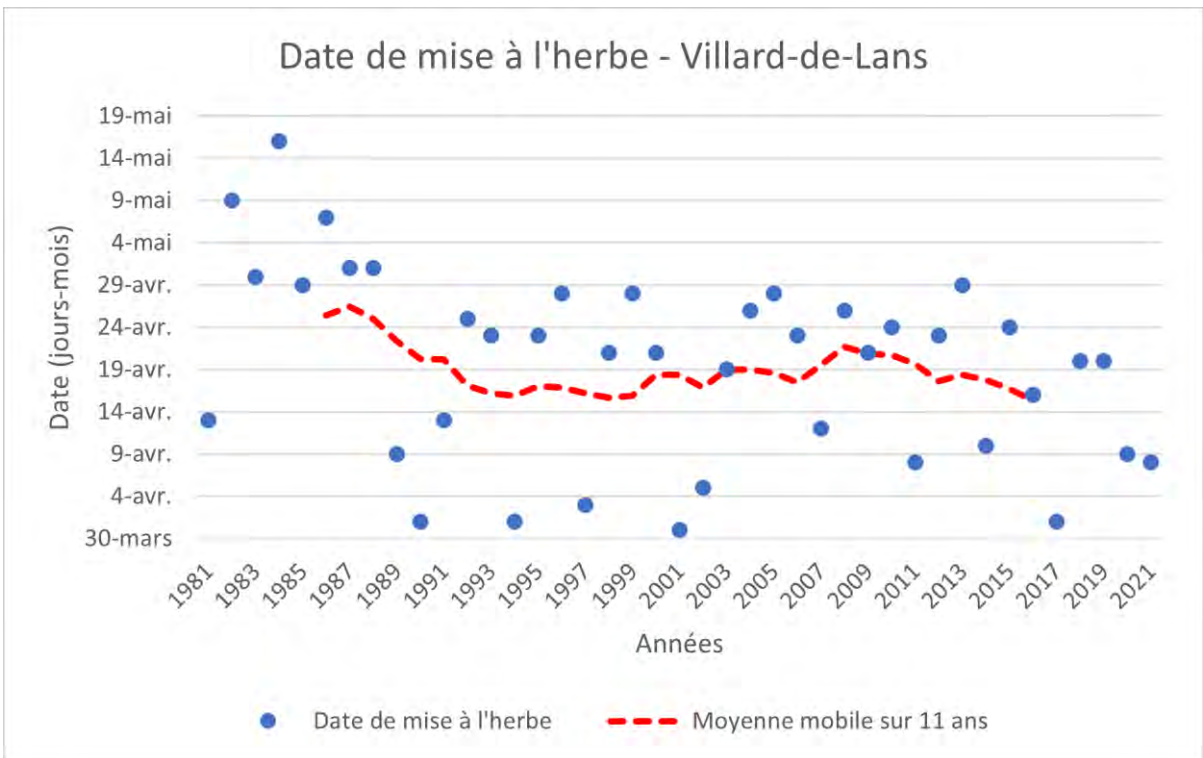
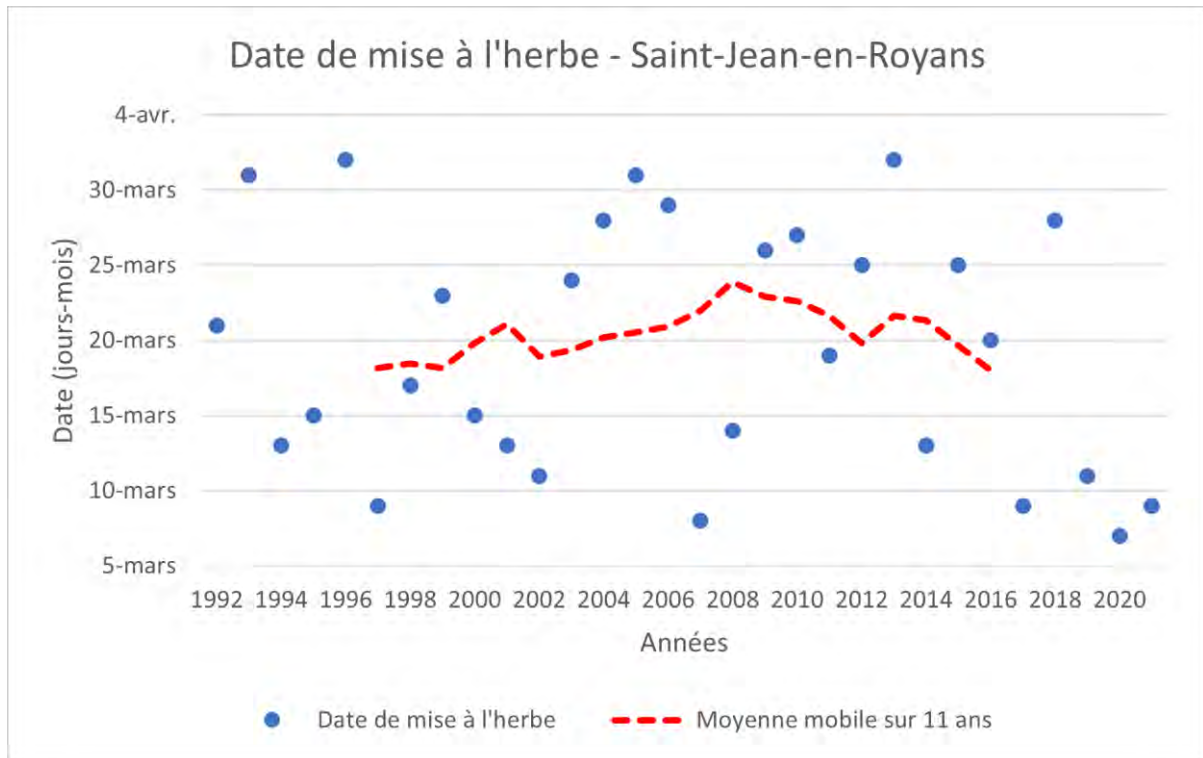


Date de mise à l'herbe



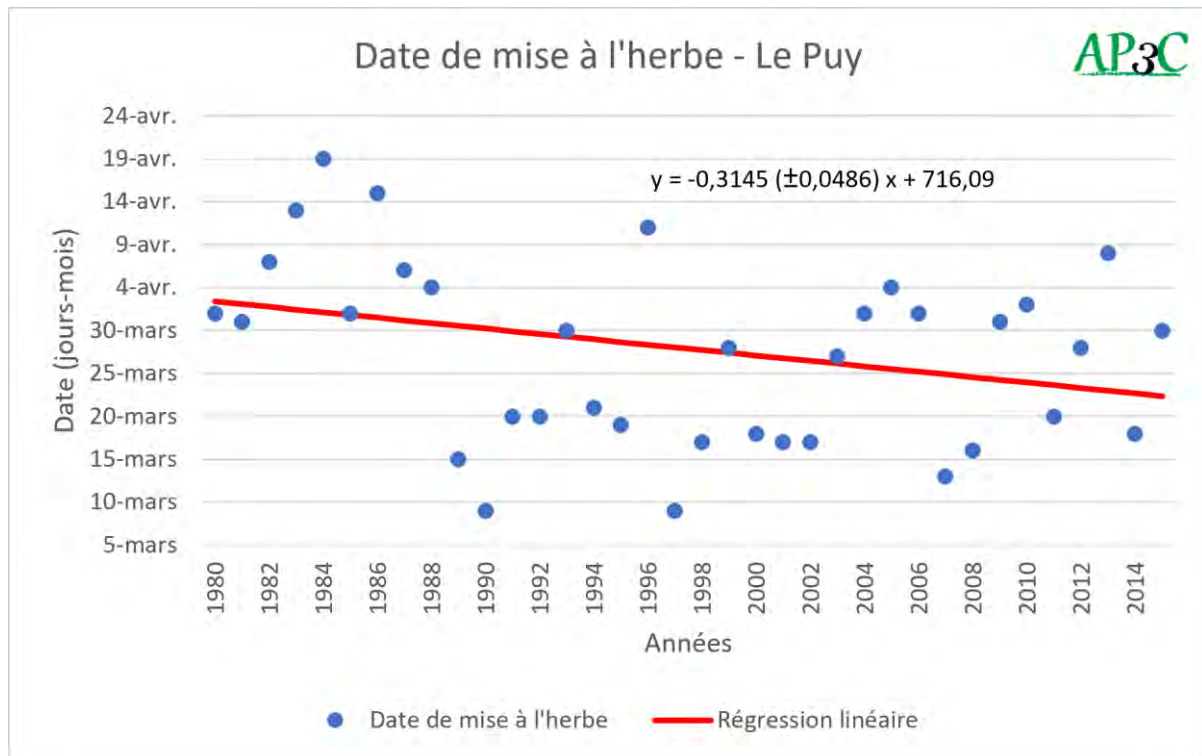
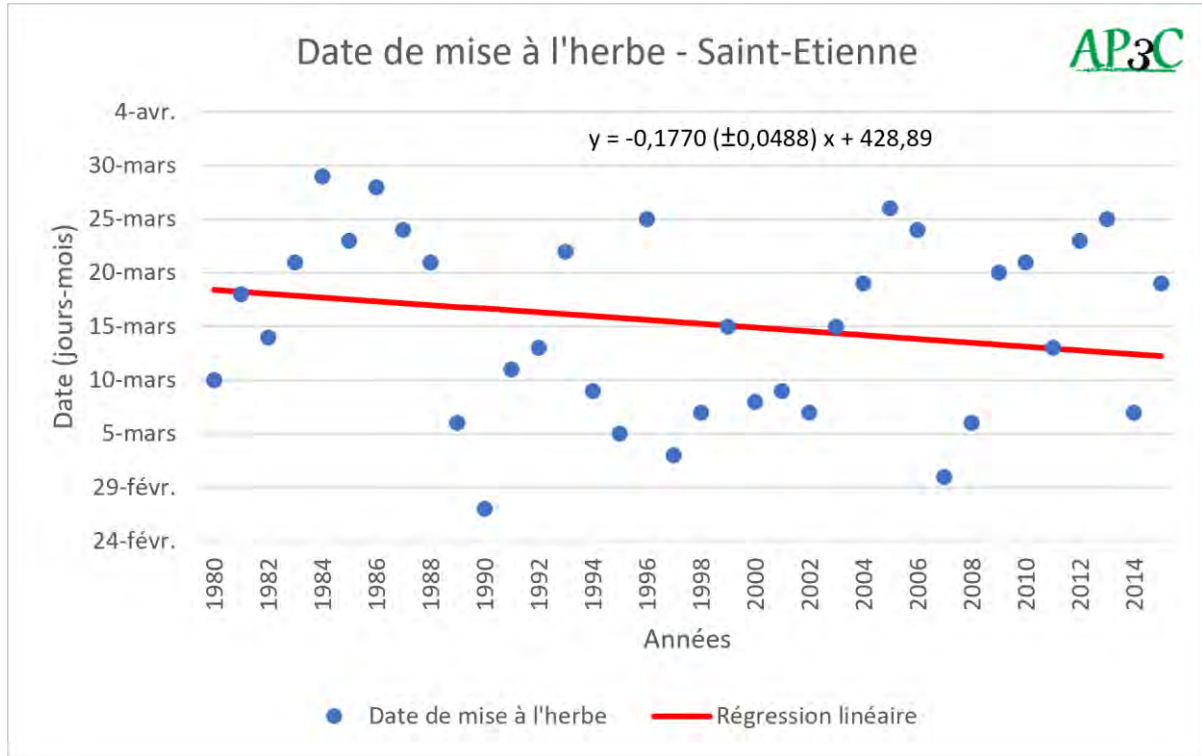


Date de mise à l'herbe



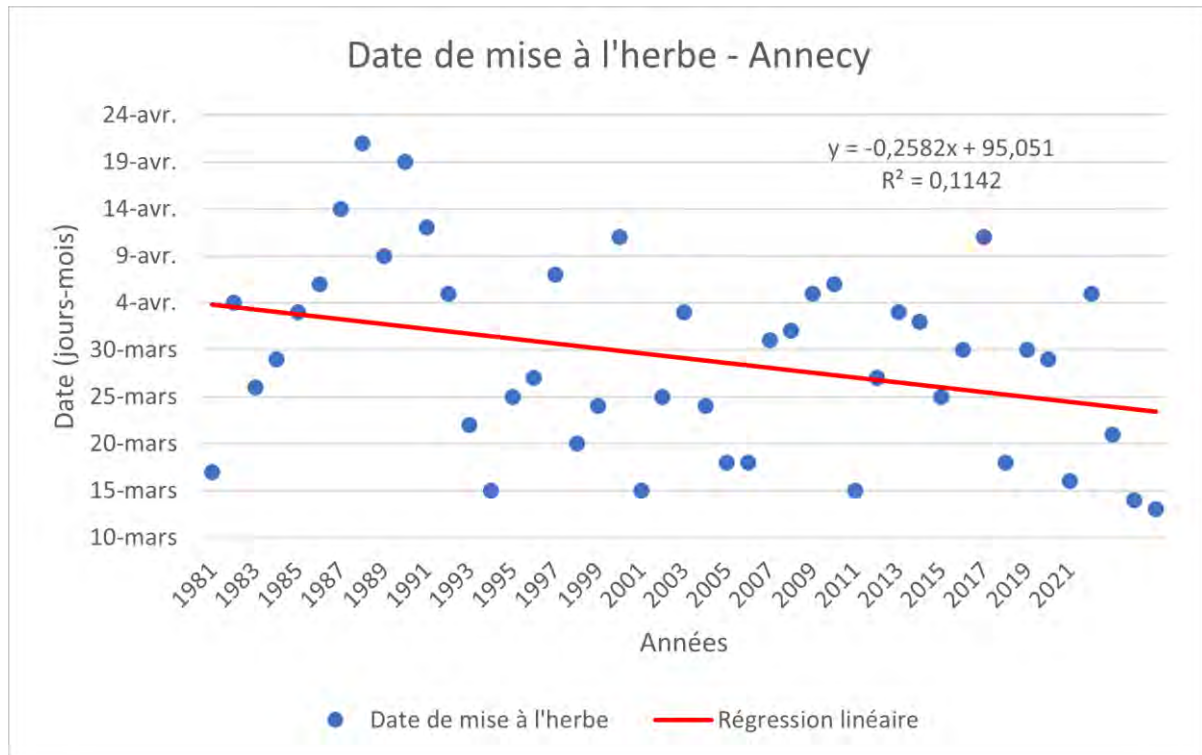
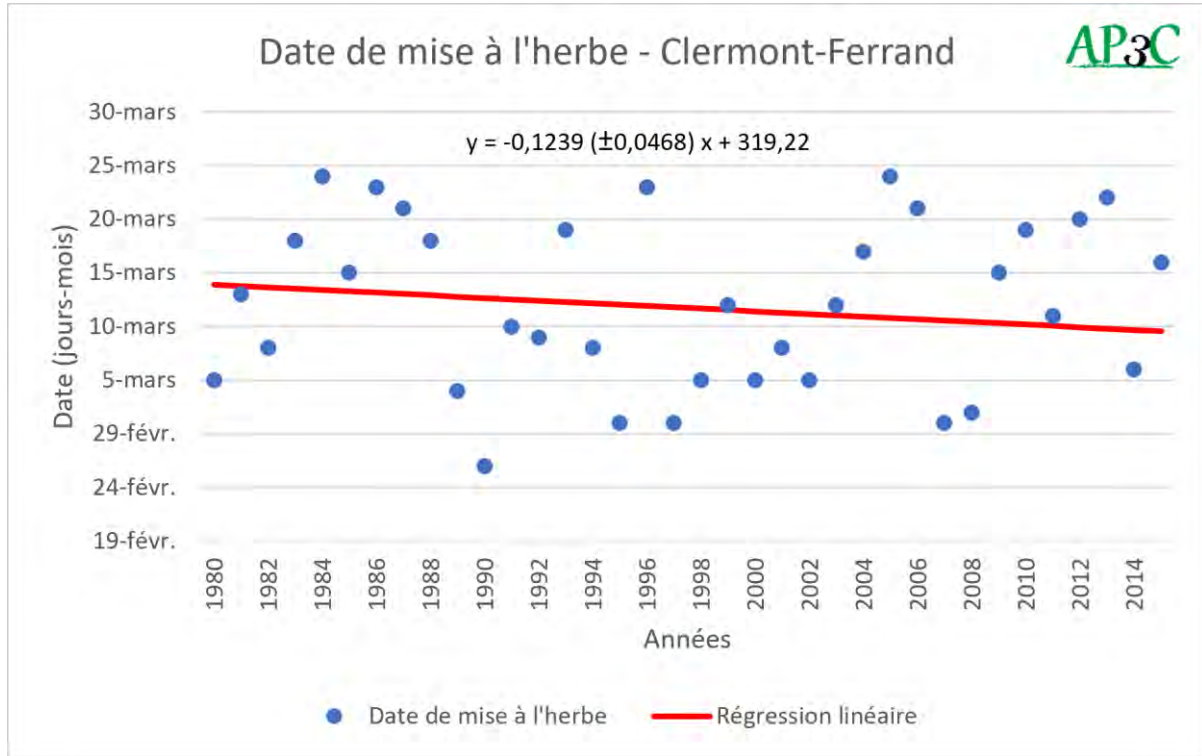


Date de mise à l'herbe





Date de mise à l'herbe





Date de mise à l'herbe

Analyse

L'évolution de la date de mise à l'herbe observée depuis 1959 pour les départements non concernés par le projet AP3C et depuis 1980 pour les autres montre des tendances significatives une partie des stations. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution de la date de mise à l'herbe sur toute la période (nb j/décennie)	Significativité de la tendance	Evolution de la date de mise à l'herbe de 1980 à 2015 (nb j/décennie)	Significativité de la tendance
Ambérieu (01)	-1,61	*	-1,89	ns
Vichy-Charmeil (03)			-1,58	***
Issanlas (07)	-3,11	X	-2,06	ns
Aurillac (15)			-1,89	***
Saint-Jean-en-Royans (26)	-1,49	X	1,73	ns
Villard-de-Lans (38)	-3,23	X	-2,66	ns
Saint-Etienne (42)			-1,77	***
Le Puy (43)			-3,15	***
Clermont-Ferrand (63)			-1,24	**
Annecy (74)	-2,58	*	-2,94	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Pour les stations d'Issanlas (07), de Saint-Jean-en-Royans (26) et de Villard-de-Lans (38), les conditions d'application du test statistique, appliqué à toute la période disponible, ne sont pas remplies (cf. « Méthodologie statistiques »). Dans ce cas, la conclusion quant à la significativité ou non de la tendance n'est pas considérée comme fiable et ne peut donc pas être avancée. Les tendances sont non significatives sur la période 1980 – 2015 pour toutes les stations non concernées par le projet AP3C. Sur toute la période disponible, un avancement significatif de la date de mise à l'herbe est observé pour les stations d'Ambérieu (01) et Annecy (74).

A l'échelle de toute la période étudiée, les évolutions significatives sont les suivantes (évolutions sur toute la période disponible mais aussi sur la période 1980-2015 de 36 années) :

- **-10,14 j** en 63 ans ou **-6,80 j** en 36 ans à Ambérieu (01)
- **-5,69 j** en 36 ans à Vichy-Charmeil (03)
- **-6,80 j** en 36 ans à Aurillac (15)
- **-6,37 j** en 36 ans à Saint-Etienne (42)
- **-11,34 j** en 36 ans à Le Puy (43)
- **-4,46 j** en 36 ans à Clermont-Ferrand (63)
- **-11,61 j** en 45 ans ou **-10,58 j** en 36 ans à Annecy (74)

La comparaison des dates entre deux années consécutives permet de remarquer la variation relativement importante entre certaines années. La date de mise à l'herbe peut varier d'une trentaine de jours entre deux années pour toutes les stations étudiées. Le maximum se trouve pour la station d'Ambérieu (01) avec une variation de 37 jours entre les années 1961 et 1962. Les mesures des autres stations ne débutant que dans les années 70 ou 80, il n'est pas possible de comparer ces années exceptionnelles pour d'autres stations. Cette très grande variabilité interannuelle oblige les agriculteurs à être en permanence en mesure de s'adapter au caractère plus ou moins précoce de l'année. C'est pour cette raison que des indicateurs de sommes de températures sont publiés régulièrement dans les



Date de mise à l'herbe



Analyse

L'analyse s'appuie sur des bulletins d'information sur la conduite des prairies par les Chambres d'Agriculture ou différents organismes de conseil en élevage.

La date de mise à l'herbe devrait prendre en compte la portance des sols (liée à leur humidité). La date de mise à l'herbe reste un indicateur important qui sera modifié en réponse au changement climatique. Il est nécessaire d'explorer toutes les pistes qui peuvent conduire à une meilleure adaptation de la production fourragère et des élevages au climat, à sa variabilité et à son évolution (Soussana *et al.*, 2002).

Pour aller plus loin : Afin de compléter ces résultats, il serait intéressant d'analyser la durée du pâturage afin de comprendre si la précocité de la mise à l'herbe est synonyme d'augmentation de la durée du pâturage ou simplement d'un décalage de cette période dans le temps. En effet, ceci pourrait constituer un levier majeur d'esquive de la contrainte hydrique estivale.

A RETENIR

L'évolution de la date de mise à l'herbe au seuil 300°CJ observée sur toute la période disponible montre une tendance significative à l'avancement pour les stations d'Ambérieu (01) et d'Annecy (74). Pour la période de 1980 à 2015 et les départements concernés par le projet AP3C, l'évolution de la date de mise à l'herbe au seuil 250°CJ montre une tendance significative à l'avancement pour les stations de Vichy-Charmeil (03), Aurillac (15), Saint-Etienne (42), Le Puy (43) et Clermont-Ferrand (63).

La forte variabilité interannuelle oblige les agriculteurs à être en mesure de s'adapter au caractère plus ou moins précoce de l'année.

L'analyse de la durée de pâturage permettrait de déduire des informations concernant l'impact sur l'évolution des performances, la composition de la ration ou encore les dépenses liées à la quantité d'aliment à acheter et à produire.



Pour en savoir plus

Carrère, P. et Violleau, S., 2020. L'Herbe face aux aléas : Posons le décor : c'est quoi un aléa ? In : *L'Herbe de nos Montagnes*. Chambre d'Agriculture du Puy de Dôme. Septembre 2020. Laqueuille, France.

Soussana, J-F., Teyssonneyre, F., Picon-Cochard, C., Casella, E., Besle, J-M., Lherm, M., Loiseau, P., 2002. Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et la production. In : *Fourrages*. N°169, PP 3-24.



Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps

Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021 pour les stations des départements d'ex-Rhône-Alpes (sauf la Loire). Données de 1980 à 2015 issues du projet AP3C pour les stations des départements d'ex-Auvergne et de la Loire.

Le projet AP3C a vocation à produire des projections localisées, à l'échelle parcellaire, à l'horizon 2050, sur la base de données quotidiennes observées entre 1980 et 2015. Le projet ORACLE a lui vocation à représenter exclusivement des données passées et observées, sans faire de projections vers le futur. Le projet AP3C étant déployé en Auvergne et dans la Loire, et afin de valoriser au mieux les résultats existants produits sur ces départements, vous trouverez dans ce livret ORACLE des résultats relatifs aux données observées homogénéisées du projet AP3C.

Indicateur

- Vichy-Charmeil (03) : 1980 – 2015
- Aurillac (15) : 1980 - 2015
- Saint-Marcel-lès-Valence (26) : 1993 – 2020
- Grenoble-Saint-Geoirs (38) : 1991 – 2020
- Saint-Etienne (42) : 1980 – 2015
- Le Puy (43) : 1980 – 2015
- Clermont-Ferrand (63) : 1980 - 2015
- Lyon-Bron (69) : 1991 – 2020
- Bourg-Saint-Maurice (73) : 1991 - 2020

Calcul de l'indicateur

Le calcul de l'indicateur commence par la somme des températures en base 0°C écrêtées à 18°C cumulées sur des températures moyennes à partir du 1^{er} février. La date du 1^{er} février a été retenue car elle correspond au repère d'initialisation du cycle de reproduction de la majorité des graminées prairiales. Le suivi de la disponibilité en eau du démarrage à la récolte des prairies a été choisi pour deux types de situations, à savoir :

- Les prairies utilisées en fauche précoce, soit de 300 à 750°CJ de cumul de température, base 1^{er} février (750°CJ correspondant au stade de début d'épiaison des graminées)
- Les prairies utilisées en fauche tardive, soit de 500 à 1200°CJ de cumul de température, base 1^{er} février (1200°CJ correspondant au stade de pleine floraison des graminées)

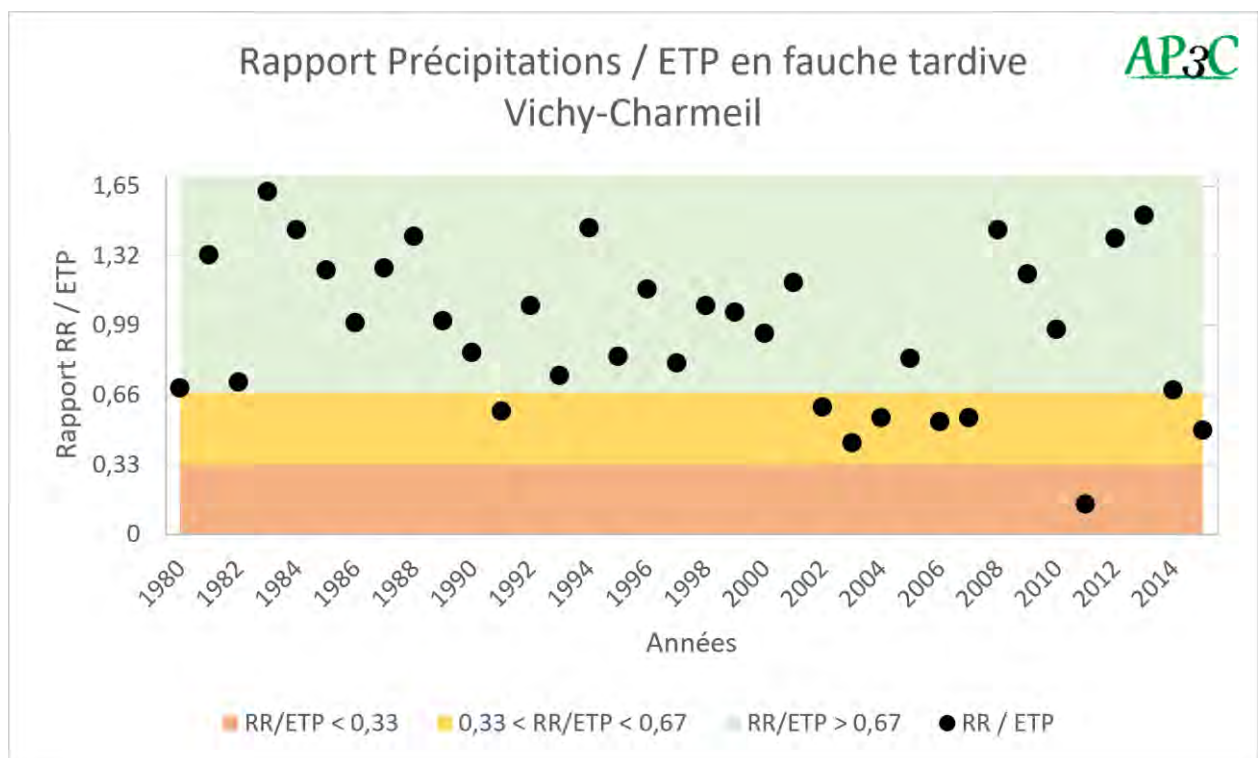
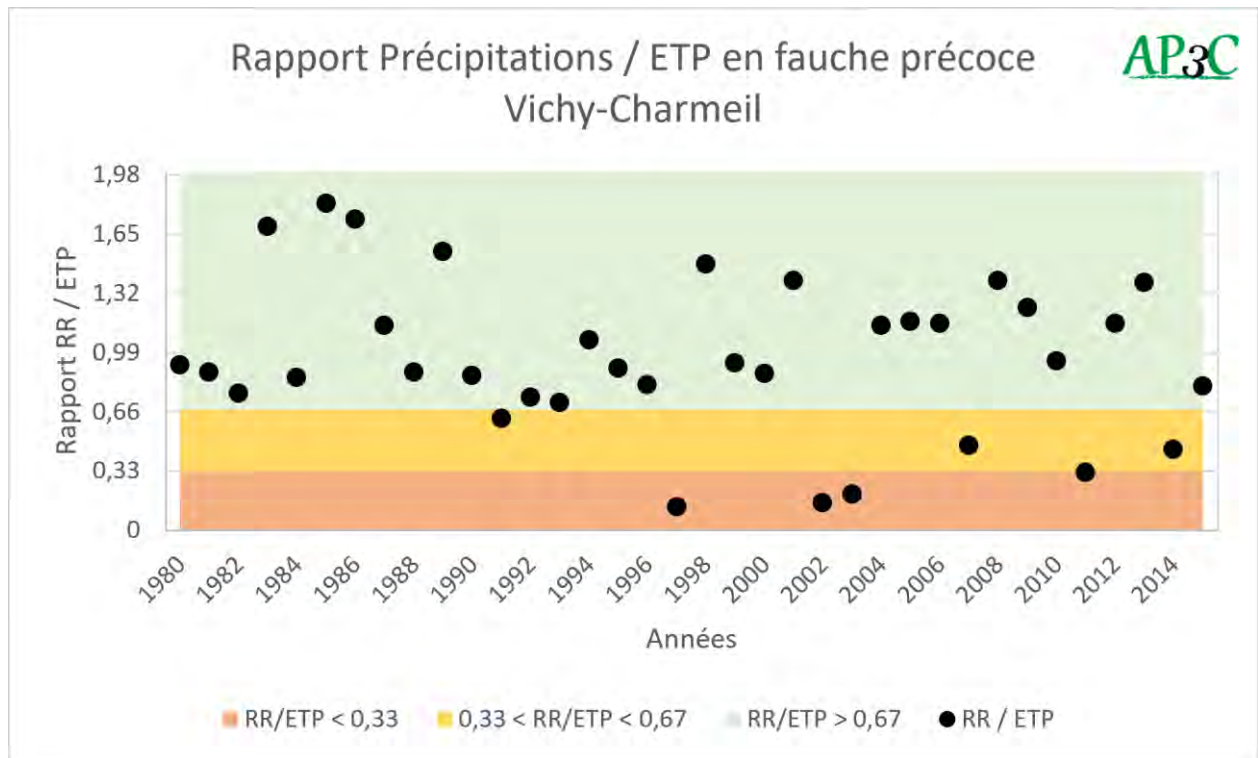
Il faut ensuite faire le cumul des précipitations sur toute la période souhaitée et le diviser par le cumul de l'ETP sur la même période.



Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps

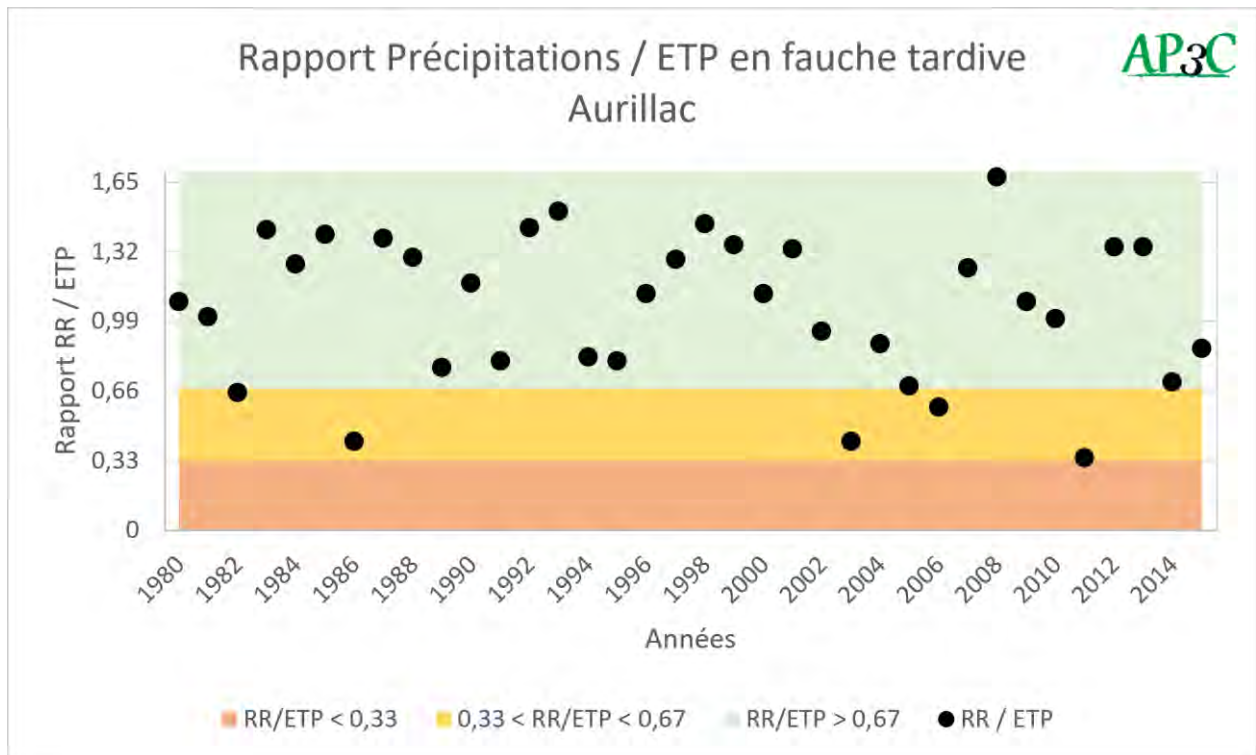
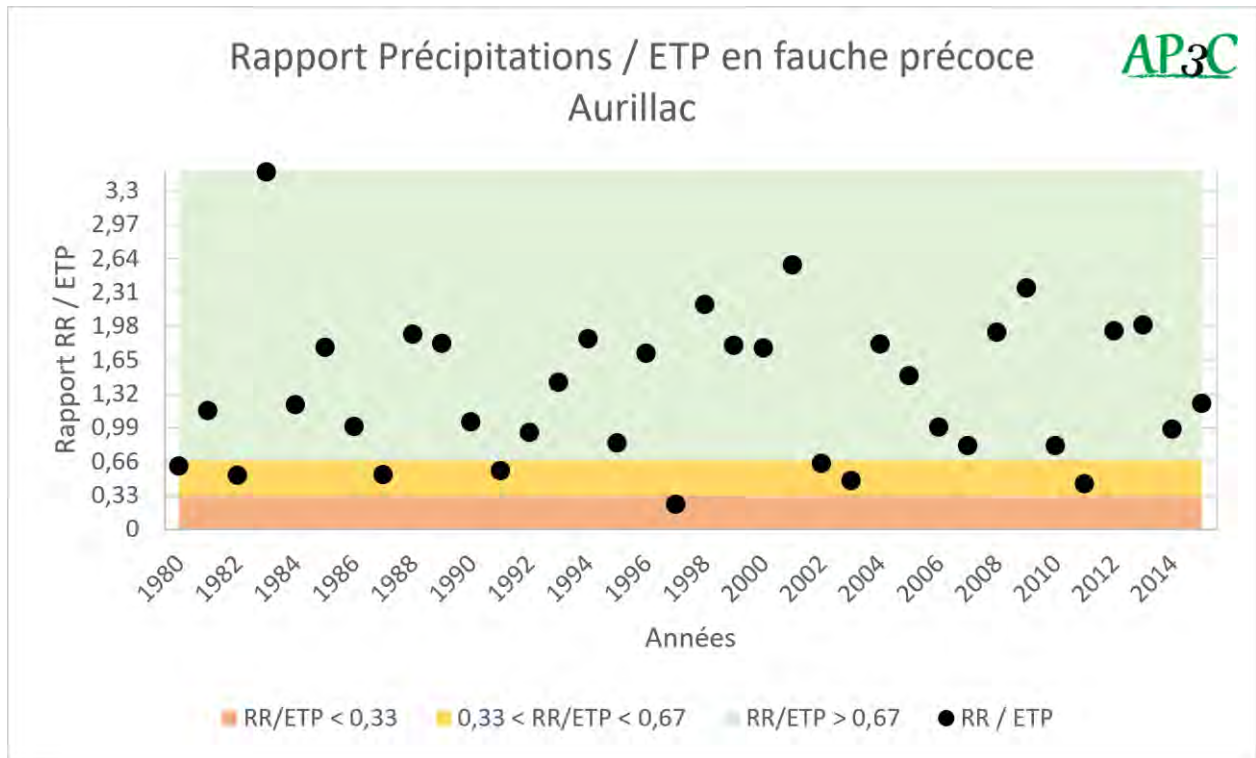


Évolution observée



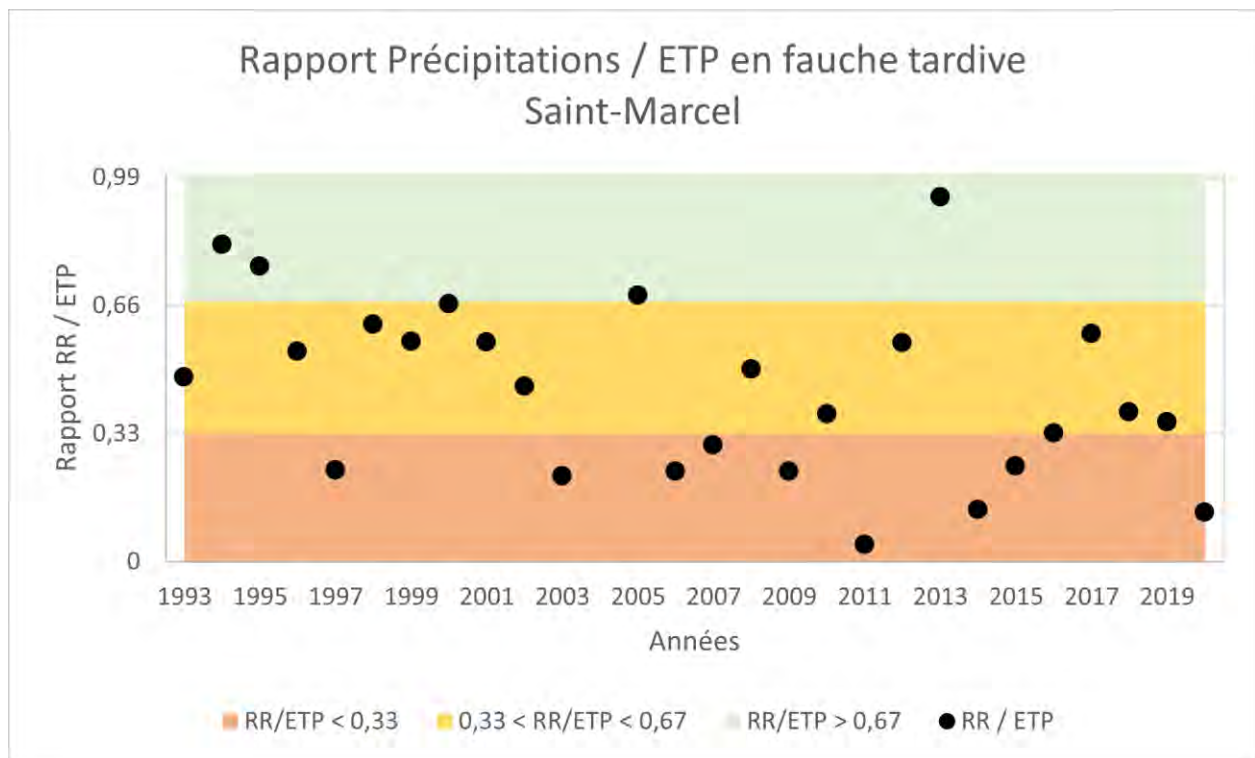
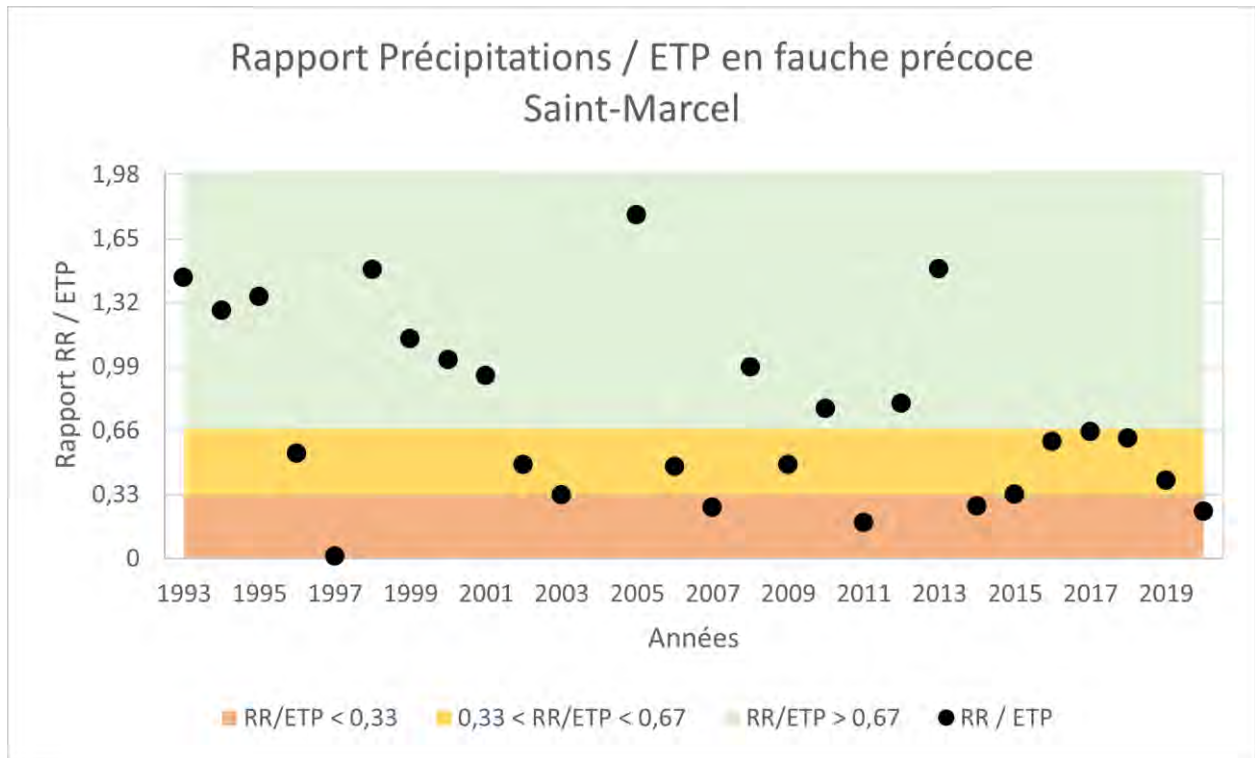


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



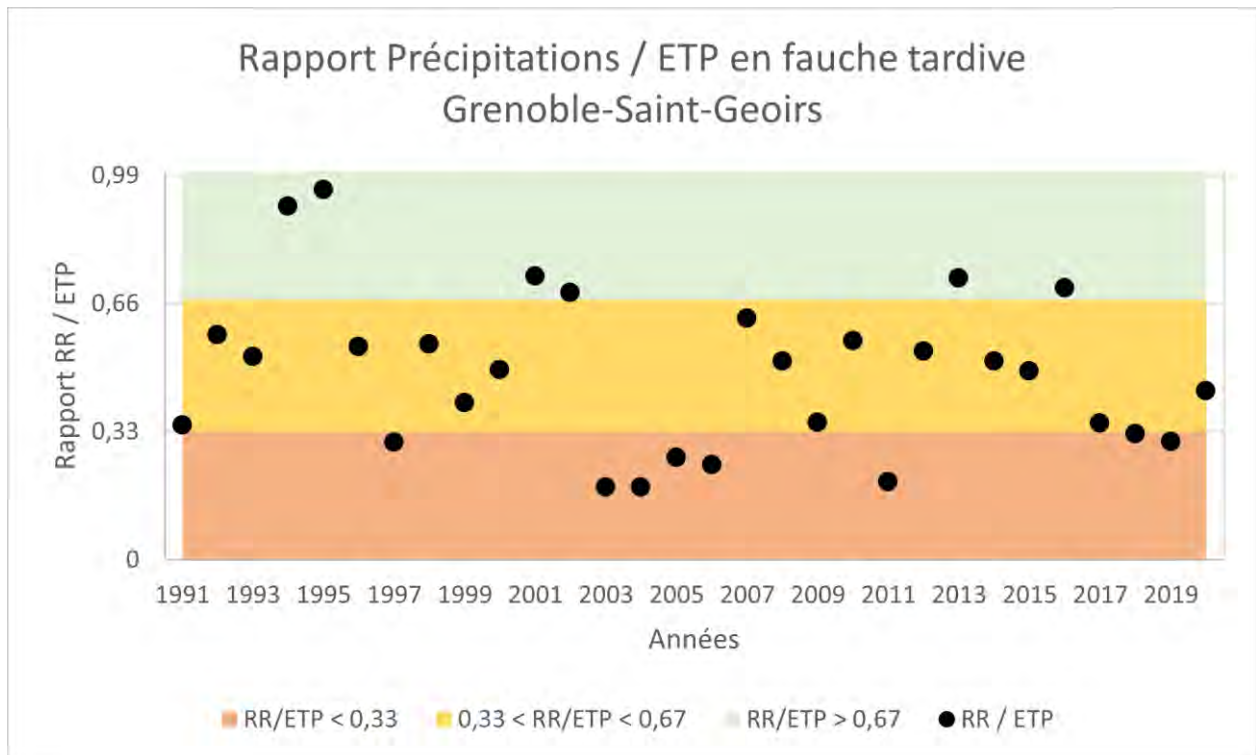
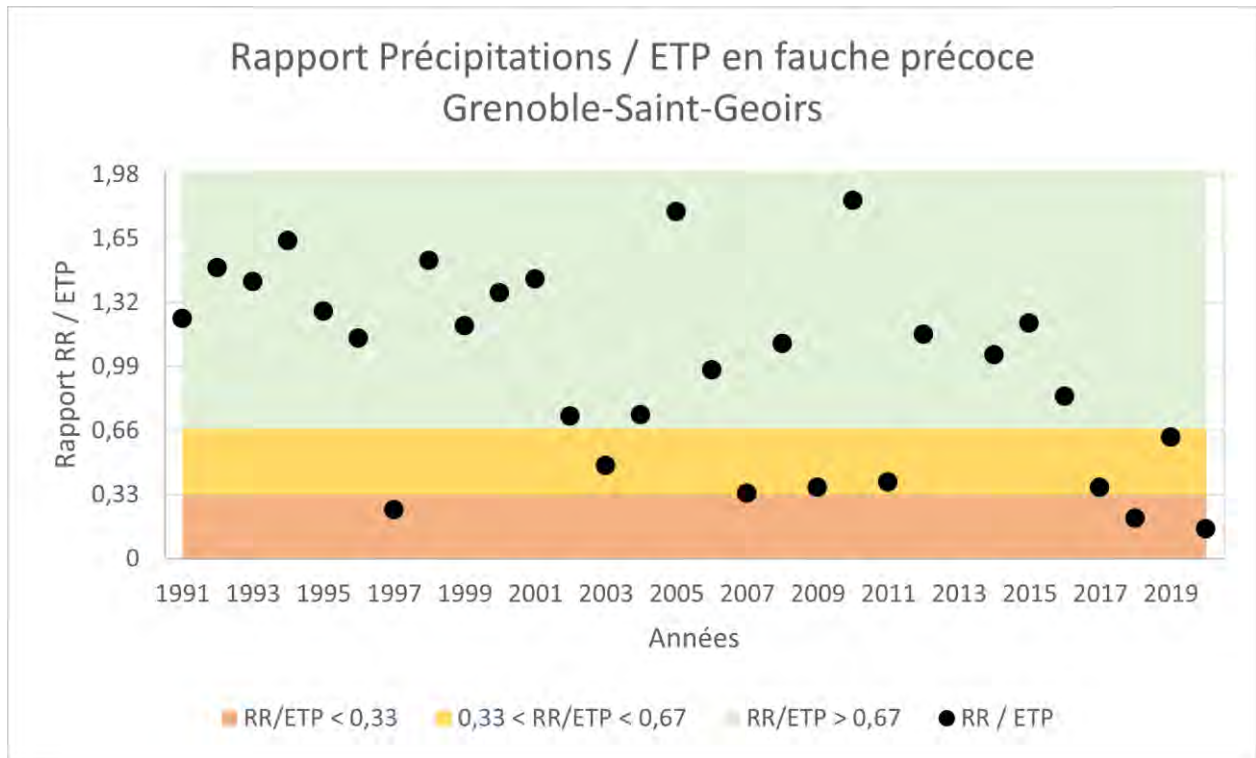


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



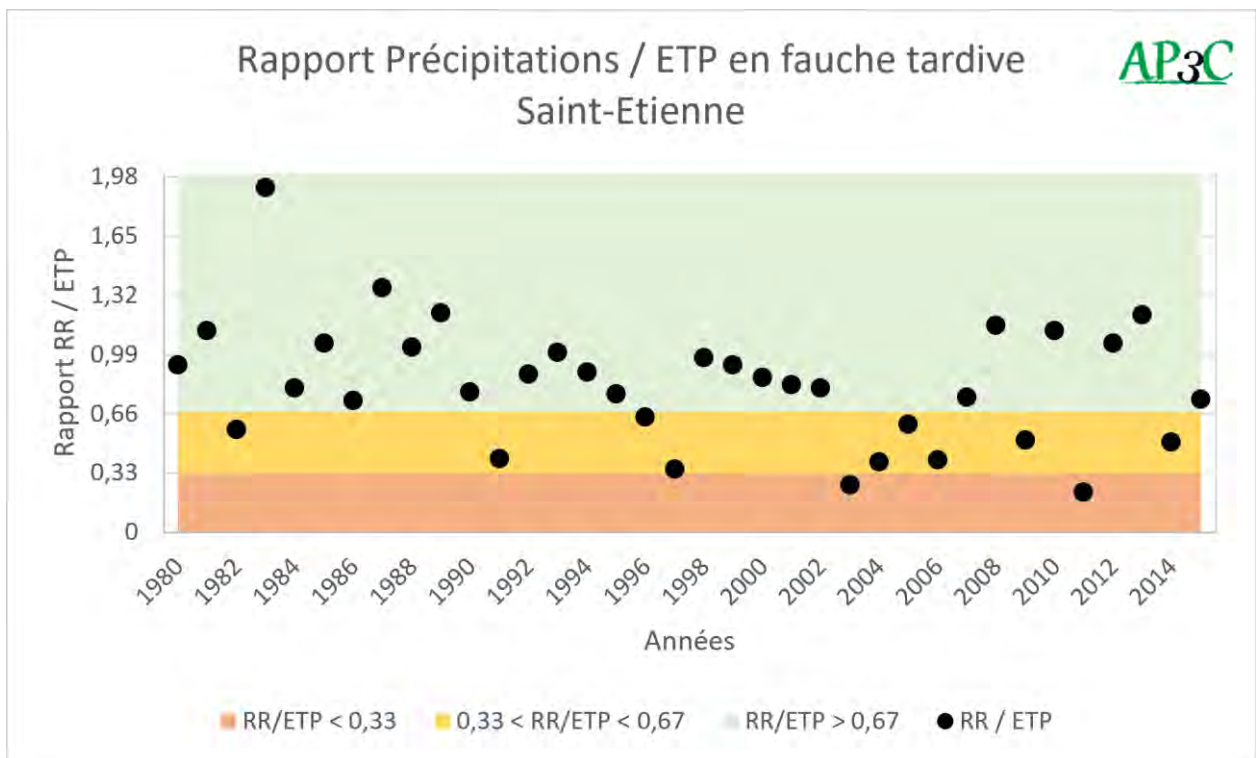
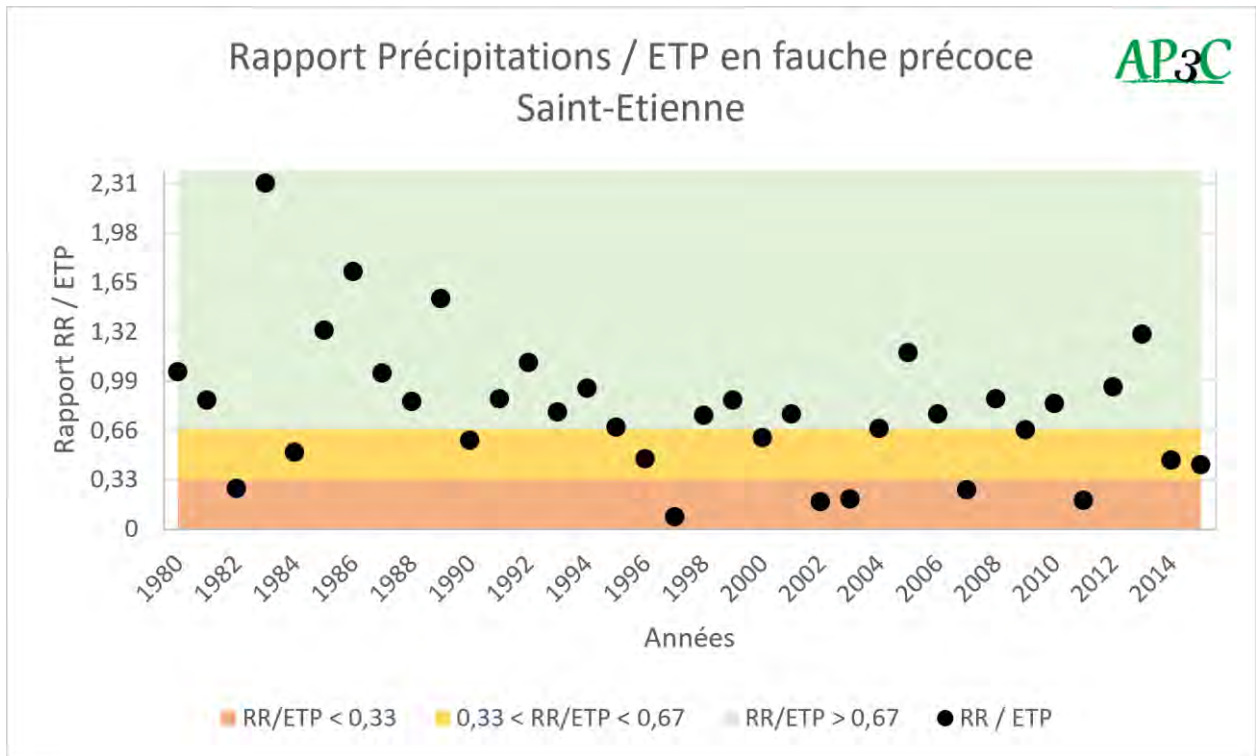


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



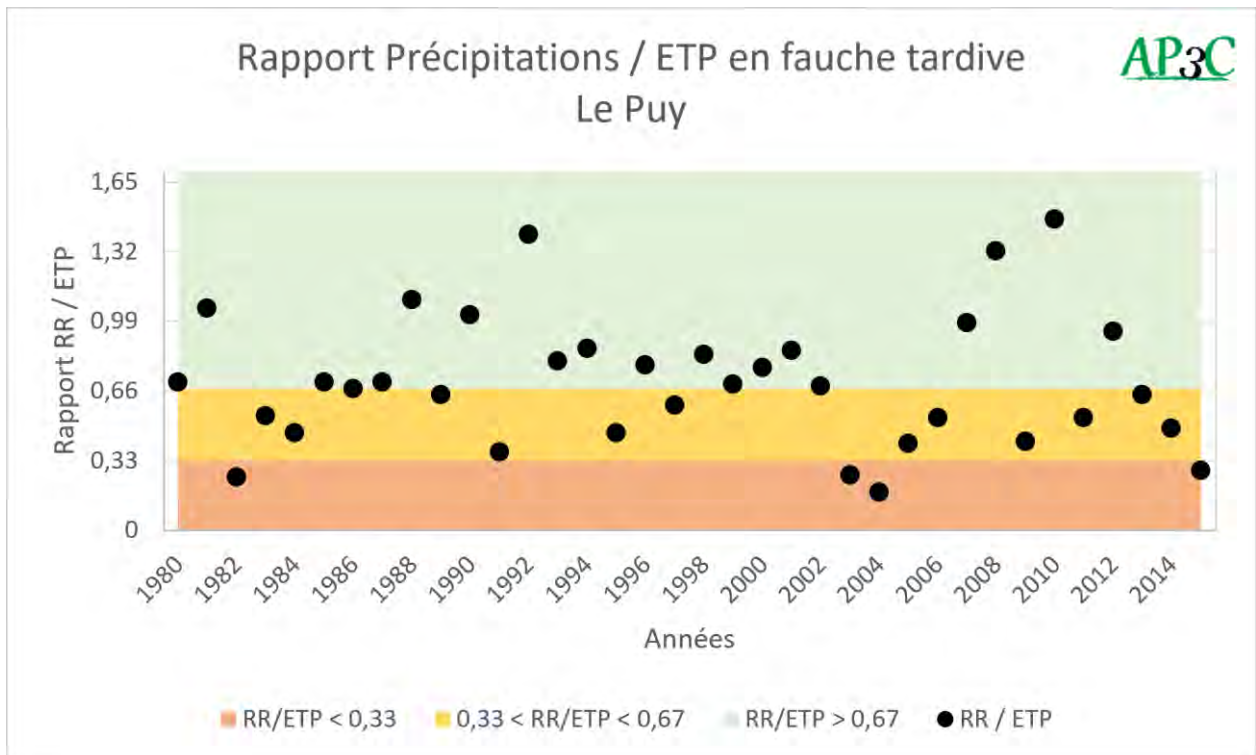
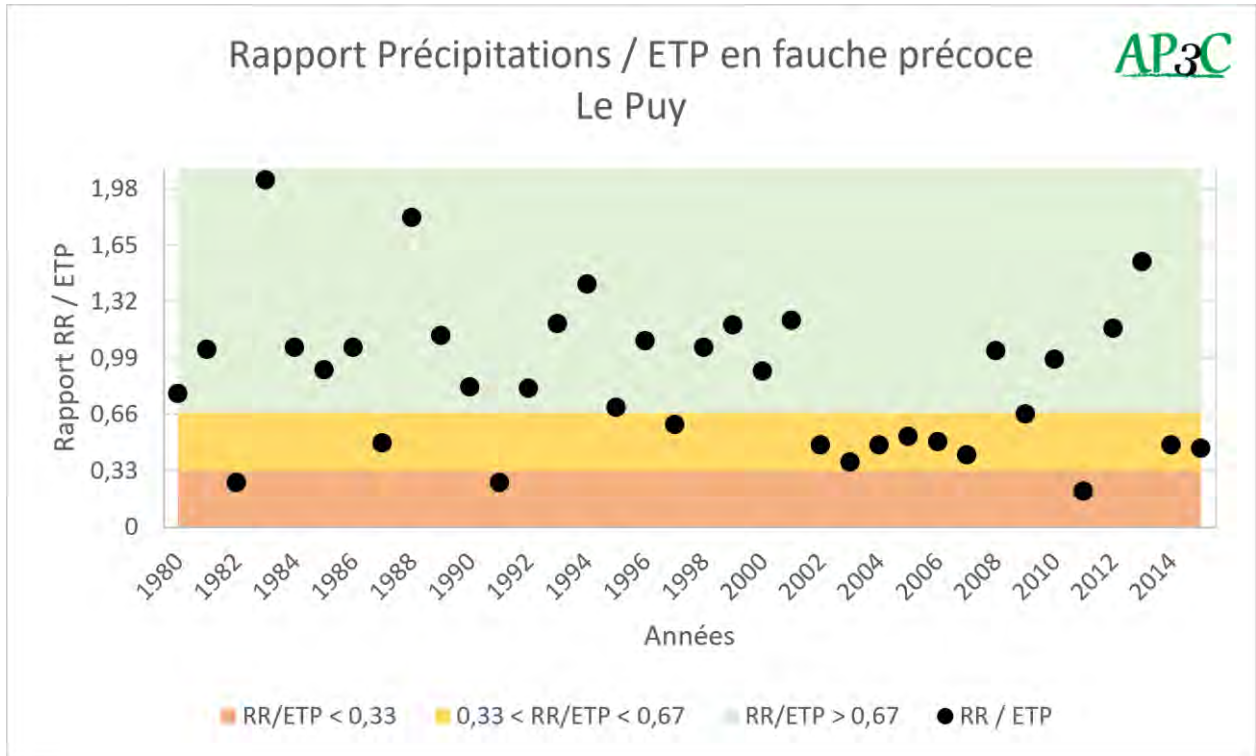


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



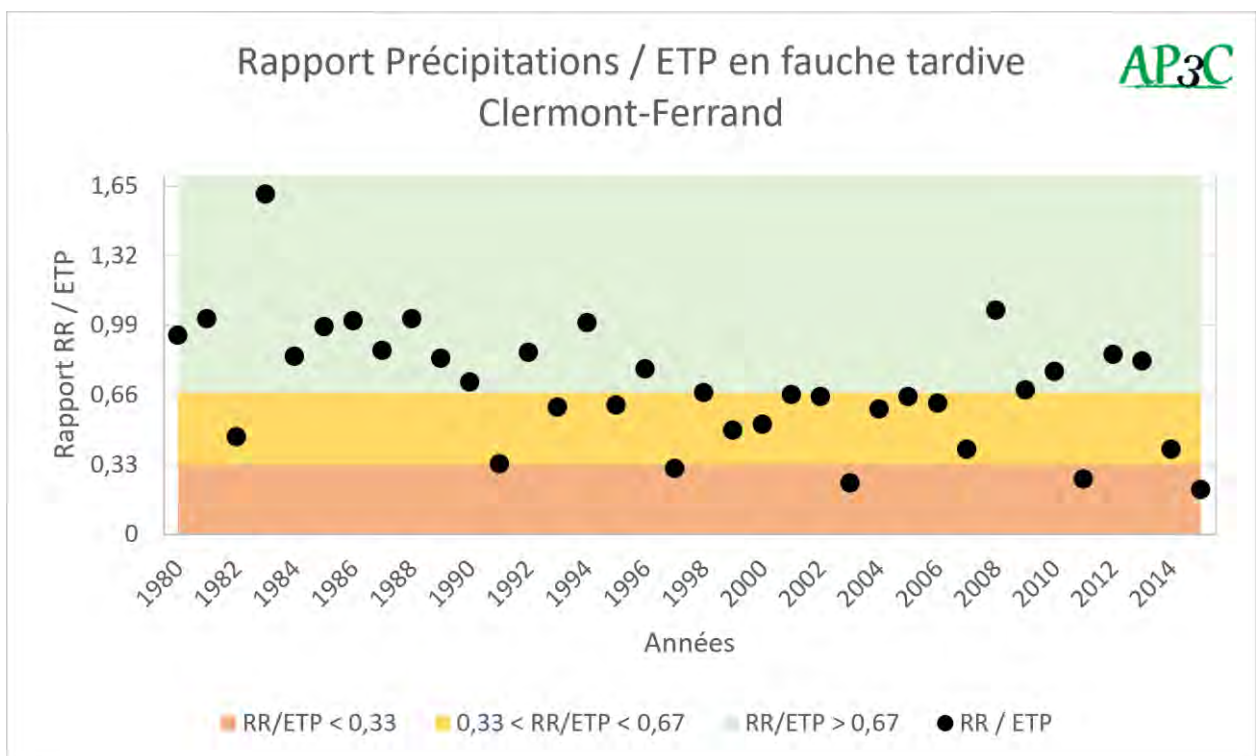
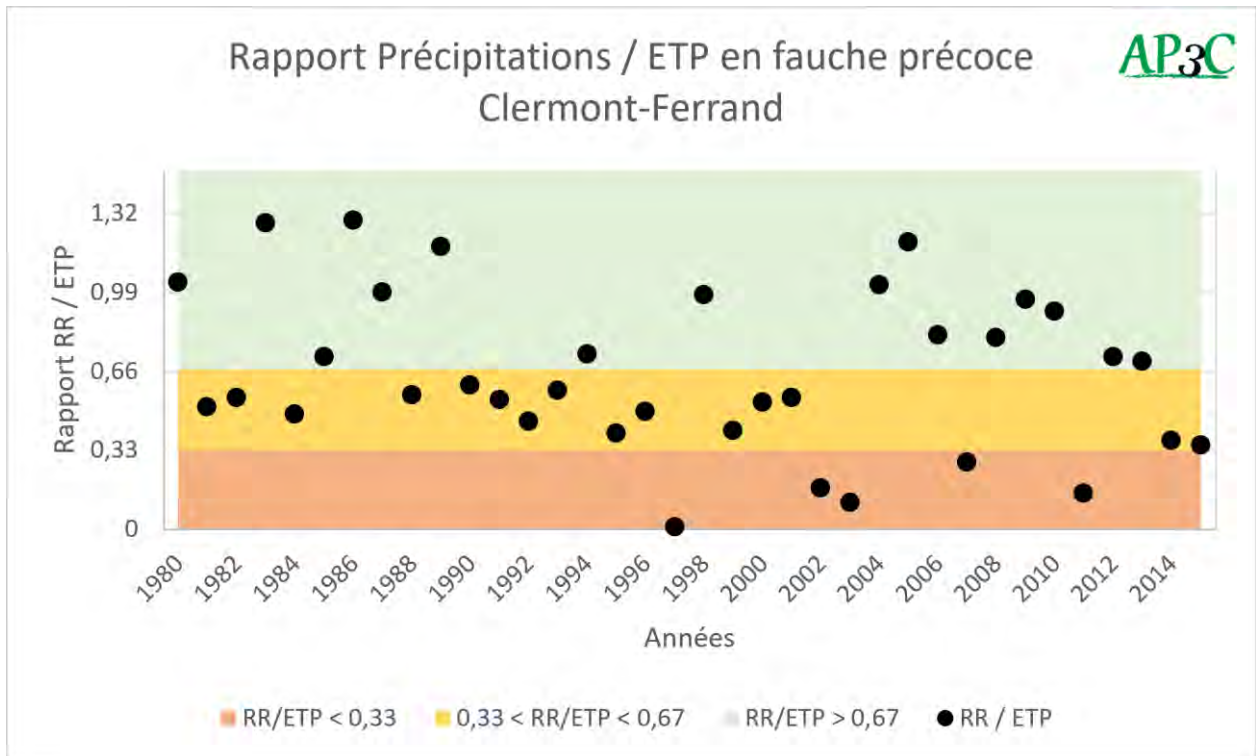


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



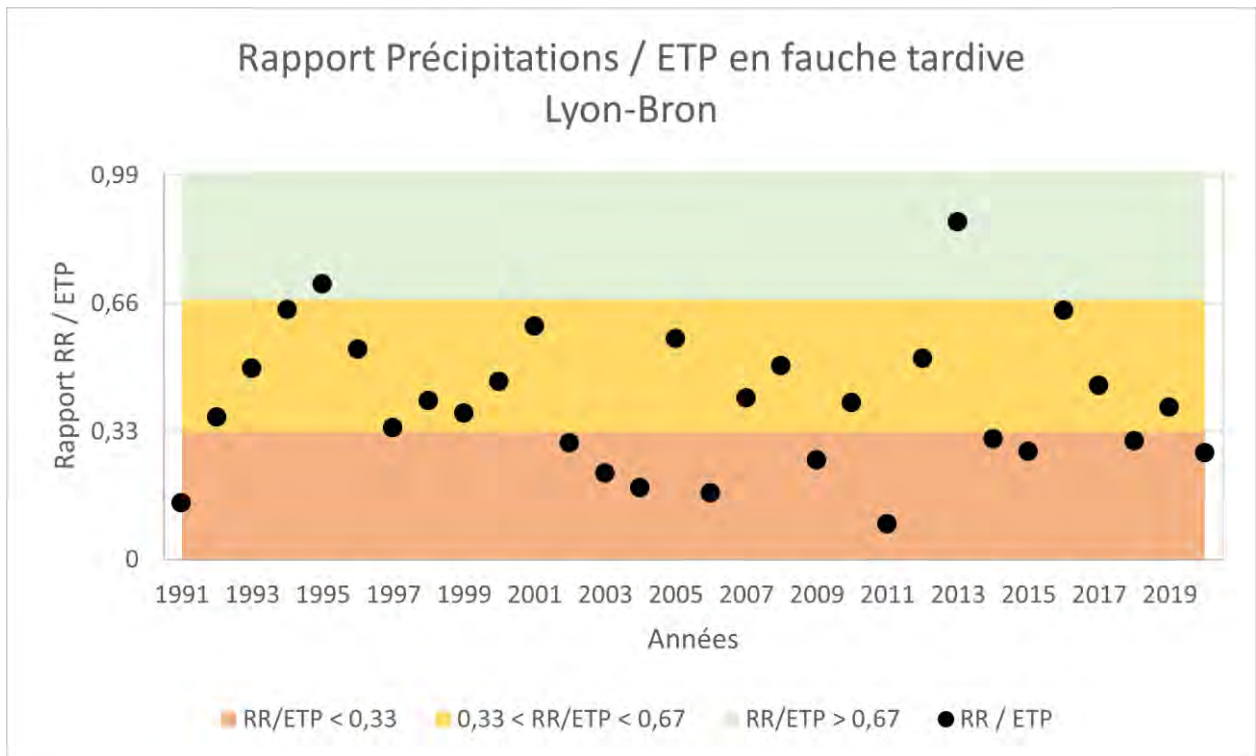
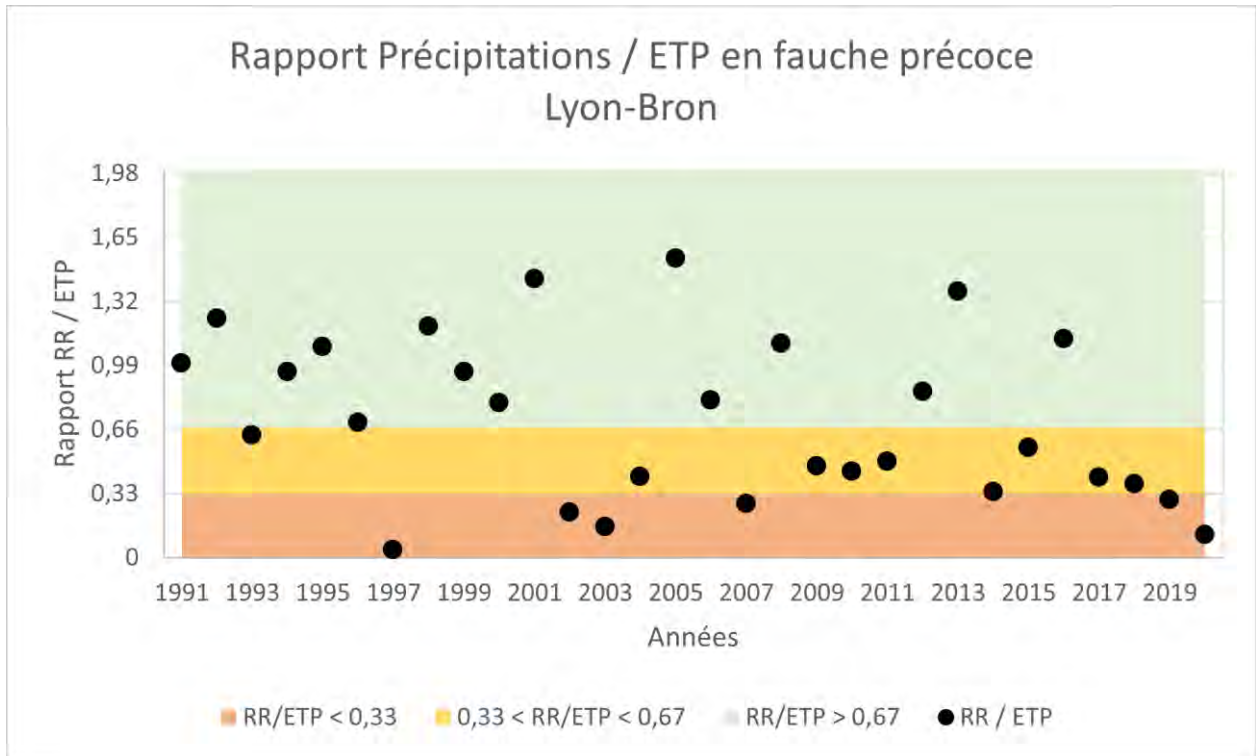


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



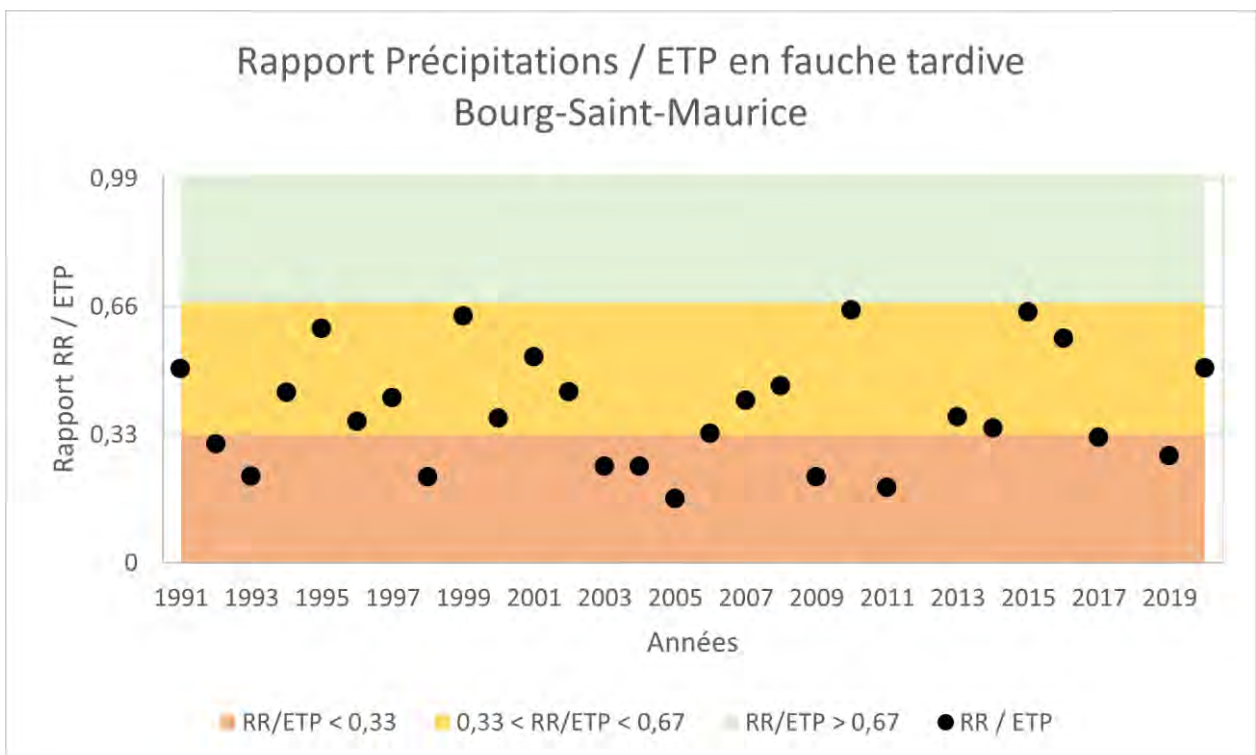
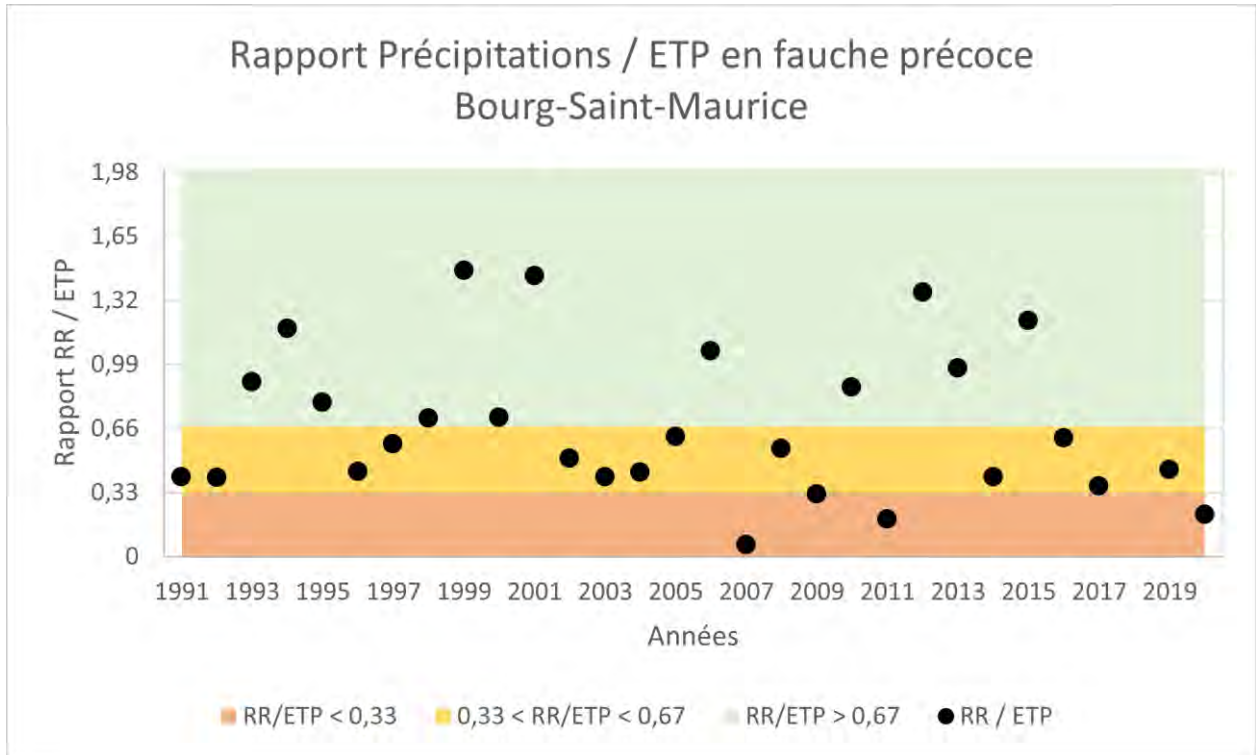


Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps





Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps





Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



Le suivi du rapport du cumul des précipitations (RR) sur l'évapotranspiration (ETP) est un indicateur initialement présenté par François-Xavier De Montard, chercheur à l'INRAE de Theix, en 1990. Ensuite, ses travaux ont été repris par Stéphane Violleau, conseiller fourrages à la Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme.

Il s'agit d'un indicateur très pertinent pour caractériser les conditions climatiques sur la pousse des prairies. Le calcul de cette valeur relative permet une interprétation plus facile et transposable d'une situation à une autre sans avoir besoin d'intégrer les caractéristiques de la Réserve Utile. Les pratiques fourragères peuvent donc être comparées dans des zones pédoclimatiques très différentes (Theau *et al.*, sd).

Afin de caractériser le climat moyen par rapport au potentiel « herbe », des références ont été établies (De Montard, 1990) :

- **Précipitations < ETP/3** (ou $RR/ETP < 0,33$) : la production des prairies est faible à très faible (« peu de production »)
- **ETP/3 < Précipitations < 2/3 ETP** (ou RR/ETP compris entre 0,33 et 0,67) : la production des prairies est affectée jusqu'à 50% (« demi-récolte »)
- **Précipitations > 2/3 ETP** (ou $RR/ETP > 0,67$) : la production de la prairie n'est pas ou peu affectée (« production normale »)

Ceci explique les lignes horizontales sur les graphiques, situées à $RR/ETP = 0,33$ et à $RR/ETP = 0,66$.

L'évolution du rapport des précipitations sur l'ETP observée depuis 1991 (ou 1993) pour les départements non concernés par le projet AP3C et depuis 1980 pour les autres montre des tendances significatives pour une partie des stations. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	RR/ETP /décennie en fauche précoce	Significativité de la tendance	RR/ETP /décennie en fauche tardive	Significativité de la tendance
Vichy-Charmeil (03)	-0,07	**	-0,05	*
Aurillac (15)	-0,09	**	-0,05	*
Saint-Marcel-lès-Valences (26)	-0,25	*	-0,11	*
Grenoble-Saint-Geoires (38)	-0,24	*	-0,06	ns
Saint-Etienne (42)	-0,06	**	-0,05	*
Le Puy (43)	-0,05	*	-0,01	ns
Clermont-Ferrand (63)	-0,06	**	-0,05	**
Lyon-Bron (69)	-0,16	ns	-0,02	ns
Bourg-Saint-Maurice (73)	-0,07	X	0,03	X

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



Analyse

En **fauche précoce**, seule la station de Lyon-Bron (69) est réellement non significative. Pour la station de Bourg-Saint-Maurice (73), les conditions d'application du test statistique n'étaient pas remplies (cf. « Méthodologie statistiques »). Dans ce cas, la conclusion quant à la significativité ou non de la tendance n'est pas considérée comme fiable et ne peut donc pas être avancée.

A l'échelle de toute la période étudiée, les évolutions significatives sont les suivantes :

- **-0,24** en 36 ans à Vichy-Charmeil (03)
- **-0,33** en 36 ans à Aurillac (15)
- **-0,66** en 27 ans à Saint-Marcel-lès-Valence (26)
- **-0,72** en 30 ans à Grenoble-Saint-Geoirs (38)
- **-0,22** en 36 ans à Saint-Etienne (42)
- **-0,19** en 36 ans à Le Puy (43)
- **-0,22** en 36 ans à Clermont-Ferrand (63)

En **fauche tardive**, ce sont les stations de Grenoble-Saint-Geoirs (38), de Le Puy (43) et à nouveau de Lyon-Bron (69) qui ne montrent pas de tendances significatives. Pour la station de Bourg-Saint-Maurice (73), c'est également la non-validation des conditions d'application du test statistique qui empêche de tirer des conclusions.

A l'échelle de toute la période étudiée, les évolutions significatives sont les suivantes :

- **-0,18** en 36 ans à Vichy-Charmeil (03)
- **-0,18** en 36 ans à Aurillac (15)
- **-0,30** en 27 ans à Saint-Marcel-lès-Valence (26)
- **-0,17** en 36 ans à Saint-Etienne (42)
- **-0,19** en 36 ans à Clermont-Ferrand (63)

Une étude sur une période plus longue permettrait de vraiment rendre compte des évolutions de la disponibilité en eau au démarrage de la végétation avec les changements climatiques. De plus, il est possible de remarquer une forte variabilité interannuelle qui peut expliquer également les résultats.

Afin de mieux adapter son système fourrager aux besoins du troupeau, l'éleveur a besoin de mieux connaître le climat, les sols ainsi que l'adaptation des plantes fourragères à une alimentation en eau limitée. Les résultats de l'analyse de l'indicateur montrent que la diminution du rapport RR / ETP accroît les fréquences de périodes sèches. Lorsque le rapport passe en-dessous de 0,67, la production de la prairie est affectée.



Disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps



Analyse

A RETENIR

L'évolution de la disponibilité en eau pour la pousse des prairies au printemps observée en région Auvergne-Rhône-Alpes, de 1991 à 2020 pour les départements non concernés par le projet AP3C et de 1980 à 2015 pour les autres, montre une tendance significative à la diminution pour les majorités des stations en fauche précoce et en fauche tardive.

Pour ces stations, les années sèches sont plus fréquentes ce qui entraîne une productivité de la prairie qui est impactée plus souvent aujourd'hui qu'il y a 30 ans.



Pour en savoir plus

Allézar, V., Huyghe, C., Vertès, F., 2014. Foisonnement de l'innovation agricole : quelques exemples d'initiatives en élevage herbivore. In : *Fourrages*. N°217, PP 37-46.

De Montard, F-X., 1990. Adaptation des systèmes fourragers (en non irrigué) à la sécheresse. Conférence du 30 octobre 1990.

Theau, J-P., Cruz, P., Lacour, C., sd. De nouveaux repères pour piloter les pratiques fourragères en zone herbagère.



Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021.

🕒 Indicateur

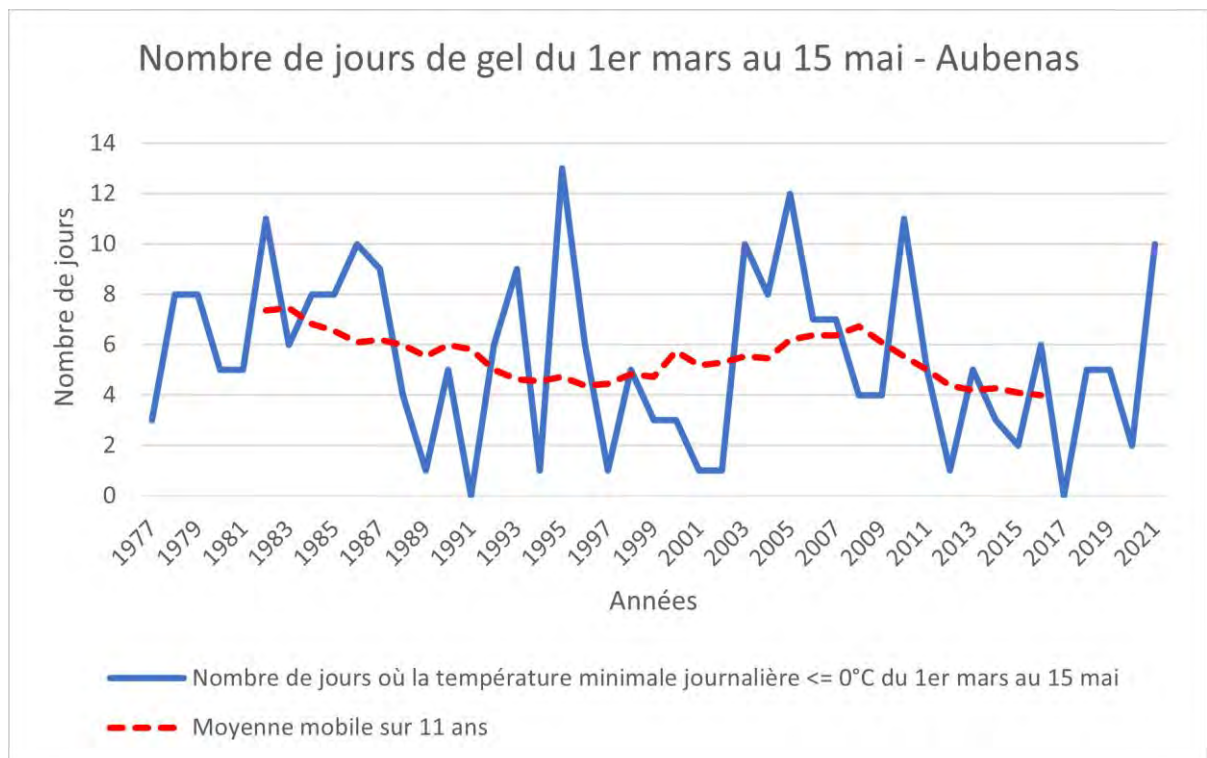
- Aubenas (07) : 1977 – 2021
- Saint-Sorlin-en-Valloire (26) : 1968 – 2021
- La-Côte-Saint-André (38) : 1973-2021
- Saint-Etienne (42) : 1996 – 2021
- Mornant (69) : 1977 - 2021
- Thônes (74) : 1959 – 2021

📊 Calcul de l'indicateur

Nombre de jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C du 1^{er} mars au 15 mai.

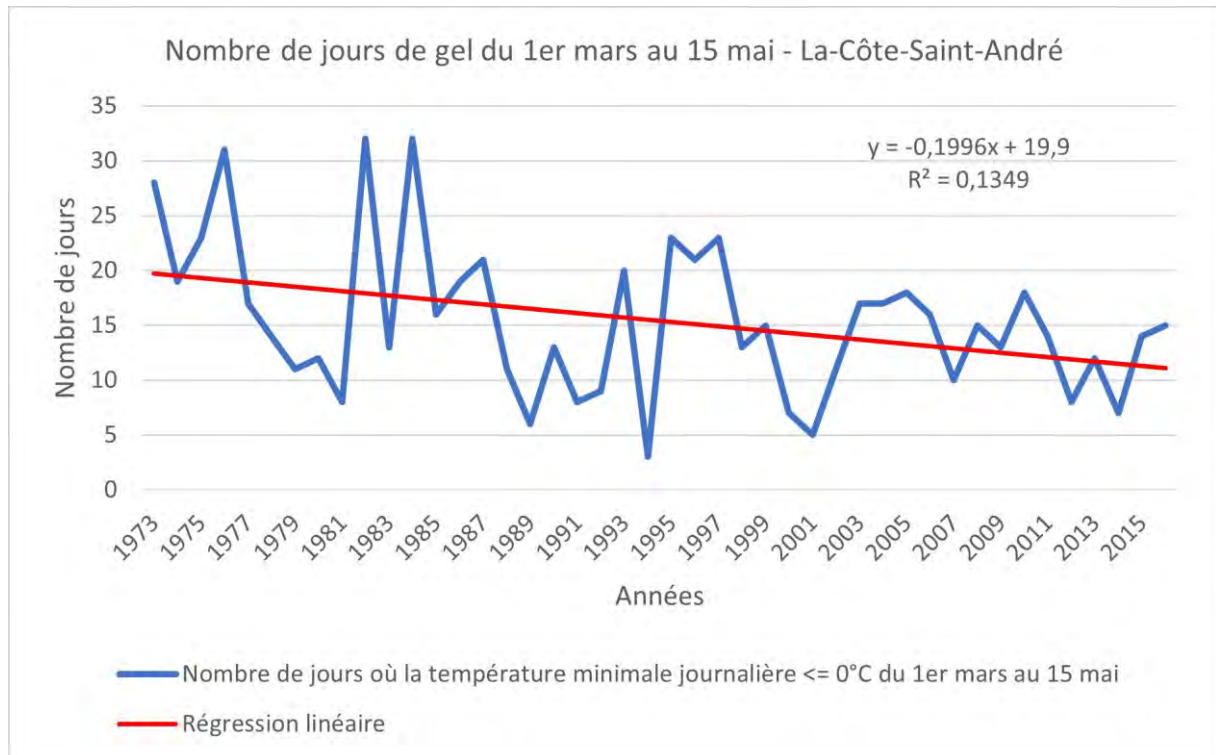
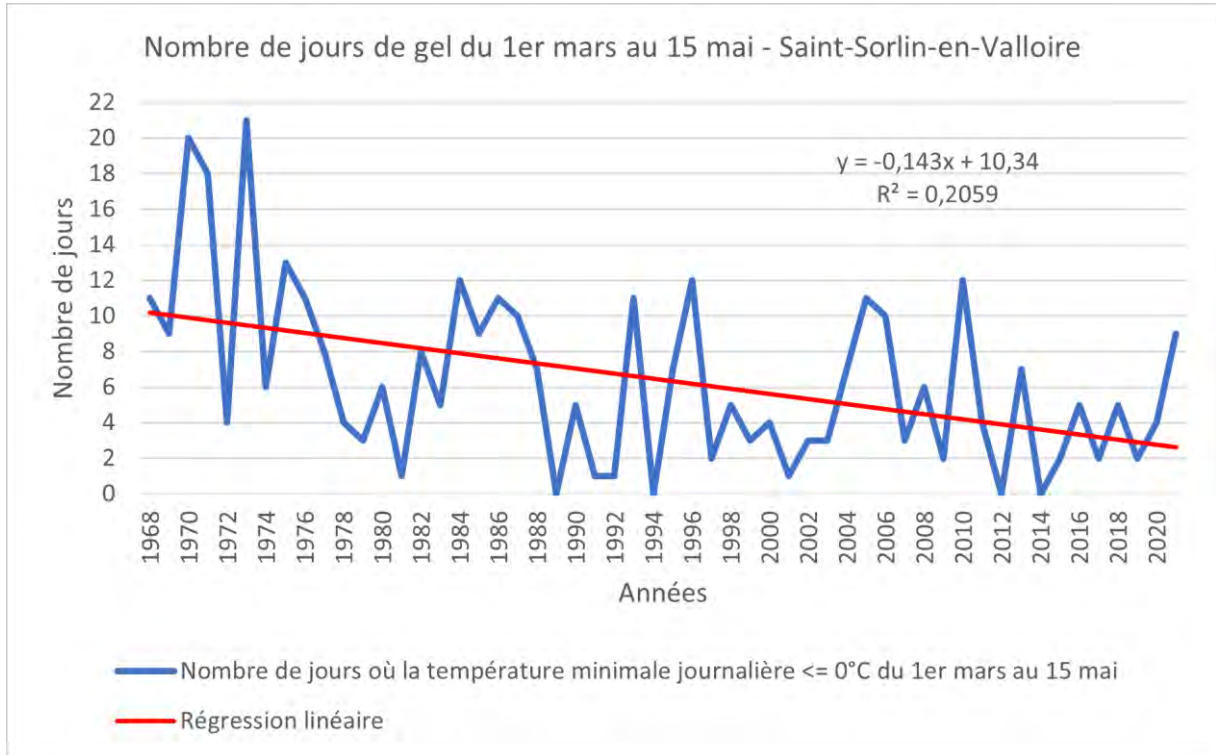
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



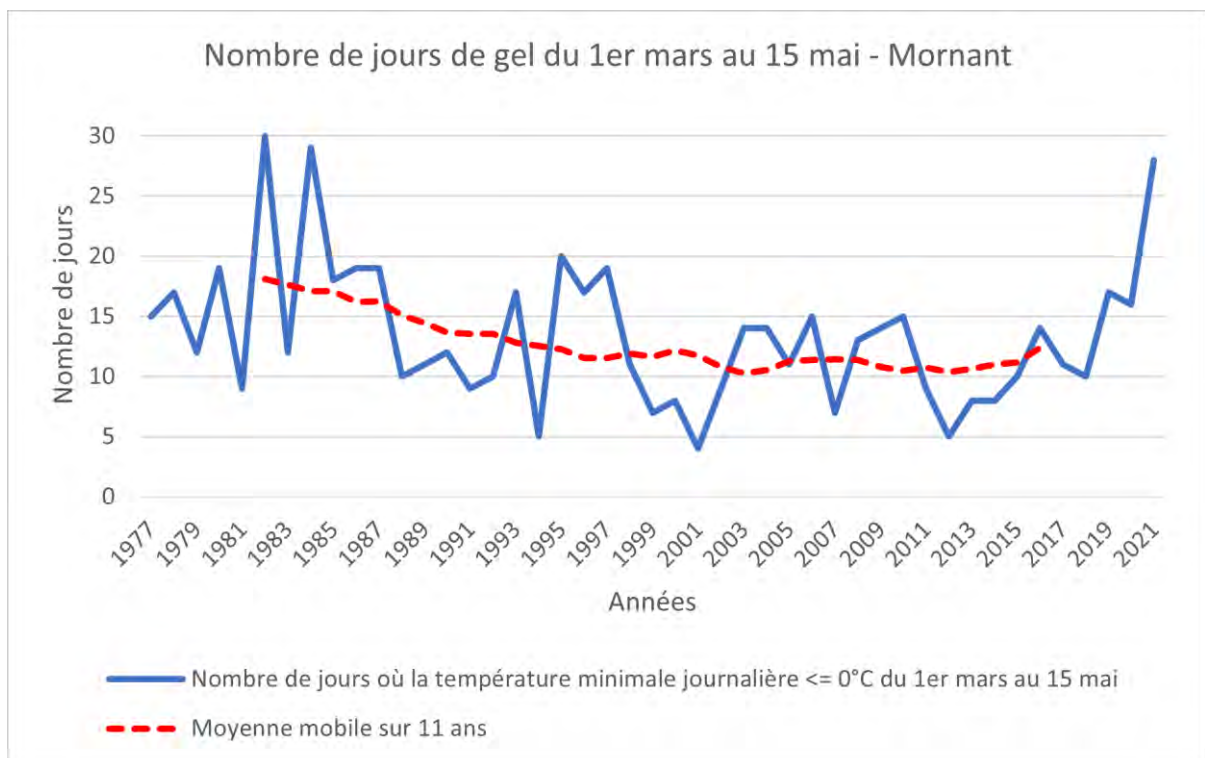
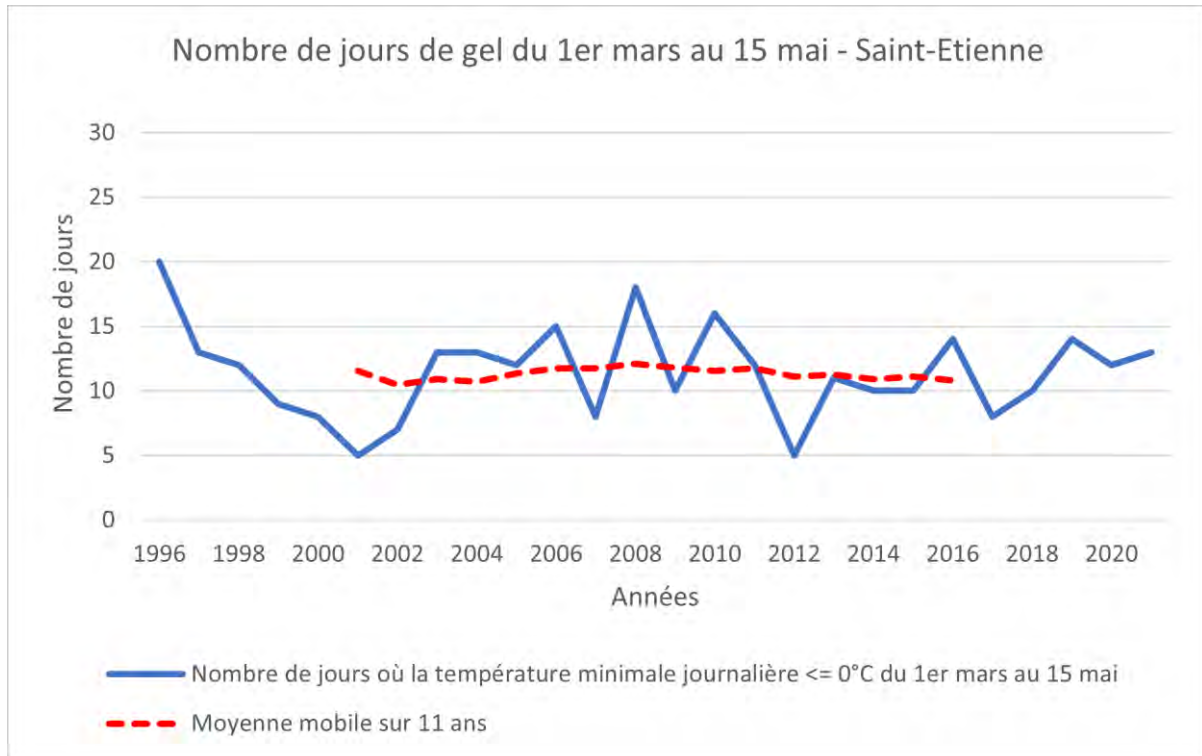


Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers



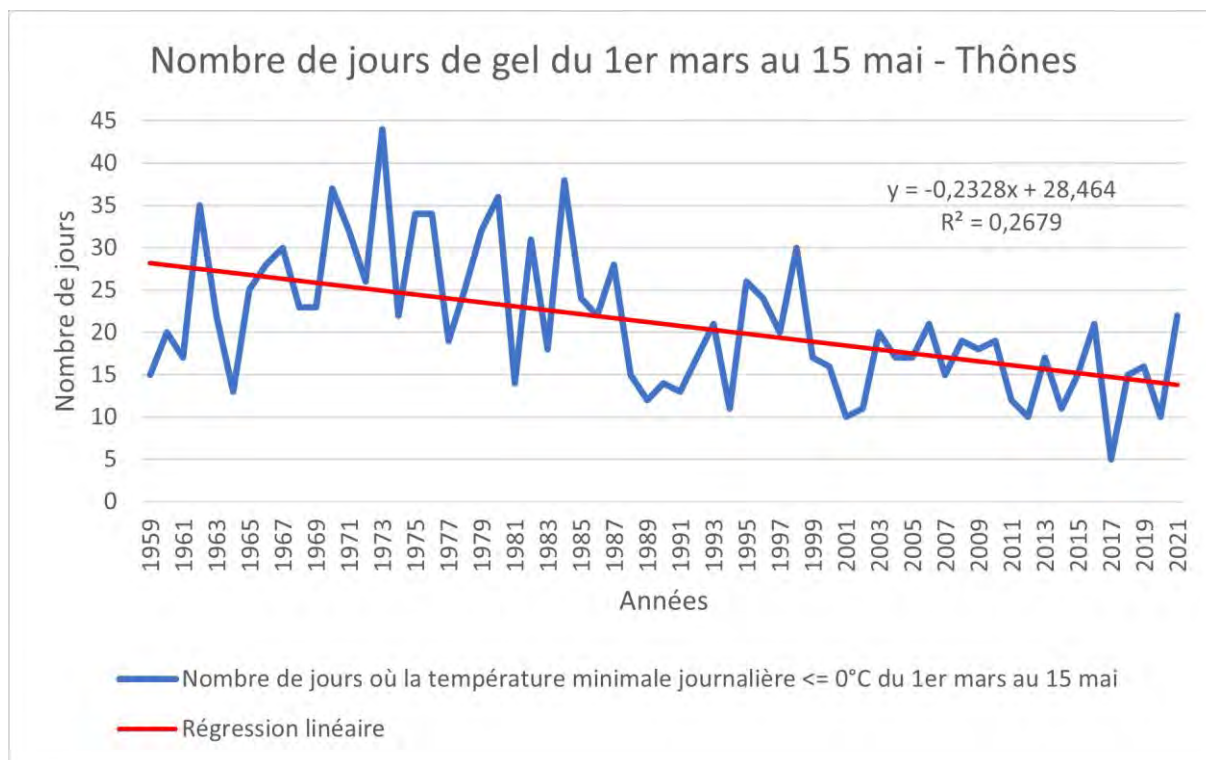


Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers





Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers



Analyse

L'évolution du risque de gel sur la vigne et les arbres observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 montre des tendances significatives pour trois stations. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution du nombre de jours de gel (nb j/décennie)	Significativité de la tendance
Aubenas (07)	-0,48	ns
Saint-Sorlin-en-Valloire (26)	-1,43	***
La-Côte-Saint-André (38)	-2,00	*
Saint-Etienne (42)	-1,04	ns
Mornant (69)	-0,21	X
Thônes (74)	-2,33	***

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Plus précisément, les stations d'Aubenas (07) et Saint-Etienne (42) sont réellement non significatives. Pour la station de Saint-Etienne (42), la faible profondeur de donnée (de 26 ans seulement) peut constituer une partie de l'explication de ce résultat. Pour la station de Mornant (69), les conditions d'application du test statistique n'étaient pas remplies (cf. « Méthodologie statistiques »). Dans ce cas, la conclusion quant à la significativité ou non de la tendance n'est pas considérée comme fiable et ne peut donc pas être avancée.



Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers



Analyse

Les stations de Saint-Sorlin-en-Valloire (26), de La-Côte-Saint-André (38) et de Thônes (74) montrent une tendance significative à la réduction du nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 15 mai :

- **-7,72 j** en 54 ans à Saint-Sorlin-en-Valloire (26)
- **-8,80 j** en 44 ans à La-Côte-Saint-André (38)
- **-14,68 j** en 63 ans à Thônes (74)

Cette nette diminution est cohérente avec l'évolution du nombre de jours de gel dans l'année (cf. « Nombre de jours de gel »).

La variation du nombre de gel entre les années est relativement élevée. L'écart entre deux années consécutives atteint même 24 jours entre 1981 et 1982 à La-Côte-Saint-André (38). Cette variabilité interannuelle fait que cette période de l'année reste sujette à des risques de gel difficilement prévisibles. Les aléas climatiques liés au gel de printemps impactent de manière significative l'équilibre financier des exploitations agricoles.

La période du 1^{er} mars au 15 mai correspond à la période de réveil de la végétation de plusieurs cultures arboricoles. Il s'agit d'une phase où les végétaux développent des organes plus sensibles aux températures froides. Pour la vigne, les gelées entre avril et mai sont les plus redoutées car elles apparaissent lorsque celle-ci a repris son cycle végétatif. Les gelées brunissent et dessèchent les bourgeons des vignes et des arbres fruitiers, pouvant entraîner la destruction complète de la production voire de la végétation (en vigne).

Les plantes ayant un développement plus précoce à cause du changement climatique, la saison printanière se trouve alors sujette au risque de gel printanier, malgré la diminution du nombre de jours à risque (Seguin, 2010). Ceci conduit à envisager des conditions climatiques moins favorables pour la fécondation et la pollinisation, en dépit du réchauffement des températures (Seguin, 2010).

Pour aller plus loin : Les dates d'apparition de différents stades phénologiques de la vigne et plus précisément sur le cépage Gamay en Beaujolais ont été étudiées sur la période 1970-2019. Les résultats montrent un avancement des dates et se trouvent dans l'Observatoire Climat-Air-Energie d'Auvergne-Rhône-Alpes (cf. « [Phénologie de la vigne](#) »).



Risque de gel sur la vigne et les arbres fruitiers



Analyse

A RETENIR

L'évolution du nombre de jours de gel entre le 1^{er} mars et le 15 mai observée en région Auvergne-Rhône-Alpes de 1959 à 2021 montre une tendance significative à la diminution pour les stations de Saint-Sorlin-en-Valloire (26), de La-Côte-Saint-André (38) et de Thônes (74).

La tendance est non significative pour la station d'Aubenas (07) et de Saint-Etienne (42). Pour la station de Mornant (69), il n'est pas possible de se prononcer.

Malgré cette tendance, l'avancement des stades phénologiques des cultures et la forte variation interannuelle du nombre de jours de gel font que le risque de gel reste une problématique pour les vignes et les arbres fruitiers.



Pour en savoir plus

ORCAE, 2020. [Phénologie de la vigne en Auvergne-Rhône-Alpes](#).

Seguin, B., 2010. Le changement climatique : conséquences pour les végétaux. In : *Quaderni*. PP 77-40. 5 janvier 2010. DOI : 10.4000/quaderni.525.



Nombre de jours très chauds l'été sur la vigne

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1951 à 2020.

🕒 Indicateur

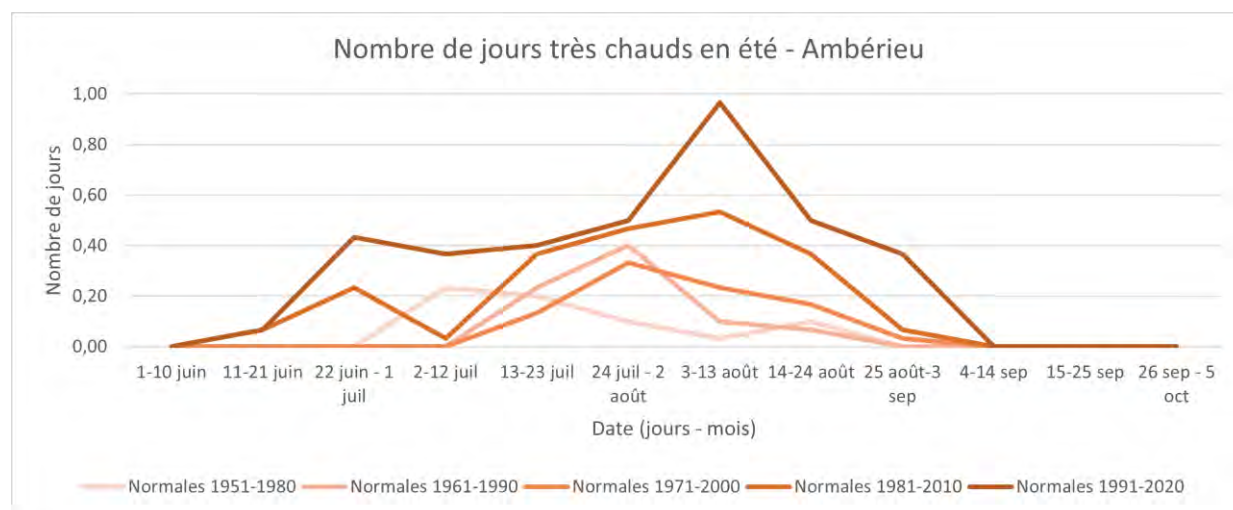
- Ambérieu (01) : 1951 – 2020
- Mirabel (07) : 1951 – 2020
- Montélimar (26) : 1951-2020
- Mâcon (69) : 1951 - 2020

🧮 Calcul de l'indicateur

Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure à 35°C par décade du 1^{er} juin au 5 octobre.

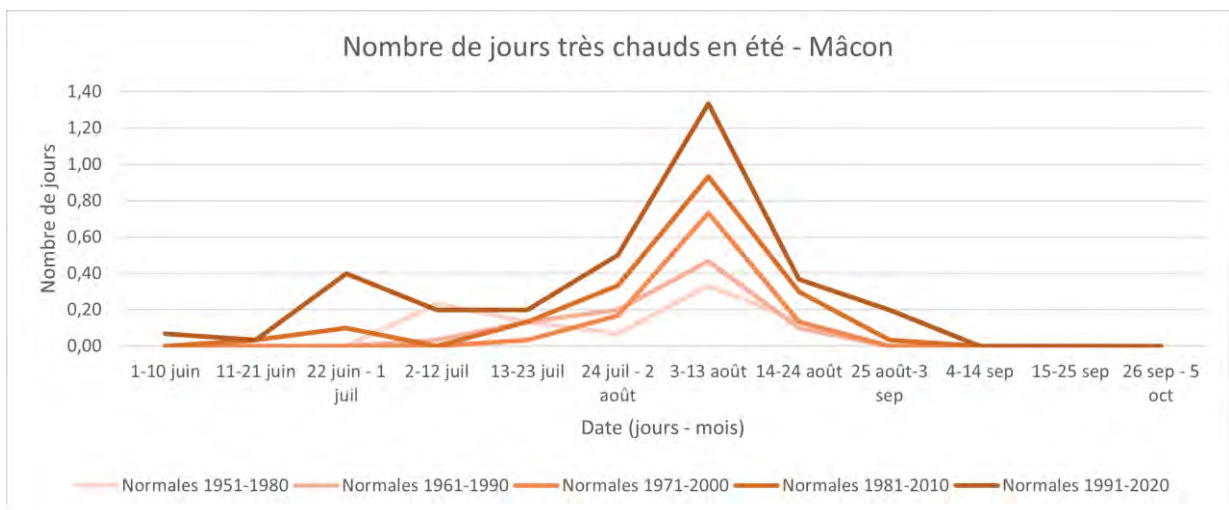
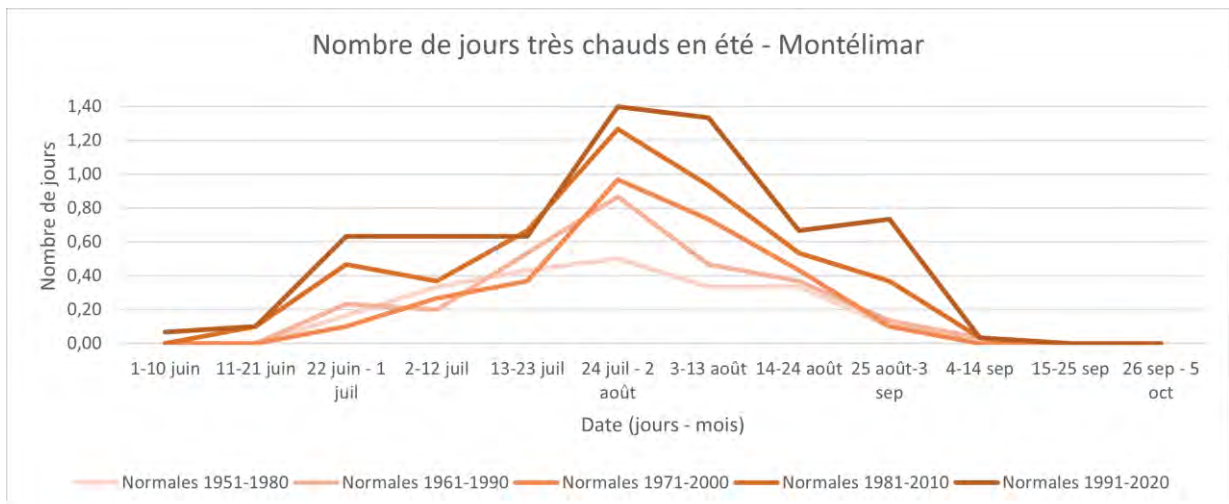
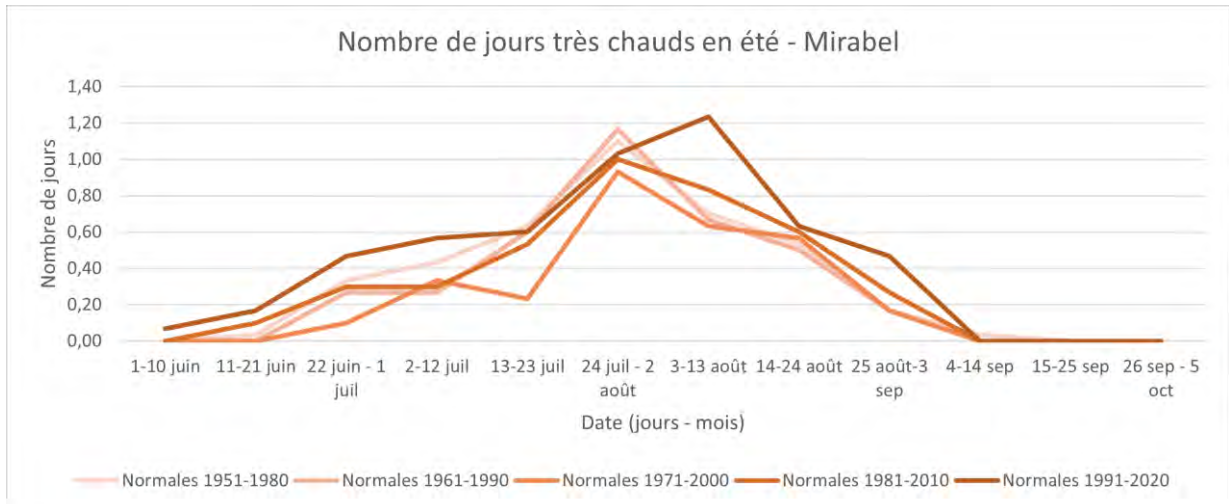
Les normales représentent les moyennes de nombre de jours calculées par décade (période de 10 jours). Une normale correspond à une période de 30 ans. Le décalage entre les normales est de 10 ans.

📈 Évolution observée





Nombre de jours très chauds l'été sur la vigne





Nombre de jours très chauds l'été sur la vigne



L'indicateur mesurant le nombre de jours avec une température maximale supérieure à 35°C a été analysé par décade. De cette manière, les périodes critiques peuvent être mises en valeur. La principale période avec le risque de température extrême le plus élevé se situe fin juillet – début août pour toutes les stations étudiées.

La représentation des normales, moyennes du nombre de jours sur 30 ans, permet d'observer l'augmentation du nombre de jours très chauds l'été entre 1961 et 2020 pour les quatre stations étudiées.

Les périodes où il fait très chaud augmentent le risque de dégât sur les ceps, les feuilles et les baies. La forte chaleur peut également causer des dégâts sur le sol. *In fine*, c'est la qualité de la production qui est impactée.

Au fil du temps, la chaleur entraîne un blocage des éléments nutritifs, un risque de grillage du raisin ainsi que la chute des feuilles puisque le processus de photosynthèse est ralenti.

La qualité ainsi que la quantité de production sont impactées négativement par les fortes chaleurs. Les dégâts de structure peuvent également entraîner des répercussions sur la pérennité du cep de vigne. Les constats sont les mêmes en arboriculture avec une période critique aux alentours du 20 juin. Il y a des risques de coups de soleil sur les pommes (tache brune sur la peau des fruits avec des tissus qui se nécrosent et pourrissent) et de folletage du poirier (brunissement et dessèchement brutal d'une partie du feuillage) de plus en plus importants.

Le choix des variétés devra donc s'orienter sur des cépages ayant une résistance accrue au stress thermique.

L'impact négatif de trop fortes chaleurs estivales sur la vigne va certainement redistribuer la carte des vignobles (Bois, 2013).

A RETENIR

L'évolution du nombre de jours très chauds l'été de 1961 à 2020 montre une augmentation pour les quatre stations étudiées (non testé statistiquement). La période la plus à risque se trouve entre le 24 juillet et le 24 août.

Les fortes chaleurs ont un impact négatif sur la vigne car elles entraînent des dégâts sur les ceps ce qui implique une réduction de la qualité de la production.



Bois, B., 2013. Impacts du changement climatique sur les vignobles et remèdes proposés. In : *Météorologie*. N°38, PP 45-56.



Indice de Winkler

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021.

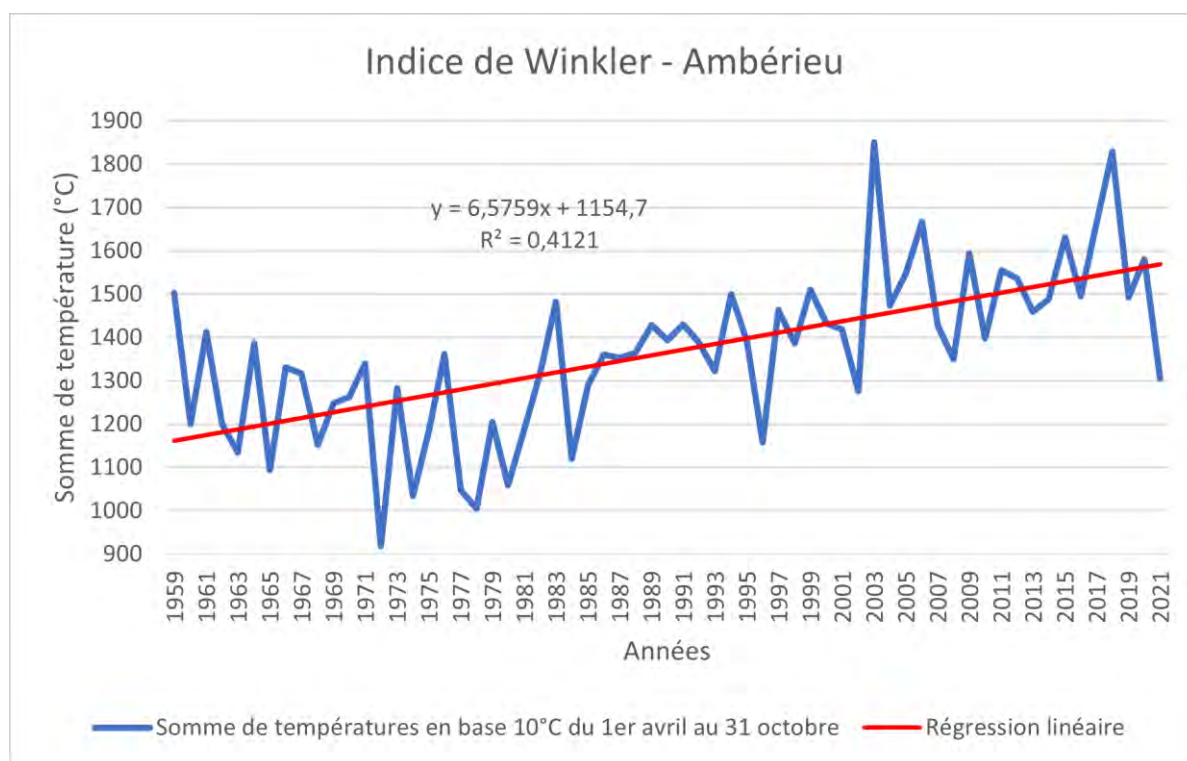
🕒 Indicateur

- Ambérieu (01) : 1959 – 2021
- Mirabel (07) : 1986 – 2021
- Montélimar (26) : 1959-2021
- Mâcon (69) : 1959 - 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

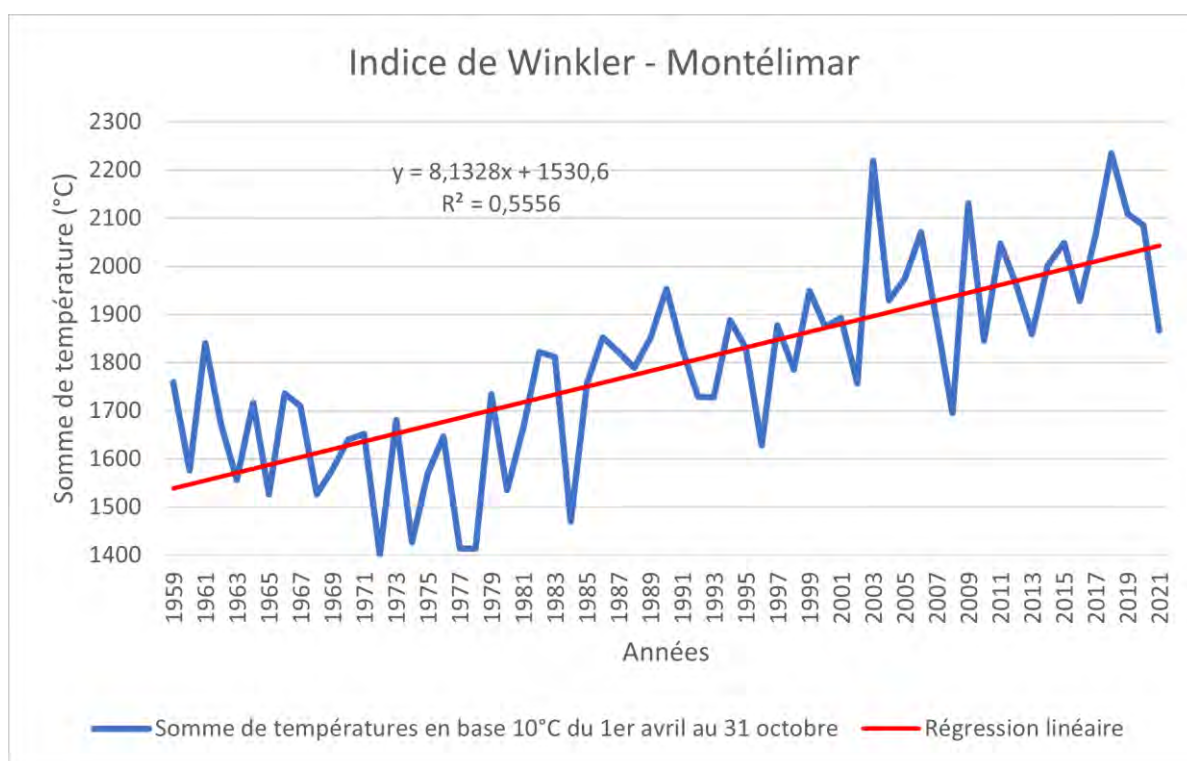
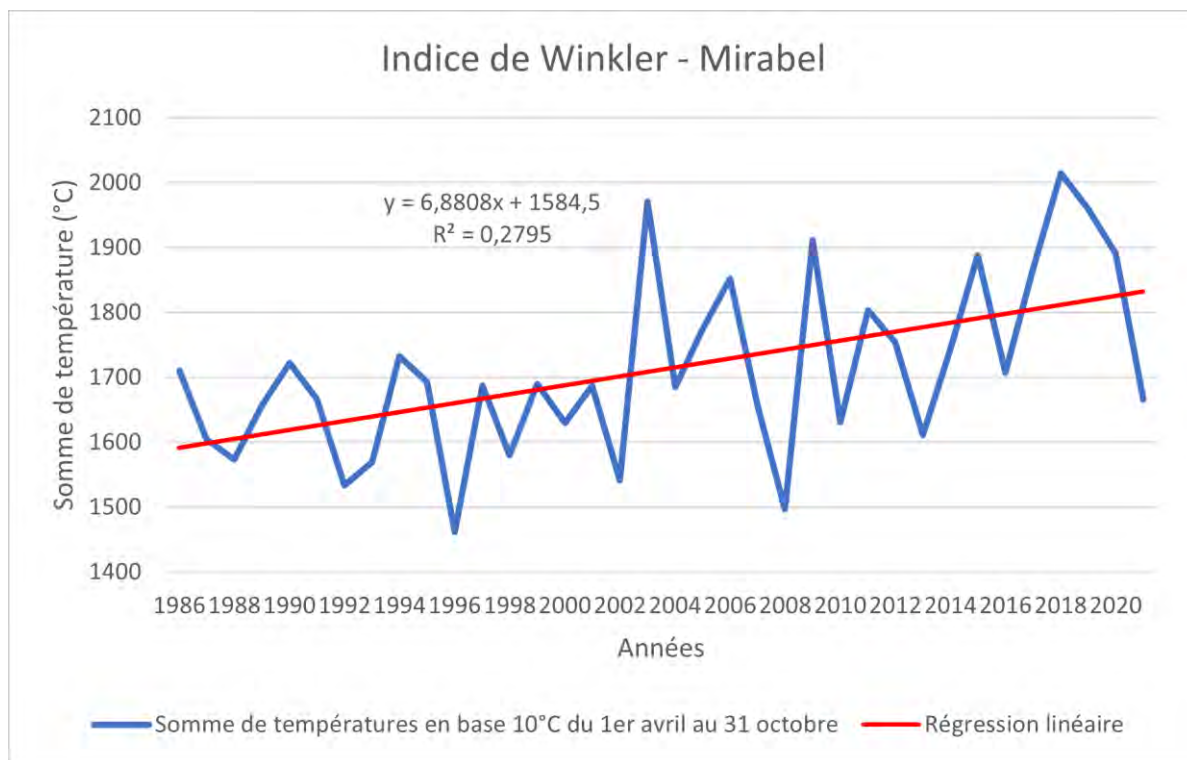
Somme des températures moyennes journalières en base 10°C du 1^{er} avril au 31 octobre.

📈 Évolution observée



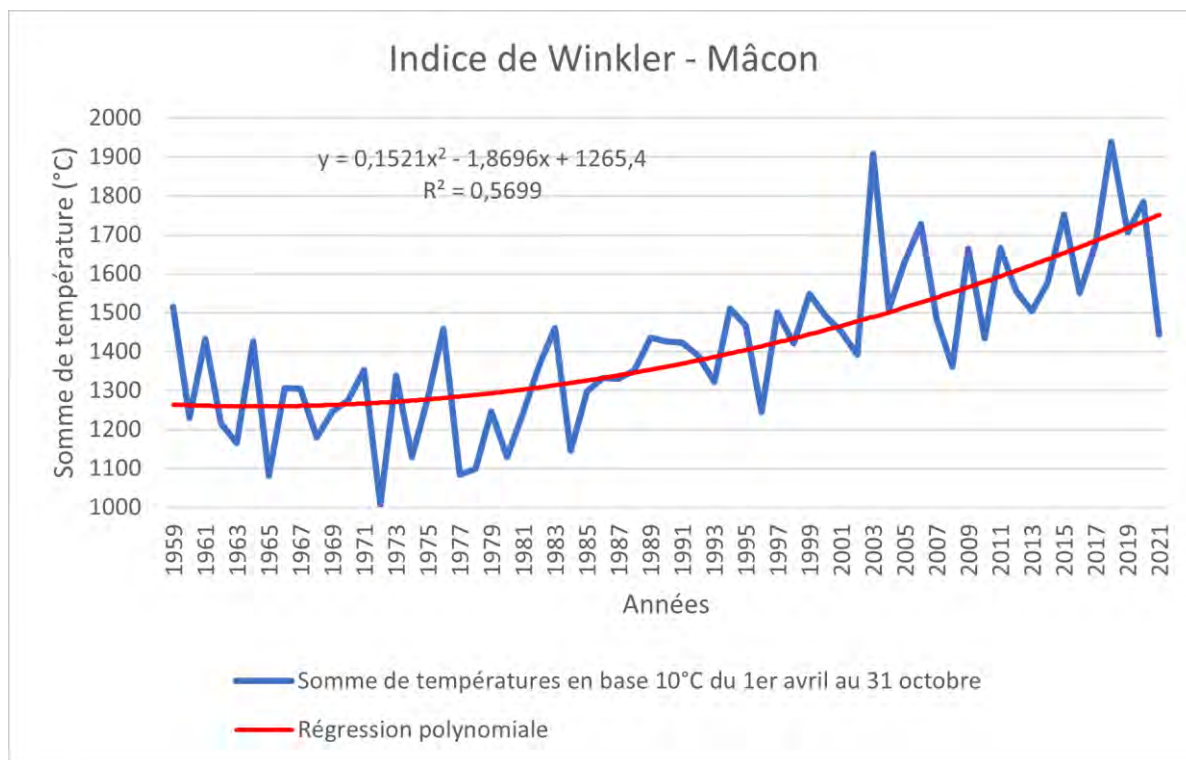


Indice de Winkler





Indice de Winkler



Analyse

L'Indice de Winkler, appelé aussi échelle Winkler ou Winkler Régions est une technique de classification du climat des régions de vignobles, par la somme de la chaleur ou les degrés jours de croissance. Cet indicateur a été introduit en 1935 par Amerine et Winkler (Bonnefoy, 2013). Les zones géographiques sont divisées en cinq régions climatiques. Cet indice bioclimatique est fortement corrélé avec les différents stades phénologiques de la vigne ainsi qu'avec la composition des baies (niveau de sucre, acidité...) (Le Roux *et al.*, 2017).

Classes de l'indice thermique des « degrés-jours » de Winkler (Bonnefoy, 2013)

Région	°CJ	Exemples
V	> 2205	Palerme (I)
IV	1927 à 2205	Le Cap (ZA)
III	1650 à 1926	Montpellier (F)
II	1371 à 1649	Budapest (H)
I	< 1371	Dijon (F)

Le calcul de l'indice de Winkler ne s'appuie que sur la température contrairement à l'indice de Huglin qui prend en compte la durée des jours. Même s'il est donc moins précis et avec un certain nombre de limites, il permet une bonne prise en compte de l'évolution tendancielle des températures liée au changement climatique.



Indice de Winkler



L'évolution de la somme de températures du 1^{er} avril au 31 octobre observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 pour chaque station montre des tendances significatives. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution de la somme de températures (°CJ/décennie)	Significativité de la tendance
Ambérieu (01)	65,76	***
Mirabel (07)	68,81	***
Montélimar (26)	81,37	***
Mâcon (69)	78,63	***

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Un fort accroissement de l'indice de Winkler est observé pour les quatre stations étudiées :

- **+414,29°CJ** (base 10°C) en 63 ans à Ambérieu (01)
- **+247,72°CJ** (base 10°C) en 36 ans à Mirabel (07)
- **+512,63°CJ** (base 10°C) en 63 ans à Montélimar (26)
- **+495,37°CJ** (base 10°C) en 63 ans à Mâcon (71)

Une accélération de ce phénomène est même observée pour la station de Mâcon (69). L'évolution de l'indice de Winkler est mieux représentée par une régression polynomiale pour cette station. L'augmentation de la somme des températures n'est pas linéaire mais présente une accélération significative, avec un risque d'erreur inférieur à 1%. Les conséquences du changement climatique dans ce territoire sont donc d'autant accélérées.

Les quatre stations font l'objet d'un changement de régions climatiques causé par l'augmentation de la somme des températures. Cette augmentation est par ailleurs la plus marquée à partir des années 80. La station d'Ambérieu (01) est passée de la classe I dans les années 60 (environ 1200°CJ) à la classe II aujourd'hui (environ 1500°CJ). La station de Mirabel (07) est caractérisée par un changement moins marqué puisque la profondeur des données est plus faible, 36 ans au lieu de 63 pour les autres stations. Toutefois, la station passe de la limite entre la classe II et la classe III (environ 1650°CJ) vers 1985 au milieu de la classe III (environ 1800°CJ) aujourd'hui. La station de Montélimar (26) est passée de la limite entre la classe II et la classe III (environ 1600°CJ) dans les années 60 à la classe IV (environ 2000°CJ) aujourd'hui. L'évolution thermique la plus marquée est celle de la station de Mâcon (69). Elle est passée de la classe I (environ 1250°CJ) dans les années 60 à la moitié inférieure de la classe III (environ 1700°CJ) aujourd'hui.

Cet apport de chaleur supplémentaire est parallèle à la hausse des températures moyennes annuelles (cf. « Température moyenne annuelle »). Ceci a pour effet de raccourcir les phases phénologiques et donc d'avancer les stades clés de la vigne. Le débourrement, stade critique de la vigne, est notamment avancé dans certains territoires. Cet indicateur permet de montrer que malgré un nombre de jours de gel réduit (cf. « Risque de gel pour la vigne et les arbres »), l'avancement des stades phénologiques ne diminue pas pour autant le risque de gel.



Indice de Winkler



Pour aller plus loin : L'avancement des stades phénologiques de la vigne est un impact du changement climatique sur l'agriculture qui a été étudié par l'observatoire ORCAE (cf. « [Phénologie de la vigne](#) »).

A RETENIR

Le climat viticole des territoires étudiés en région Auvergne-Rhône-Alpes s'est considérablement modifié au cours des dernières décennies.

L'indice de Winkler a fait changer les vignobles de ces territoires d'une à trois classes climatiques. L'augmentation de la somme des températures est significative dans les quatre stations étudiées. Un phénomène d'accélération est même mesurable pour la station de Mâcon (69).

Cette hausse entraîne un avancement des stades phénologique de la vigne.



Le Roux, R., De Rességuier, L., Katurji, M., Zavar-Reza, P., Sturman, A., Van Leeuwen, C., Quénot, H., 2017. Analyse multiscalaire de la variabilité spatiale et temporelle des températures à l'échelle des appellations viticoles de saint-émilion, pomerol et leurs satellites. In : *Climatologie*. Vol 14, PP 1 -17. 23 janvier 2018.

Bonnefoy, C., 2013. Observation et modélisation spatiale de la température dans les terroirs viticoles du Val de Loire dans le contexte du changement climatique. In : *Université de Rennes 2*.

ORCAE, 2022. [Phénologie de la vigne](#).



Nombre de jours échaudants au printemps

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021.

🕒 Indicateur

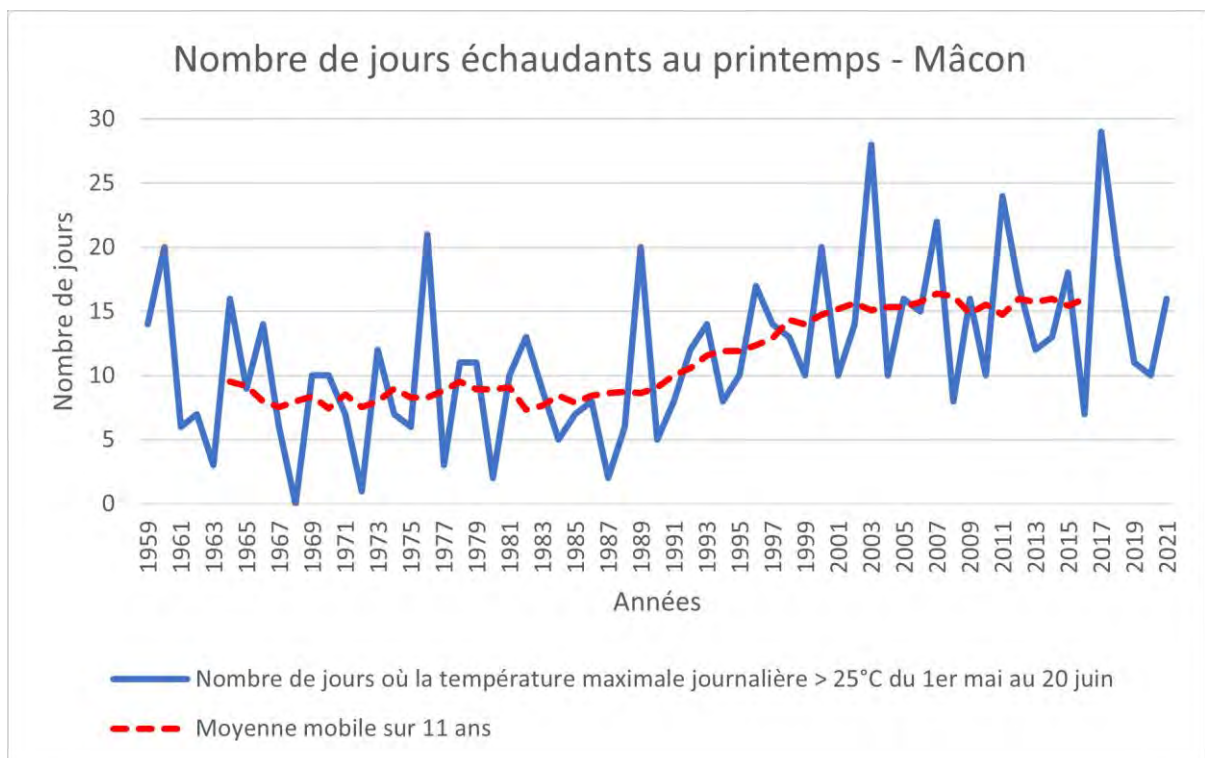
- Mâcon (01) : 1959 - 2021
- Paray-sous-Briailles (03) : 1969 – 2021
- Montélimar (26) : 1959-2021
- Saint-Etienne (42) : 1959 – 2021
- Le Puy (43) : 1965 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1959 - 2021

🧮 Calcul de l'indicateur

Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure à 25°C du 1^{er} mai au 20 juin.

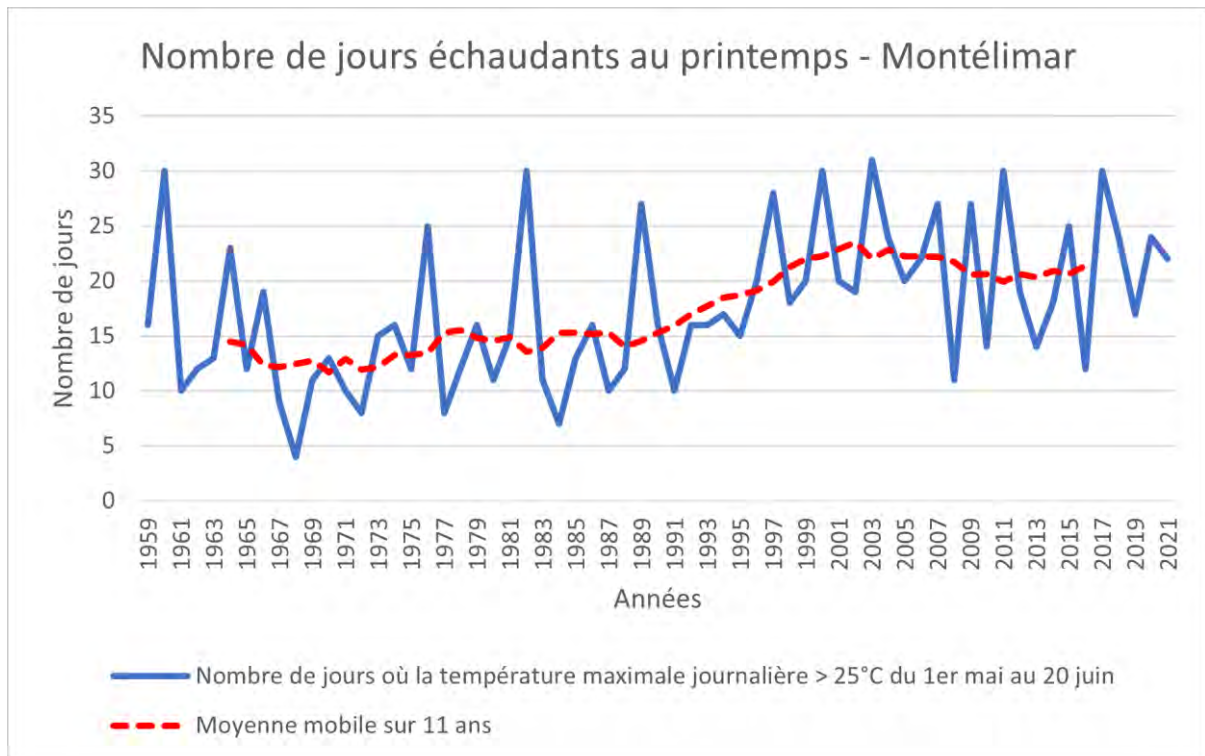
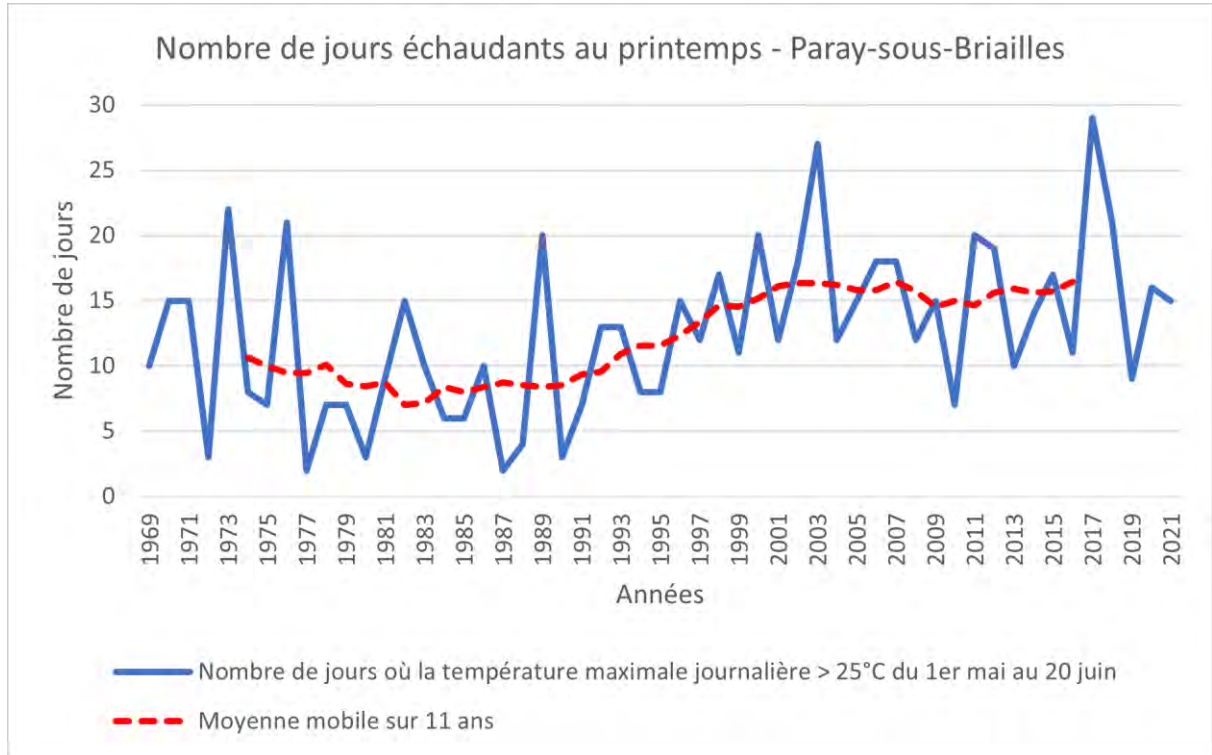
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



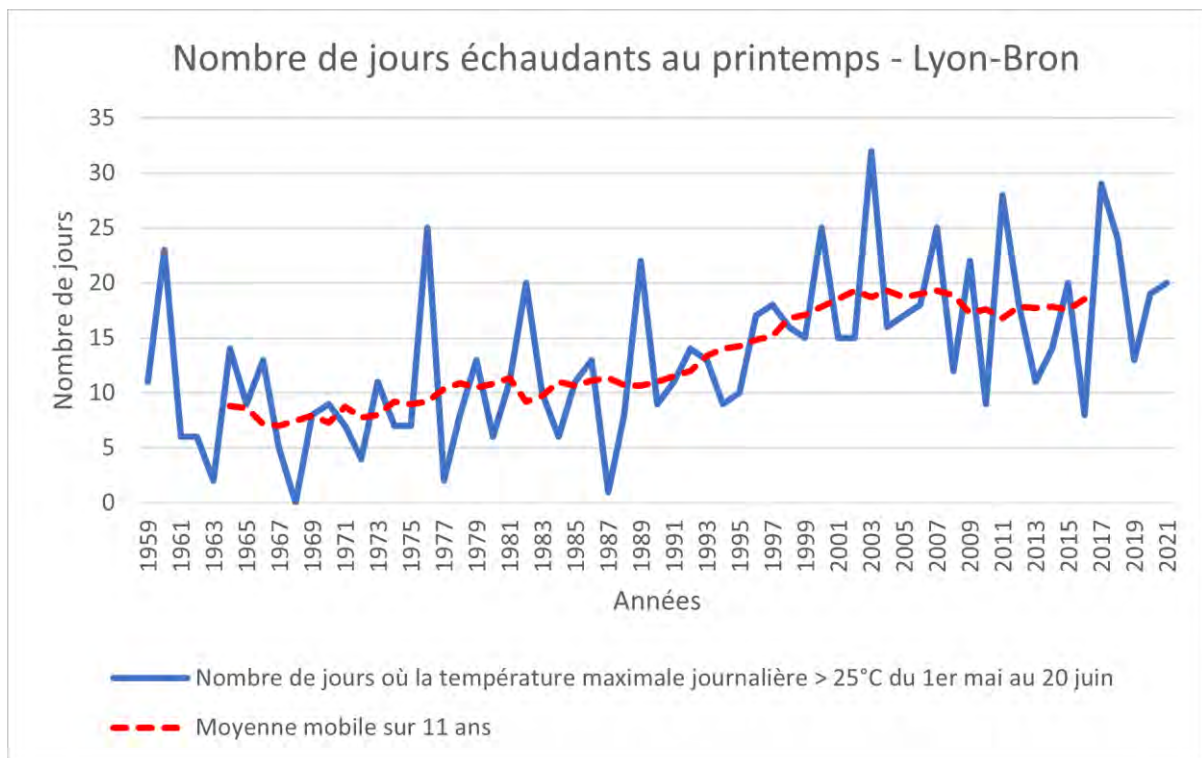
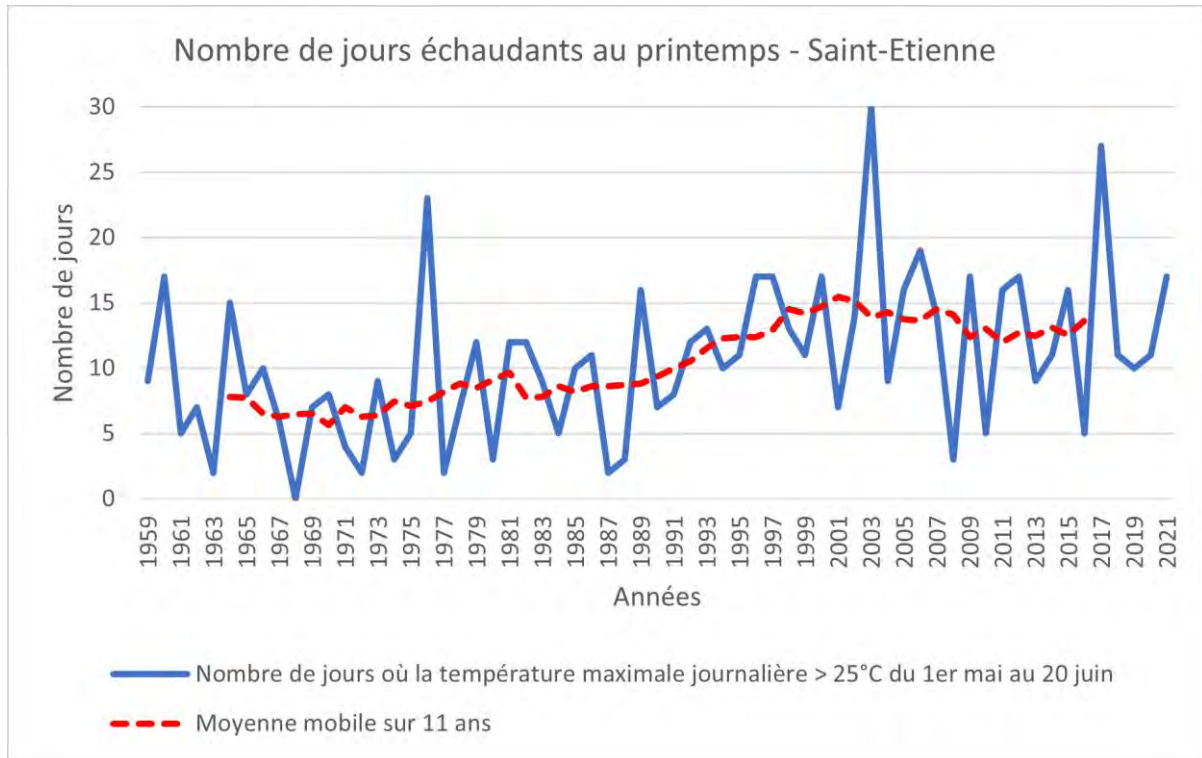


Nombre de jours échaudants au printemps



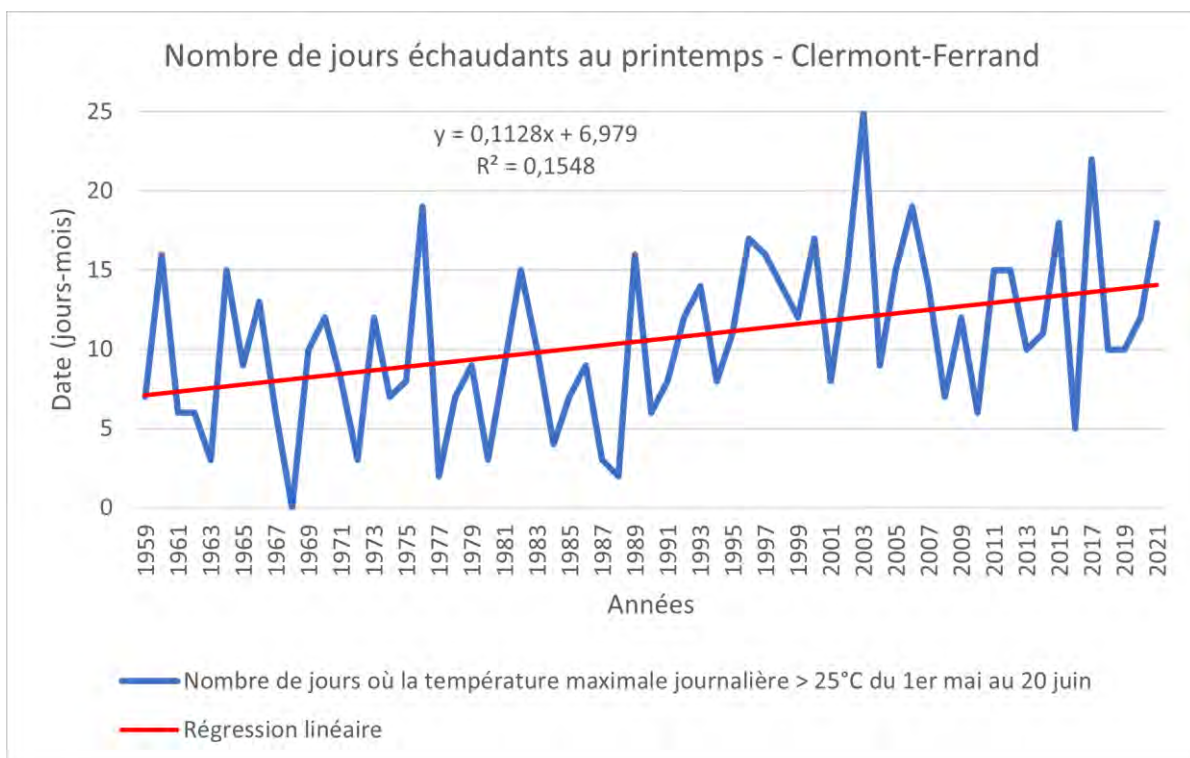
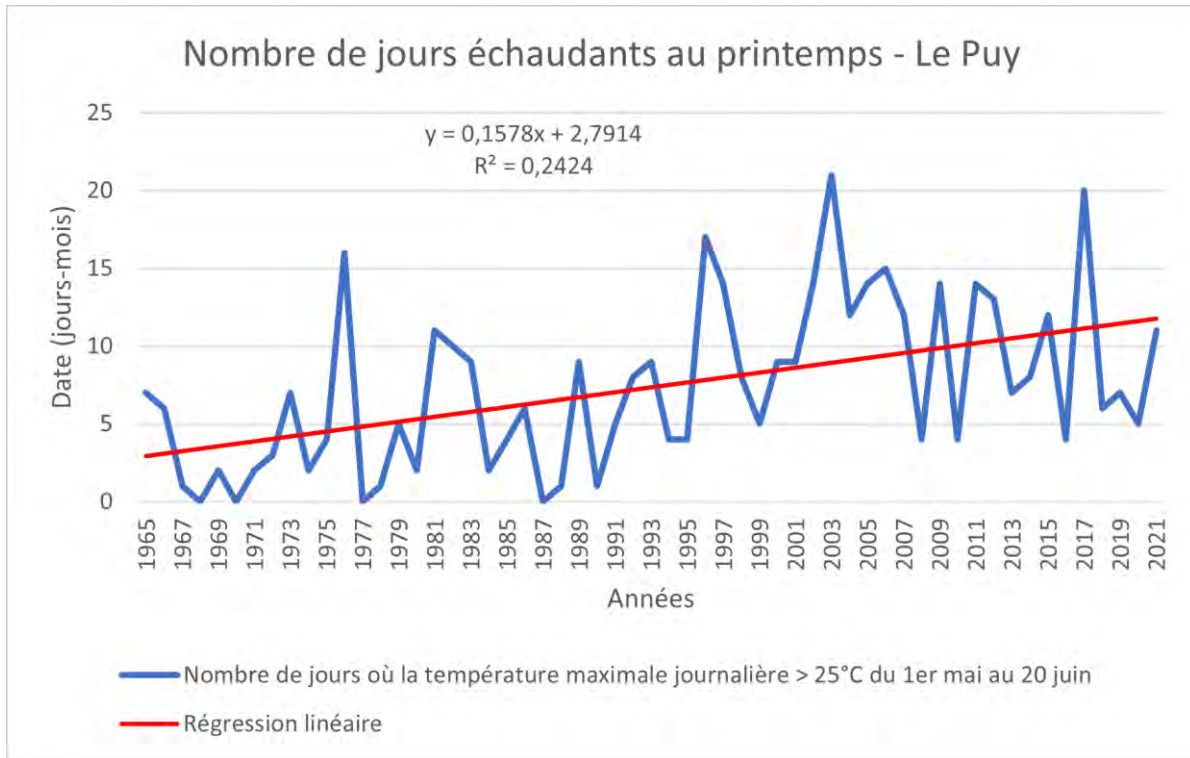


Nombre de jours échaudants au printemps





Nombre de jours échaudants au printemps





Nombre de jours échaudants au printemps



L'évolution du nombre de jours où la température maximale est supérieure à 25°C observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 montre des tendances significatives seulement pour deux stations. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution du nombre de jours échaudants (nb j/décennie)	Significativité de la tendance
Paray-sous-Briailles (03)	1,67	X
Montélimar (26)	1,66	X
Saint-Etienne (42)	1,35	X
Le Puy (43)	1,58	***
Clermont-Ferrand (63)	1,13	**
Lyon-Bron (69)	2,11	X
Mâcon (01)	1,44	X

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Pour les stations de Paray-sous-Briailles (03), Montélimar (26), Saint-Etienne (42), Lyon-Bron (69) et Mâcon (01), les conditions d'application du test statistique n'étaient pas remplies (cf. « Méthodologie statistiques »). Dans ce cas, la conclusion quant à la significativité ou non de la tendance n'est pas considérée comme fiable et ne peut donc pas être avancée.

Une augmentation significative du nombre de jours échaudants est tout de même visible pour certaines stations :

- **+9,01 jours** en 57 ans à Le Puy (43)
- **+7,12 jours** en 63 ans à Clermont-Ferrand (63)

Il est également possible d'observer une forte variabilité interannuelle pour toutes les stations.

Les céréales à paille, notamment le blé, sont sensibles au phénomène d'échaudage thermique, accident de croissance des grains dû aux températures élevées. Une température supérieure à 25°C durant la phase de sensibilité qui correspond à celle du remplissage des grains peut également entraîner une mauvaise maturation de l'amande. Une augmentation de la température au printemps et en été peut entraîner un plafonnement des rendements (Brisson *et al.*, 2010).

Des températures élevées ont également des impacts sur la phénologie des céréales. Les stades peuvent être avancés.

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

La conclusion de l'augmentation des risques d'échaudage se fait à cycle cultural constant alors que l'avancement des calendriers culturaux (choix de variété avec une épiaison précoce) provoqué par l'élévation des températures réduit l'exposition des cultures à ces jours échaudants.



Nombre de jours échaudants au printemps



Analyse

Pour aller plus loin : L'augmentation significative du nombre de jours échaudants est une des causes avancées quant au plafonnement des rendements en blé. Cet impact du changement climatique sur l'agriculture a été étudié par l'observatoire ORCAE (cf. « [Rendement en blé tendre](#) »).

A RETENIR

L'évolution du nombre de jours échaudants ne permet de conclure sur la significativité de la tendance seulement pour les stations de Le Puy (43) et de Clermont-Ferrand (63). Pour ces stations, il y a une augmentation significative du nombre de jours échaudants de respectivement environ +9 jours et +7 jours.

Ces tendances alertent sur les risques en phase de remplissage des grains notamment pour le blé. Un défaut de croissance des grains et de maturation de l'amande peut entraîner un plafonnement voire une baisse des rendements.



Pour en savoir plus

Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F-X., et al., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe ? A comprehensive data analysis for France. In : *Field Crops Research*. N°119, PP 201-202. DOI : 10.1016/j.fer.2010.07.012.

ORCAE, 2020. [Rendement en blé tendre](#).



Choix variétaux de maïs

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1959 à 2021.

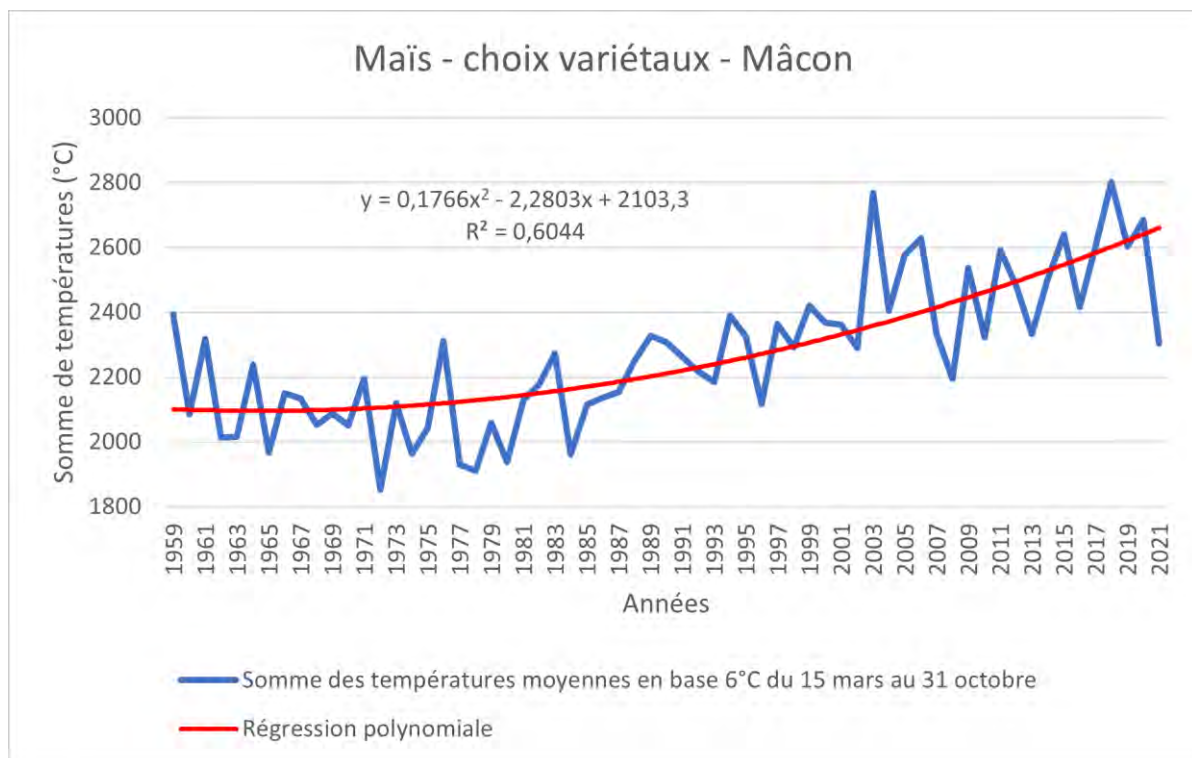
🕒 Indicateur

- Mâcon (01) : 1959 - 2021
- Paray-sous-Briailles (03) : 1969 – 2021
- Montélimar (26) : 1959-2021
- Saint-Etienne (42) : 1977 – 2021
- Le Puy (43) : 1982 – 2021
- Clermont-Ferrand (63) : 1959 – 2021
- Lyon-Bron (69) : 1982 - 2021

📊 Calcul de l'indicateur

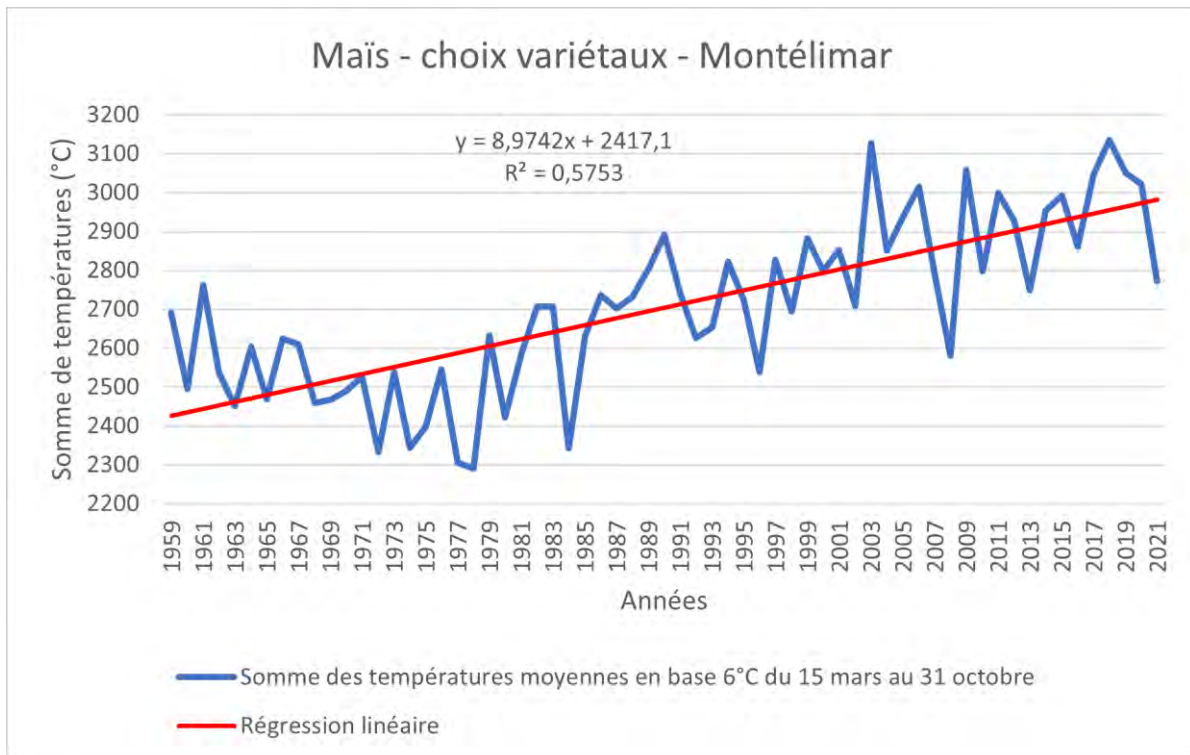
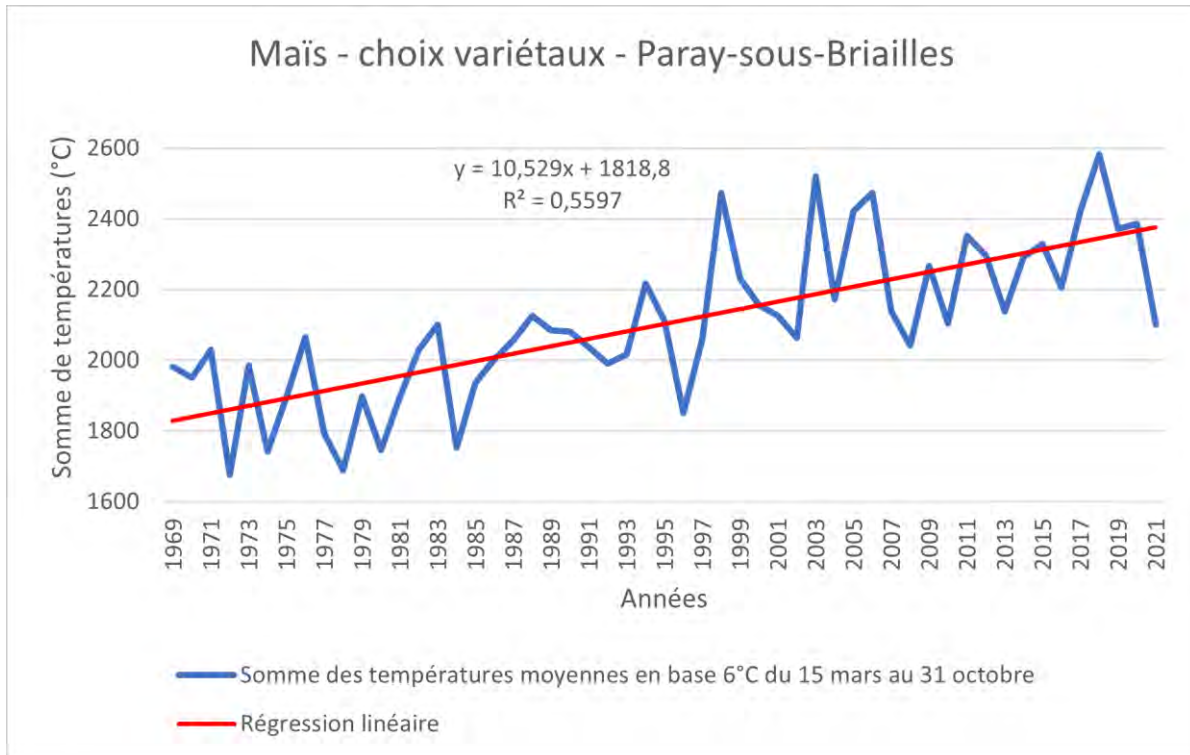
Somme des températures moyennes journalières en base 6°C écartées à 30°C du 15 mars au 31 octobre.

📈 Évolution observée



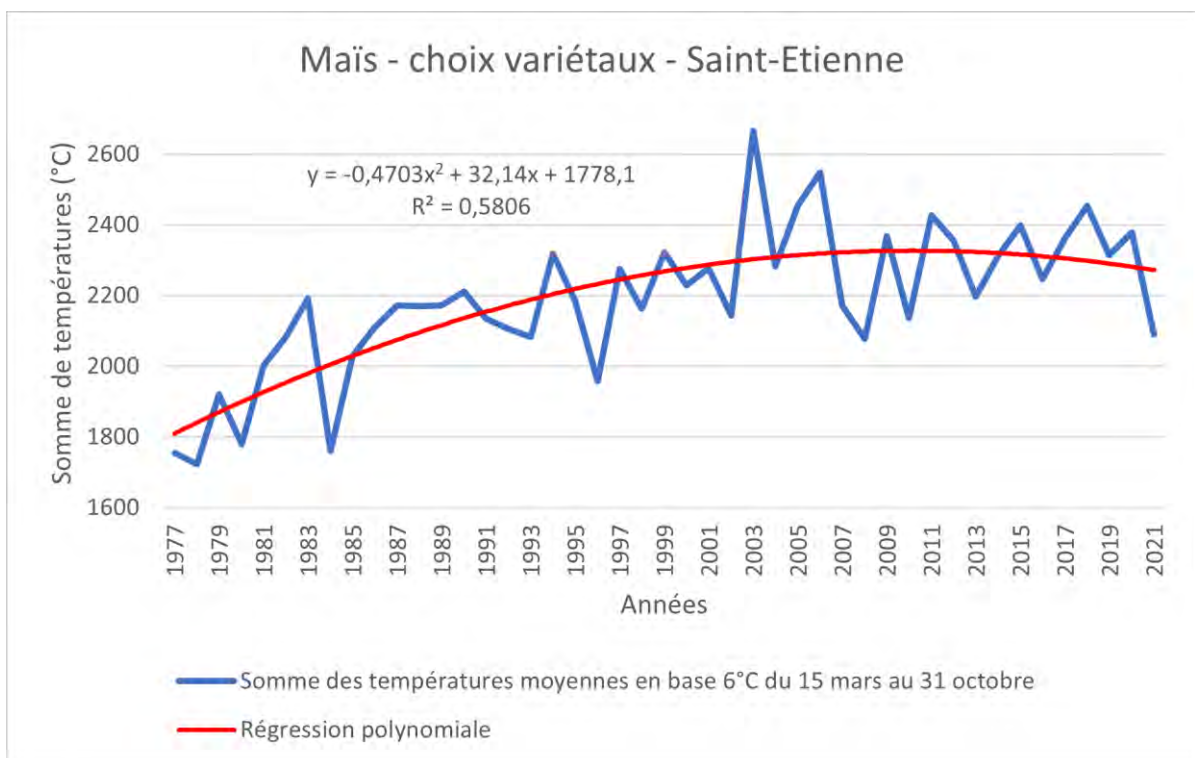
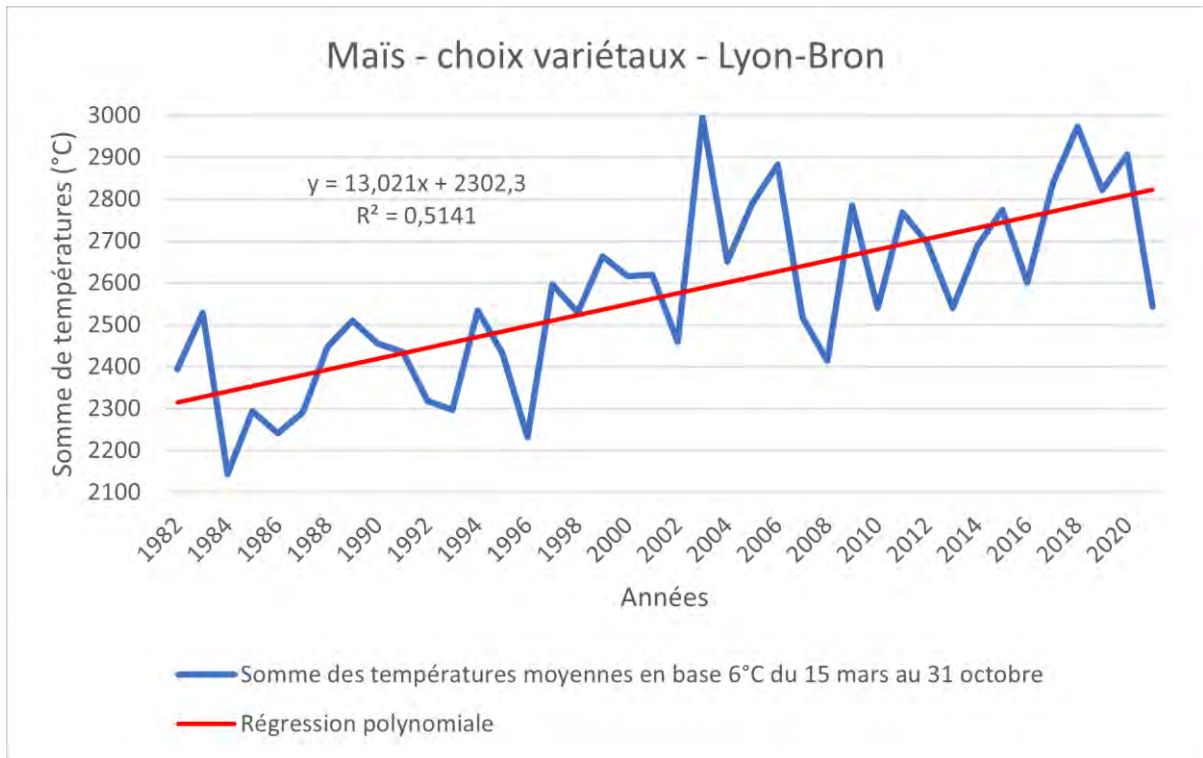


Choix variétaux de maïs



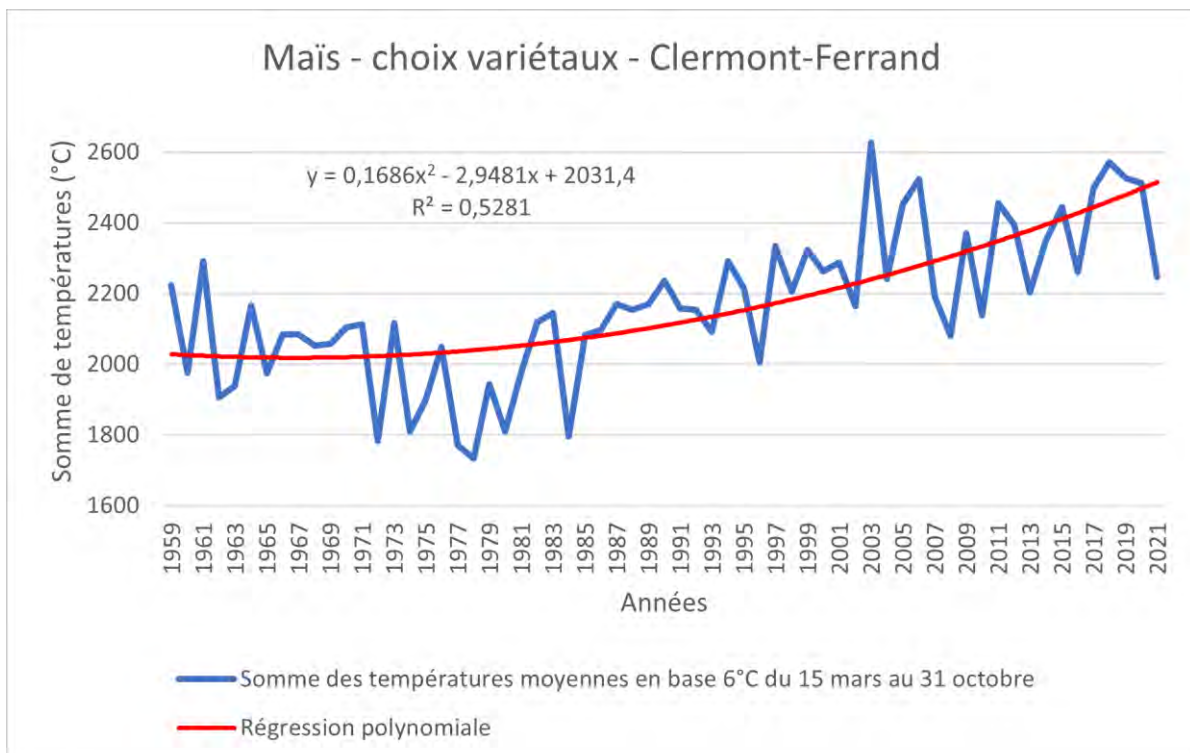
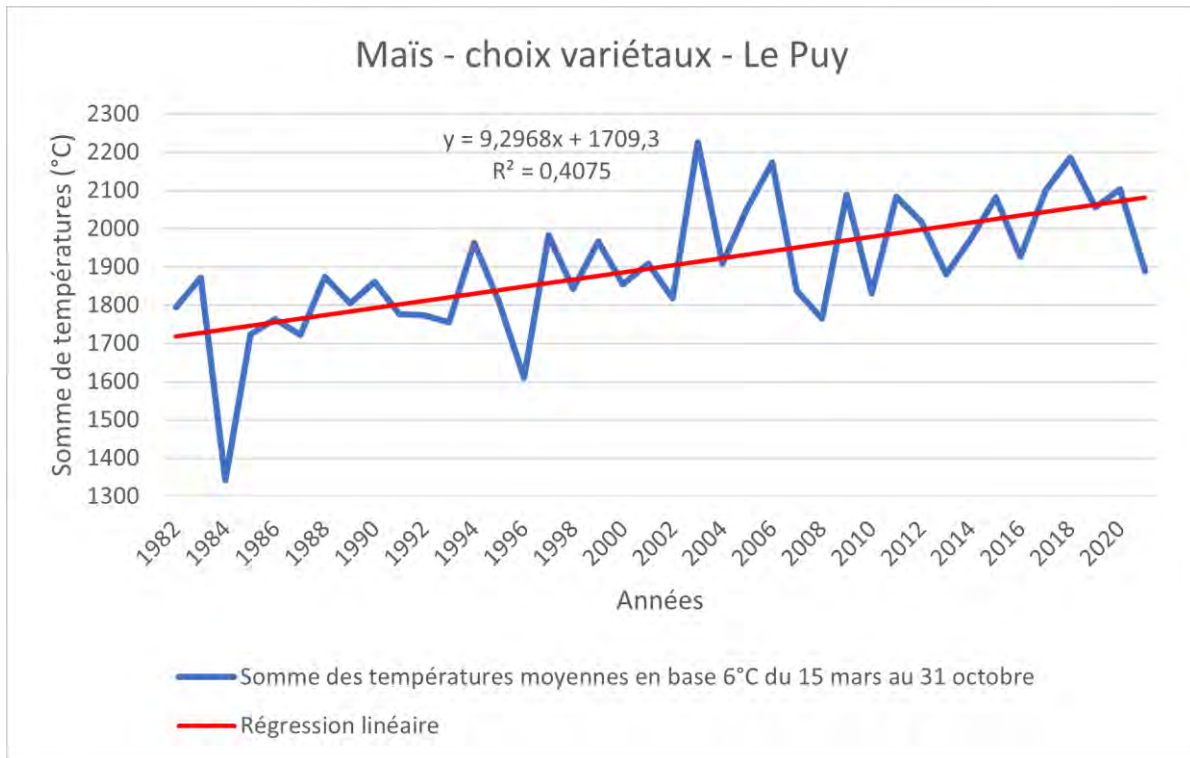


Choix variétaux de maïs





Choix variétaux de maïs





Choix variétaux de maïs



L'évolution de la somme des températures moyennes en base 6°C du 15 mars au 31 octobre observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1959 montre des tendances significatives pour chaque station étudiée*. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution de la disponibilité thermique pour le maïs (°CJ/décennie)	Significativité de la tendance
Paray-sous-Briailles (03)	105,29	***
Montélimar (26)	89,74	***
Saint-Etienne (42)	105,01	***
Le Puy (43)	92,97	***
Clermont-Ferrand (63)	78,42	***
Lyon-Bron (69)	130,21	***
Mâcon (01)	90,20	***

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

*Choix d'une large période afin de couvrir l'ensemble des situations de la région. Toutefois, pour certaines stations d'altitude comme celles de Saint-Etienne (42), de Le Puy (43) ou de Clermont-Ferrand (63), la période correspondant à la culture du maïs commencerait plutôt au 10 avril, voire au 20-30 avril pour Le Puy (63).

Un fort accroissement de la disponibilité thermique est observé pour toutes les stations étudiées :

- **+558,04°CJ** (base 6°C) en 53 ans à Paray-sous-Briailles (03)
- **+565,36°CJ** (base 6°C) en 63 ans à Montélimar (26)
- **+472,55°CJ** (base 6°C) en 45 ans à Saint-Etienne (42)
- **+371,88°CJ** (base 6°C) en 40 ans à Le Puy (43)
- **+494,05°CJ** (base 6°C) en 63 ans à Clermont-Ferrand (63)
- **+520,84°CJ** (base 6°C) en 40 ans à Lyon-Bron (69)
- **+568,26°CJ** (base 6°C) en 63 ans à Mâcon (01)

Une accélération de ce phénomène est même observée pour les stations de Clermont-Ferrand (63) et de Mâcon (01). En revanche, il s'agit d'un ralentissement observé pour la station de Saint-Etienne (42). L'évolution de la disponibilité thermique pour le maïs est mieux représentée par une régression polynomiale pour ces stations. L'augmentation de la somme des températures n'est pas linéaire mais présente une accélération significative, avec un risque d'erreur inférieur à 1%. Les conséquences du changement climatique dans ce territoire sont donc d'autant accélérées.

Les tendances à la hausse des degrés-jours de croissance du maïs sont à mettre en parallèle de l'augmentation des températures annuelles (cf. « Température moyenne annuelle »).



Choix variétaux de maïs



L'atteinte des stades de croissance de maïs correspond à un besoin donné en accumulation de chaleur (somme de températures en base 6°C) depuis le semis. Les variétés de maïs sont classées en groupes de précocité / indices de précocité en fonction de leurs besoins en chaleur pour arriver à maturité. Le choix de l'indice de précocité doit être adapté en fonction du contexte (date de semis moyenne, date de 1^{ère} gelée d'automne en parallèle de la date de récolte de l'indice). Le tableau récapitulatif des différents groupes de précocité et des besoins en degrés-jours associés est présent ci-dessous :

	Maïs grain				Maïs ensilage
	Besoins en degrés-jours (°CJ) du semis à une teneur en eau du grain de:				Besoins en degrés-jours (°CJ) du semis au stade 32%MS plante entière
	30%	32%	35%	38%	
G0: Très précoce	< 1720	< 1700	< 1620	< 1560	1370 à 1415
G1: Précoce	1720 à 1780	1680 à 1740	1620 à 1680	1560 à 1620	825 à 870
G2: 1/2 Précoce	1780 à 1840	1740 à 1800	1680 à 1740	1620 à 1680	1490 à 1570
G3: 1/2 Précoce - 1/2 Tardif	1840 à 1910	1800 à 1870	1740 à 1810	1680 à 1750	1560 à 1615
G4: 1/2 Tardif	1910 à 1980	1870 à 1940	1810 à 1880	1750 à 1820	1655 à 1700
G5: Tardif	1980 à 2055	1940 à 2015	1880 à 1955	1820 à 1895	
G6: Très tardif	2055 à 2130	2015 à 2090	1955 à 2030	1895 à 1970	

(Source : ORACLE Grand-Est, Arvalis)

La nette augmentation de la somme des températures causée par le réchauffement climatique impose de revoir les choix de variétés dans la région et d'avancer les dates de semis (de la Torre et Benoît, 2004). La part des variétés précoces de maïs fourrage diminue tandis que la part des variétés tardives augmente. Cette évolution traduit l'adaptation des agriculteurs au changement climatique (Arvalis, 2011).

A RETENIR

L'évolution des degrés-jours de croissance du maïs montre une augmentation significative pour toutes les stations étudiées. Par conséquent, à pratiques constantes, on observe un avancement des stades phénologiques, avec une date de maturité plus précoce. Avec l'évolution des températures, les dates de semis peuvent être avancées (si sol réchauffé et absence de risque de gel). Ces deux facteurs impactent le choix de précocité variétale, avec la culture possible de variétés plus tardives (potentiel de rendement supérieur), sous réserve de bonnes conditions hydriques.



Arvalis, 2011. Si le climat se réchauffe, c'est bon pour le maïs fourrage. In : *Arvalis-Infos*. 5 octobre 2011.

De la Torre, C., Benoît, M., 2004. Changement climatique et observations à long-terme en Unités Expérimentales : évolution des pratiques agricoles et des réponses physiologiques des couverts végétaux. Etude de faisabilité. In : *INRAE*.

[ORACLE Grand-Est](#), 2019.



Faisabilité thermique du sorgho fourrager

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1951 à 2020.

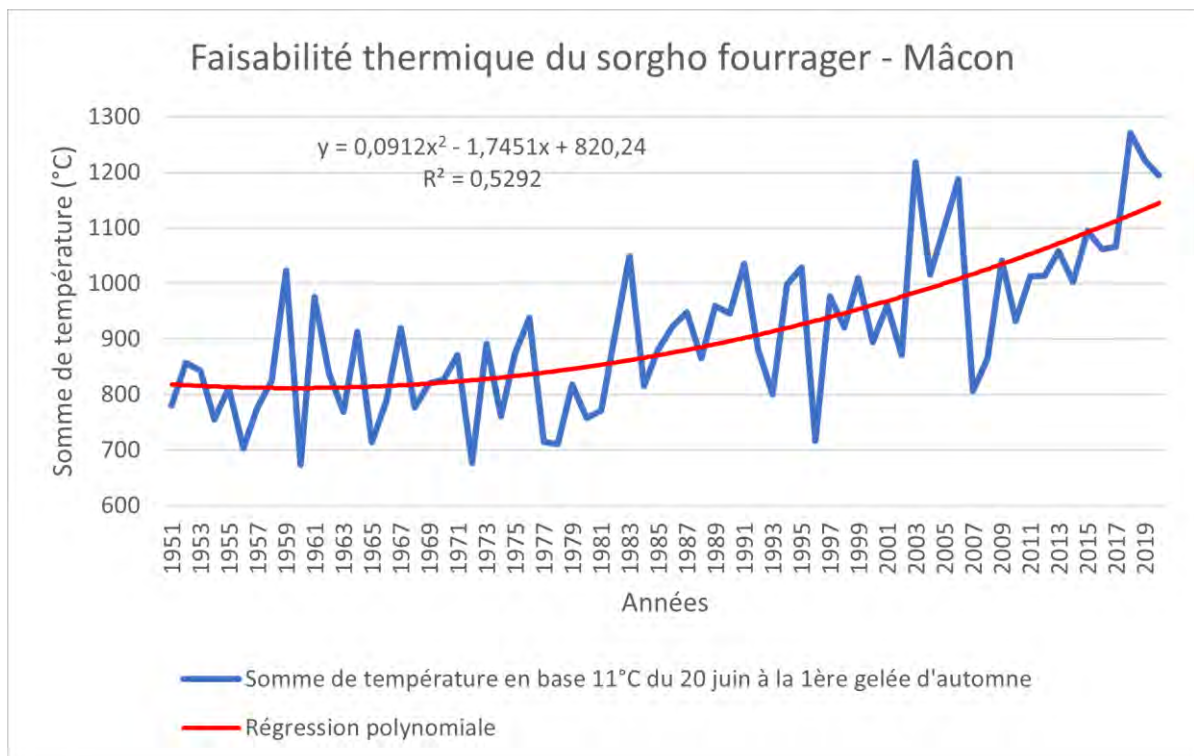
🕒 Indicateur

- Mâcon (01) : 1951 - 2020
- Paray-sous-Briailles (03) : 1951 – 2020
- Montélimar (26) : 1951-2020
- Saint-Etienne (42) : 1951 – 2020
- Le Puy (43) : 1951 – 2020
- Clermont-Ferrand (63) : 1951 – 2020
- Lyon-Bron (69) : 1951 - 2020

🧮 Calcul de l'indicateur

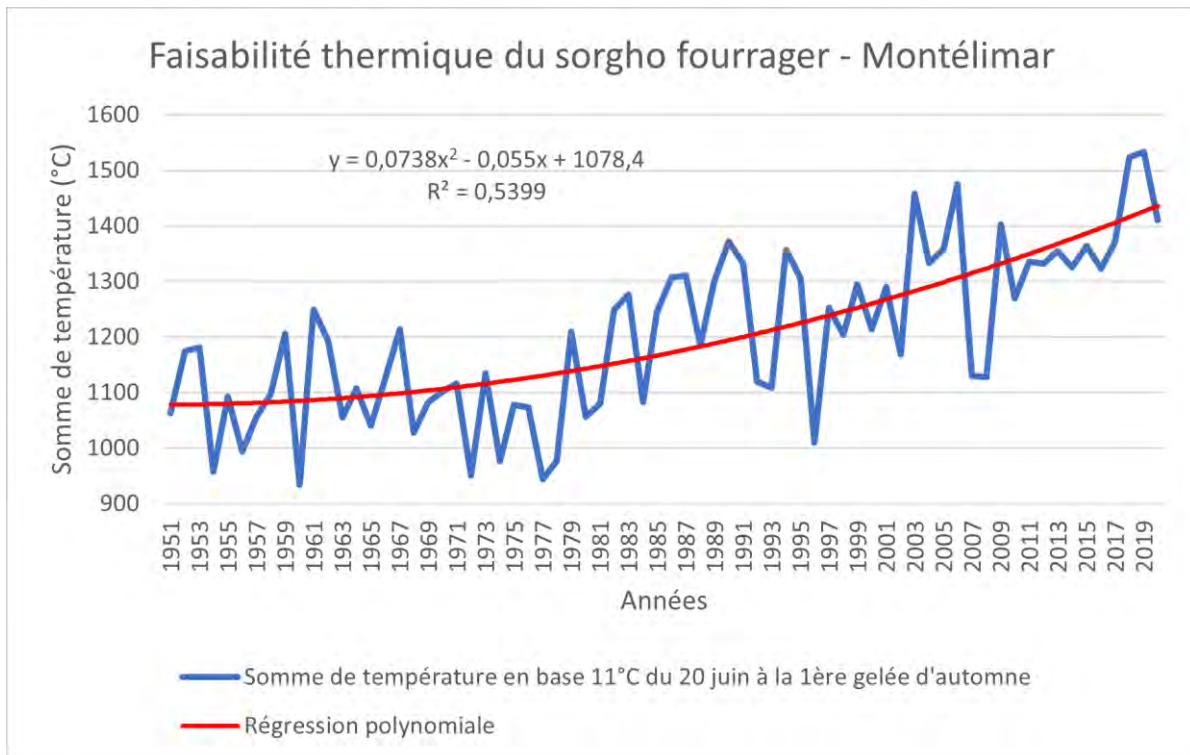
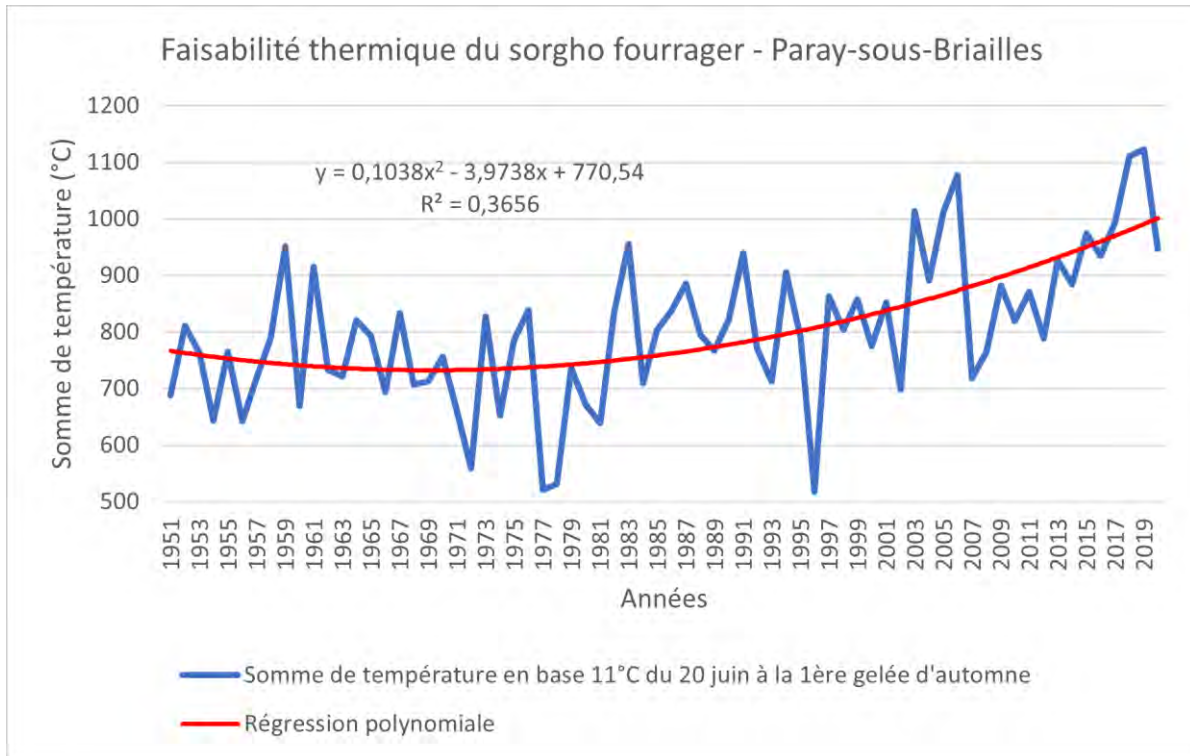
Somme des températures moyennes journalières en base 11°C du 20 juin à la première gelée d'automne.

📈 Évolution observée



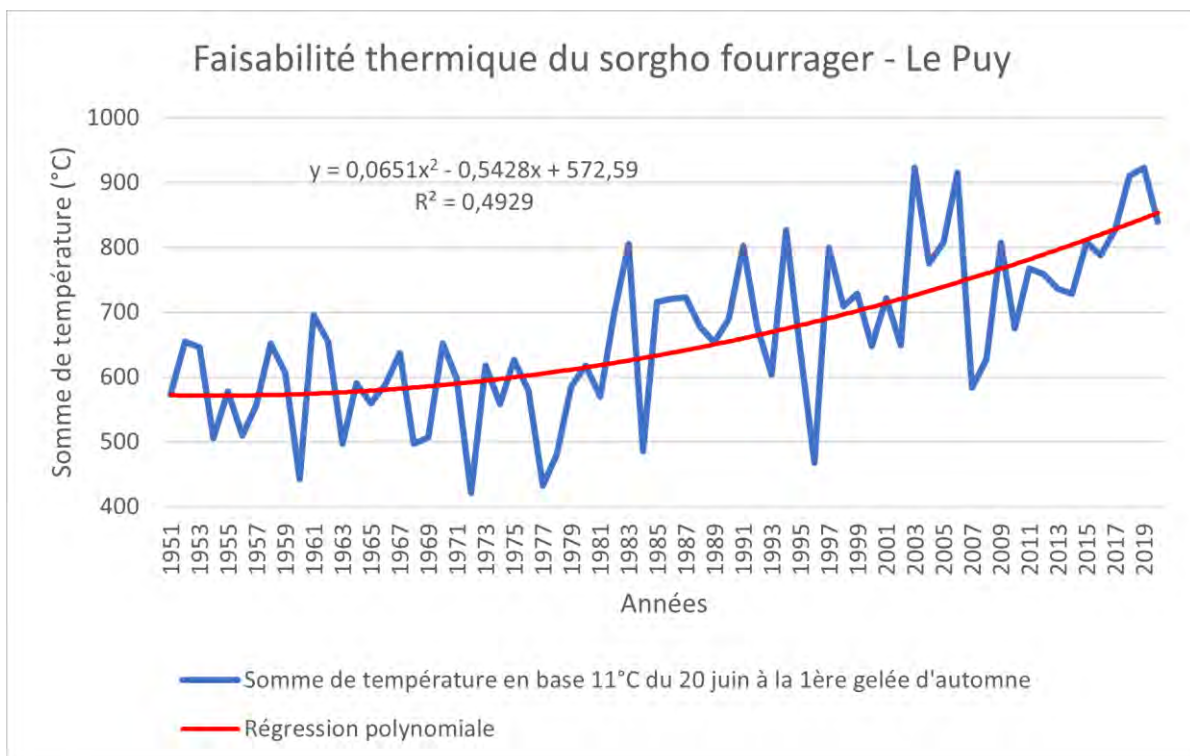
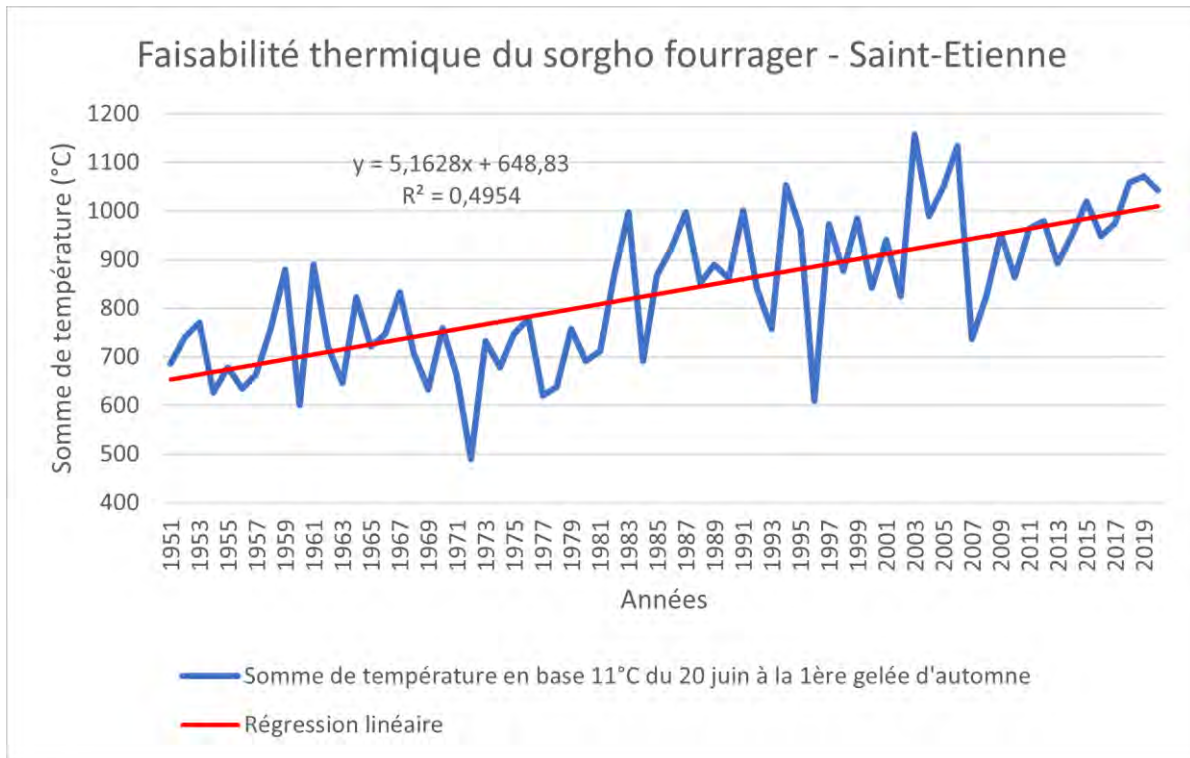


Faisabilité thermique du sorgho fourrager



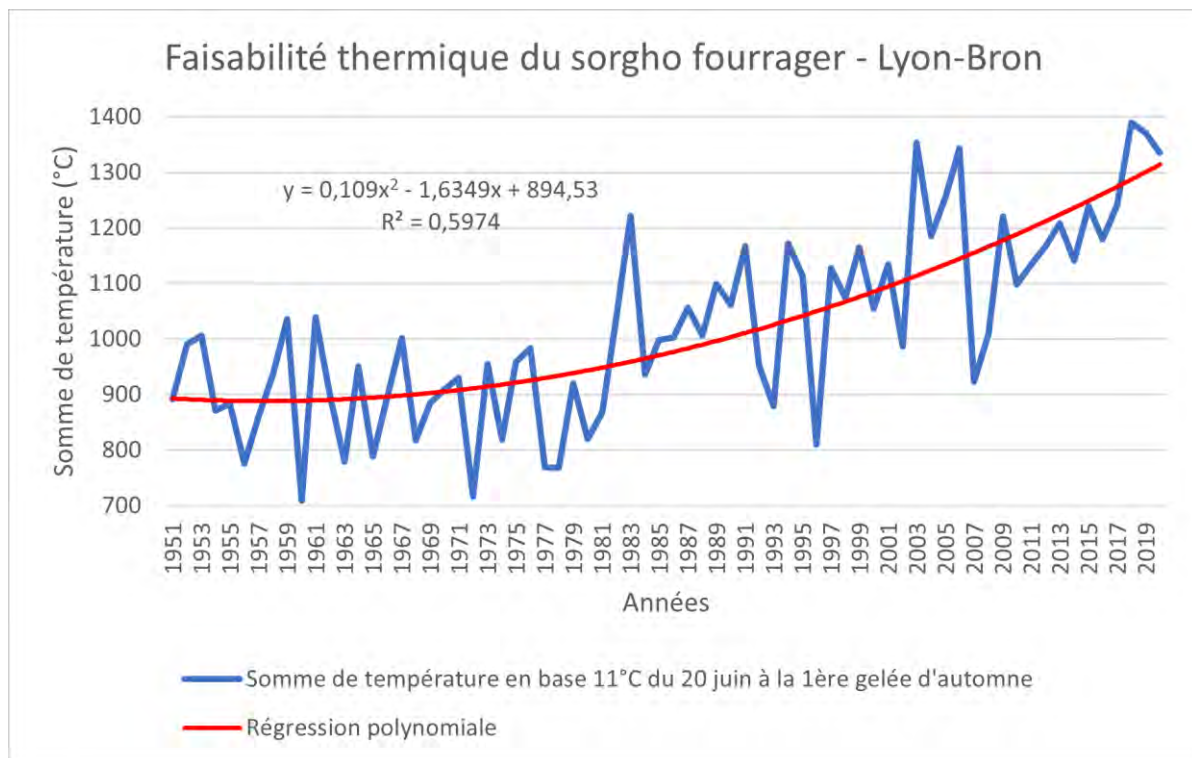
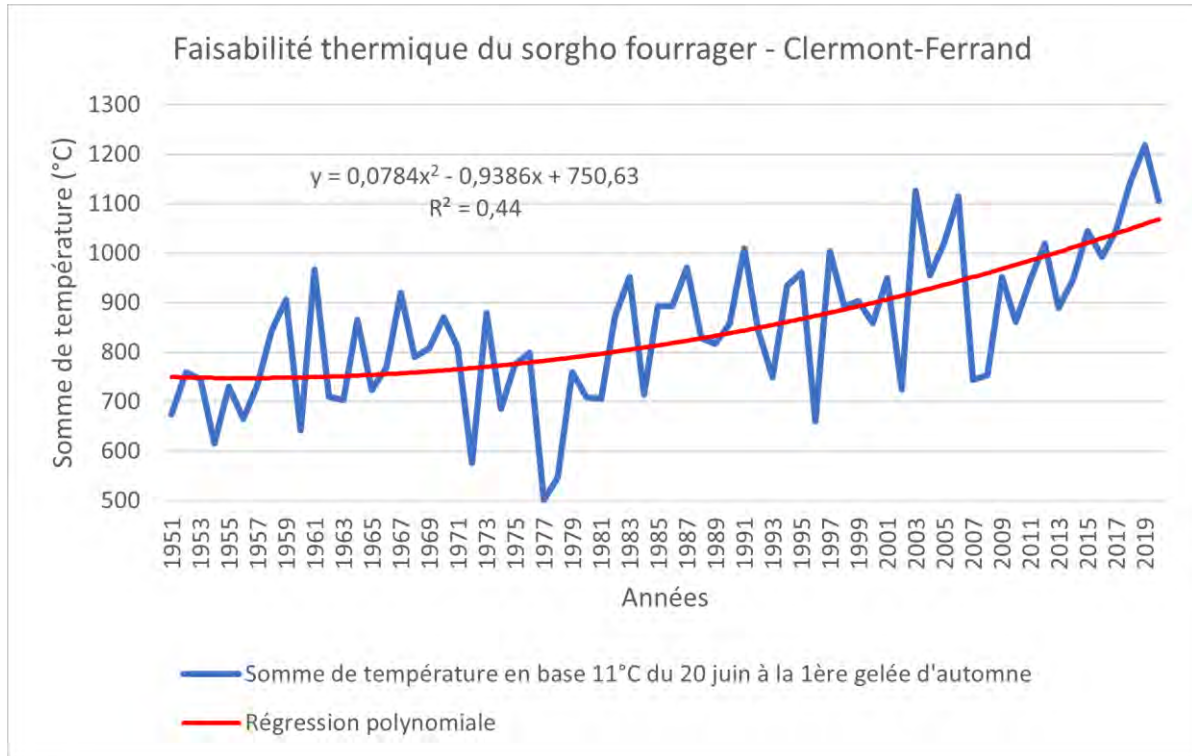


Faisabilité thermique du sorgho fourrager





Faisabilité thermique du sorgho fourrager





Faisabilité thermique du sorgho fourrager



L'évolution de la somme des températures moyennes en base 11°C du 20 juin à la 1^{ère} gelée d'automne, octobre observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1951, montre des tendances significatives pour chaque station étudiée. Le tableau ci-dessous présente les évolutions par ajustement polynomial de degré 2 pour toutes les stations sauf pour celle de Saint-Etienne (42) qui est représentée par un ajustement linéaire :

Stations	Evolution de la disponibilité thermique du sorgho (°CJ/70 ans)	Significativité de la tendance
Paray-sous-Briailles (03)	230,45	**
Montélimar (26)	357,77	*
Saint-Etienne (42)	361,40	***
Le Puy (43)	280,99	***
Clermont-Ferrand (63)	318,46	*
Lyon-Bron (69)	419,66	**
Mâcon (71)	324,72	**

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

La quantité de chaleur ou disponibilité thermique disponible durant l'été détermine la possibilité (ou non) de mettre en place une culture dérobée après les récoltes des cultures d'automne. Le besoin de chaleur est important pour les dérobées d'été. Le cas du sorgho fourrager a été analysé afin d'apprécier l'accroissement de la faisabilité de cette pratique agricole.

Le sorgho fourrager est une culture annuelle sensible au froid mais plus résistant à la sécheresse que le maïs grâce à son système racinaire. Il s'agit d'une culture qui s'est développée en Europe du Nord en remplacement du maïs ensilage en zones chaudes et plus sèches en été, souvent comme culture intermédiaire. Le sorgho est adapté à un semis de début d'été et permet de valoriser les températures estivales. Il assure une bonne couverture du sol. Son développement est conditionné par les conditions climatiques.

La nette augmentation des degrés-jours de croissance induit des changements dans les stades phénologiques du sorgho. Une accélération de ce phénomène est même observée pour toutes les stations sauf celle de Saint-Etienne (42). L'évolution de la disponibilité thermique pour le sorgho est mieux représentée par une régression polynomiale pour ces stations. L'augmentation de la somme des températures n'est pas linéaire mais présente une accélération significative. Les conséquences du changement climatique dans ces territoires sont donc d'autant accélérées.

Pour aller plus loin : L'implantation d'une dérobée d'été telle que le sorgho semble de plus en plus faisable au regard de l'augmentation tendancielle de la disponibilité thermique causée par le réchauffement climatique. Toutefois, ces résultats ne concernent que la dimension thermique d'une culture dérobée. La dimension hydrique est elle aussi très importante et doit être prise en compte afin d'établir une analyse complète de la faisabilité d'une culture dérobée.



Faisabilité thermique du sorgho fourrager



Analyse

A RETENIR

Concernant la culture intermédiaire d'été qu'est le sorgho fourrager, la disponibilité thermique estivale a augmenté tendanciellement au cours de la période d'observation. Une accélération du phénomène est visible pour la majorité des stations étudiées. L'augmentation est d'environ 327,6°CJ sur la période analysée de 70 ans, en moyenne à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Ceci rend plus envisageable la pratique d'implantation de cultures dérobées.

La question hydrique n'est pas traitée par cet indicateur et ne permet donc pas d'apprécier entièrement la viabilité économique de la culture étudiée ici, à savoir le sorgho fourrager.



Réussite des semis de colza

🔑 Nature et source des données

Séries quotidiennes de référence fournies par Météo France de 1951 à 2020.

🕒 Indicateur

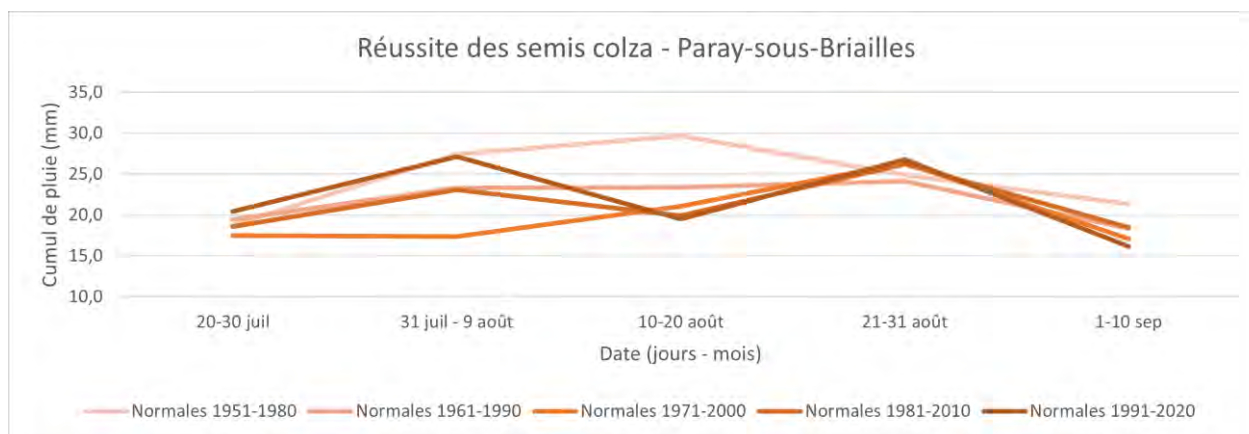
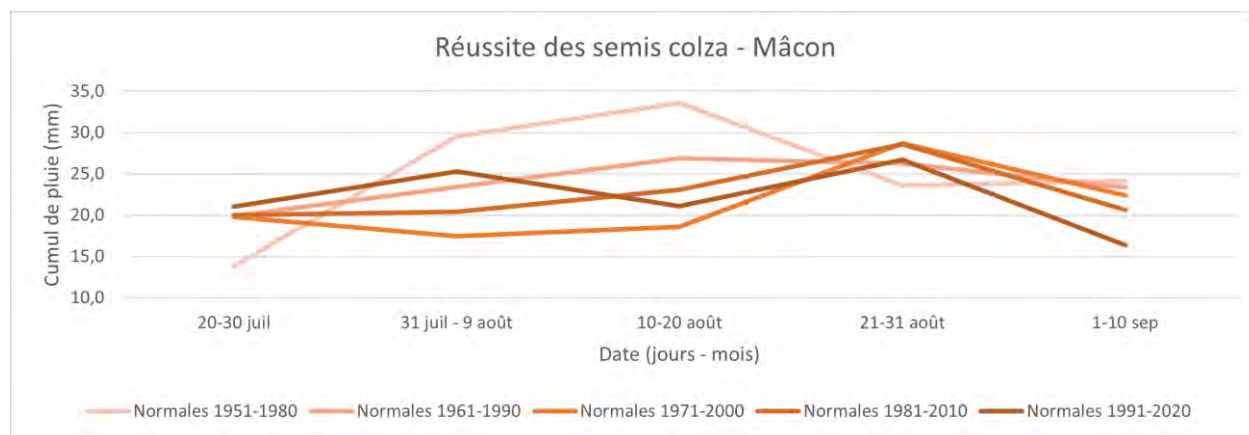
- Mâcon (01) : 1951 - 2020
- Paray-sous-Briailles (03) : 1951 - 2020
- Montélimar (26) : 1951-2020
- Saint-Etienne (42) : 1951 - 2020
- Le Puy (43) : 1951 - 2020
- Clermont-Ferrand (63) : 1951 - 2020
- Lyon-Bron (69) : 1951 - 2020

📊 Calcul de l'indicateur

Cumul des précipitations journalières par décade du 20 juillet au 10 septembre.

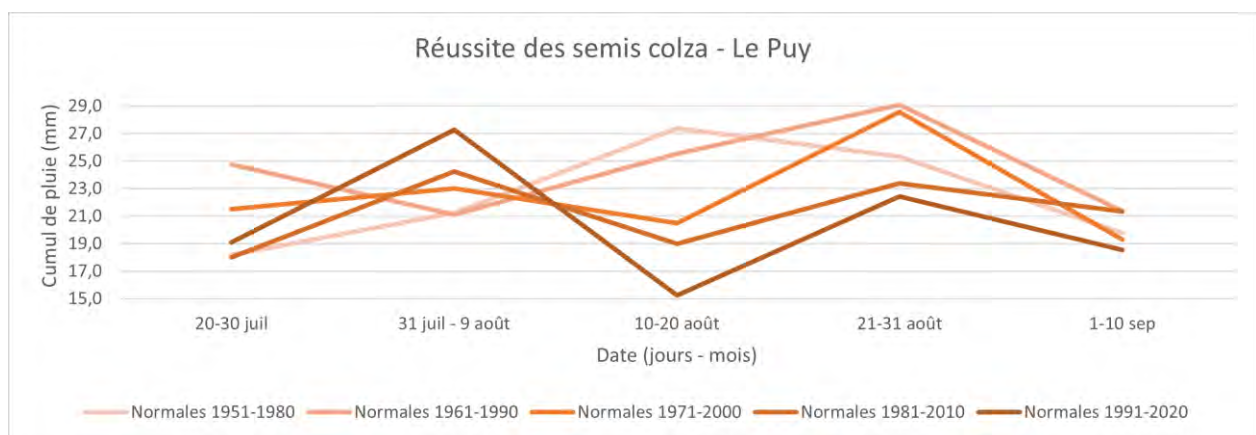
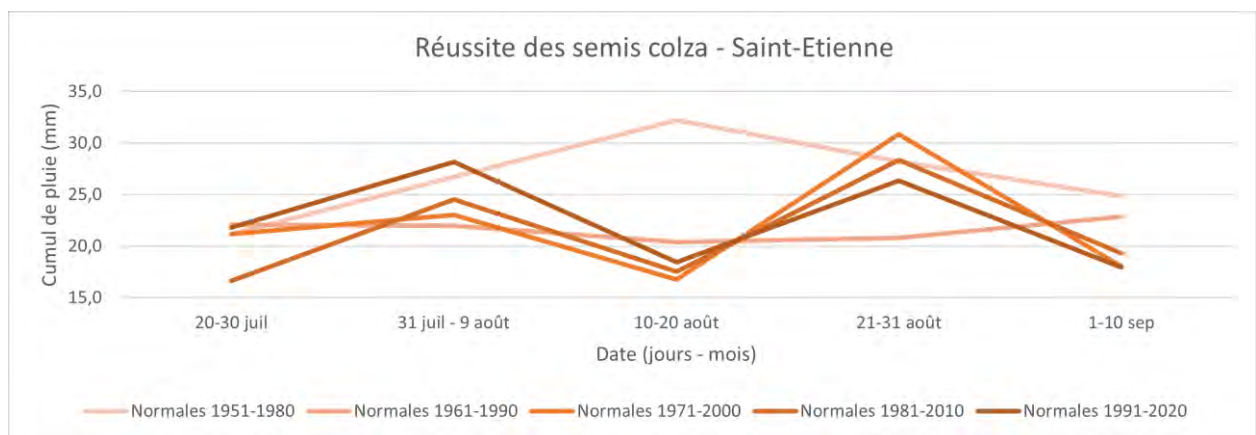
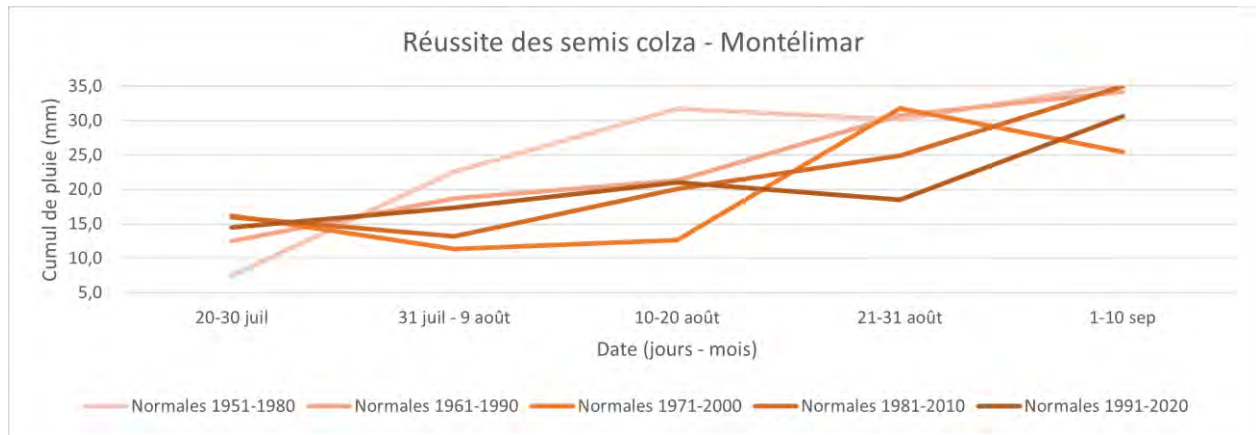
Les normales représentent les moyennes de cumul de précipitations calculées par décade (période de 10 jours). Une normale correspond à une période de 30 ans. Le décalage entre les normales est de 10 ans.

📈 Évolution observée



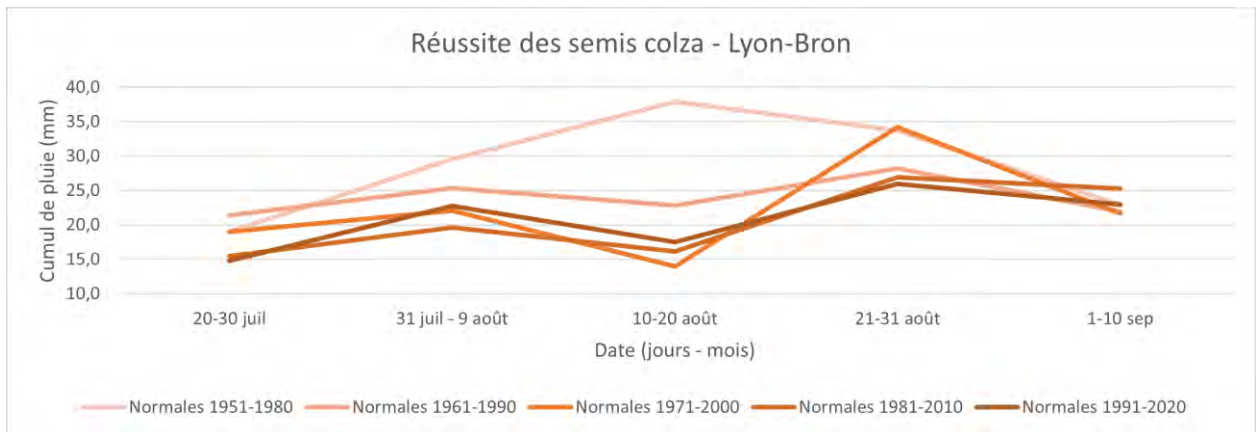
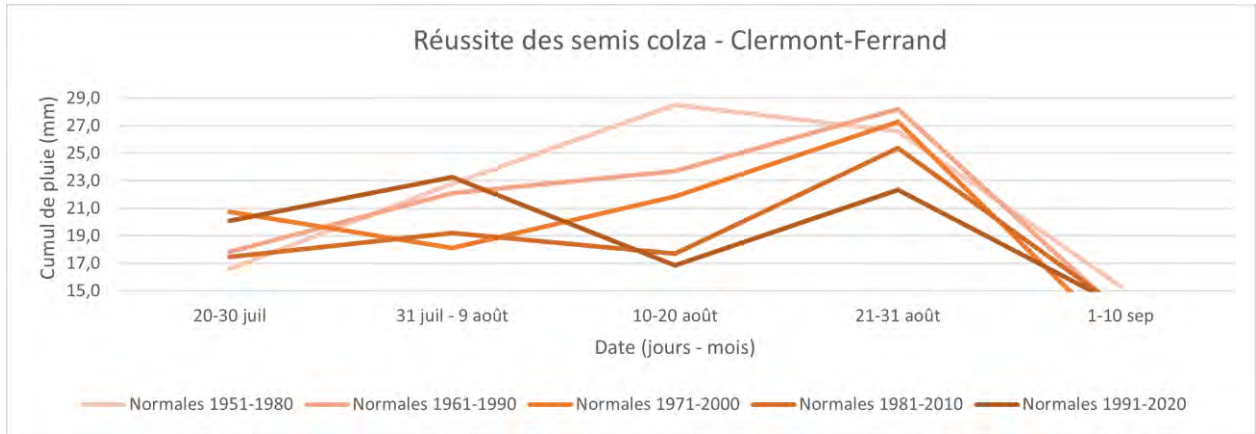


Réussite des semis de colza





Réussite des semis de colza





Réussite des semis de colza



Analyse

L'indicateur mesurant le cumul des précipitations journalières du 20 juillet au 10 septembre a été analysé par décade. De cette manière, les périodes critiques peuvent être mises en valeur. La principale période avec le risque de cumul de pluies le plus faible se situe du 10 au 20 août pour toutes les stations étudiées.

La représentation des normales, moyennes du nombre de jours sur 30 ans, permet d'observer la légère diminution du cumul de pluies entre 1951 et 2020 pour la majorité des stations étudiées. Cependant, cette diminution n'est significative que pour la station de Lyon-Bron (69) avec un risque d'erreur inférieur à 5%. Pour la station de Mâcon (01), la diminution n'est pas significative. Pour les autres stations, aucune conclusion ne peut être tirée d'un point de vue statistique puisque les conditions d'application du test ne sont pas validées (cf. « Méthodologie statistique »).

Pour le colza d'hiver, les dates de semis conseillées pour un bon développement sont à partir de début août. Deux types de colza sont à distinguer, le colza fourrager implanté après de l'orge et le colza traditionnel. La date optimale peut être très différente d'une région à l'autre en fonction des conditions pédoclimatiques. Dans le Sud de la France par exemple, la date de semis conseillée se rapproche du 10 septembre.

Les conditions météorologiques jouent un rôle important. Un déficit hydrique élevé peut notamment être préjudiciable pour le développement du colza et influencer le rendement en grain. L'humidité du lit de semence est le facteur limitant chez le colza et risque de causer de mauvaises implantations et donc une montaison tronquée (Bancal, *et al.*, 2010).

A RETENIR

L'évolution du cumul de précipitations de 1951 à 2020 montre une légère diminution pour la station de Lyon-Bron (69). La période la plus à risque se trouve entre le 10 et le 20 août.

Le manque de précipitations à cette période a un impact négatif sur les semis de colza puisqu'il correspond à la période d'implantation. Le rendement en grain peut être réduit.



Pour en savoir plus

Baillet, A., 2019. Accidents climatiques sur colza : le manque ou l'excès d'eau. In : *Terres Inovia*. 4 mars 2019.

Bancal, M-O., Brisson, N., Gate, P., 2010. Changement climatique et cultures de blé et de colza : l'essentiel des impacts. In : *Climator*. Juin 2010.

Gouache, D., 2010. Quelques impacts du changement climatique autour du semis des cultures annuelles : faisabilité, réussite et calage du cycle. In : *Arvalis*. Actes de colloque.

Date de floraison de l'abricotier Bergeron

Nature et source des données

Données fournies par le projet Divae sur la parcelle implantée à Gotheron (Saint-Marcel-lès-Valence) et par la SEFRA pour la parcelle implantée à Etoile-sur-Rhône.

Indicateur

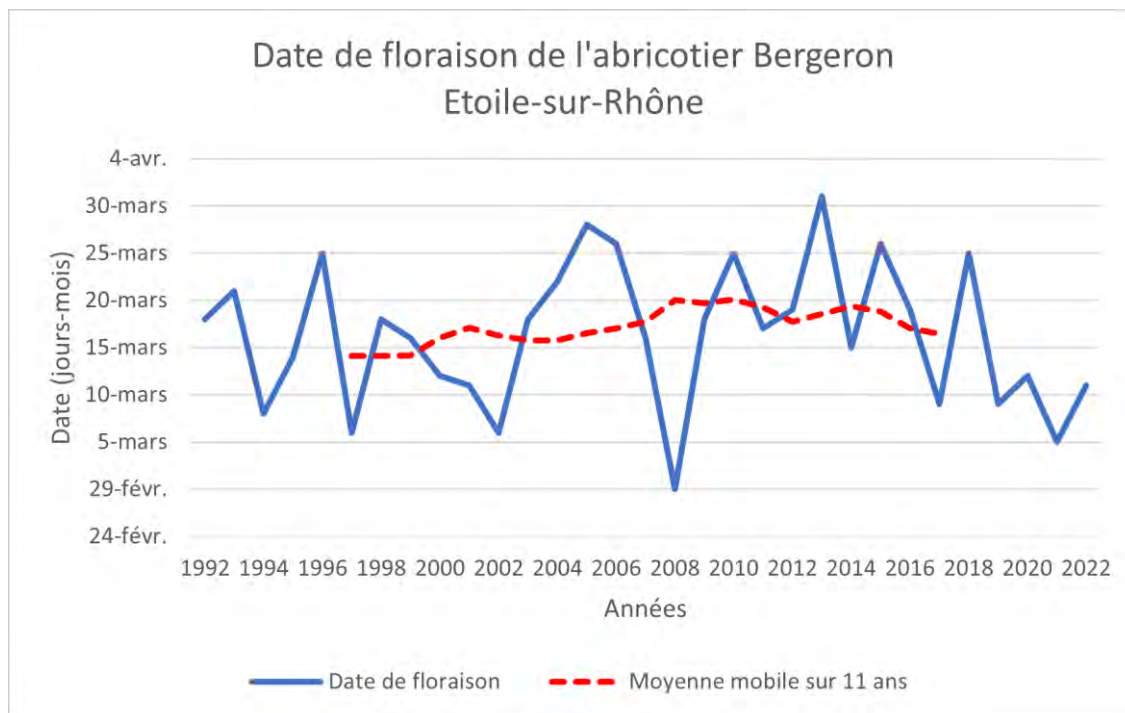
- Etoile-sur-Rhône (26) : 1992 - 2022
- Saint-Marcel-lès-Valence (26) : 1983 - 2021

Calcul de l'indicateur

La date de pleine floraison de l'abricotier Bergeron correspond au stade 6 de l'échelle BBCH (code 65, environ 50% des fleurs épanouies, données de Saint-Marcel-lès-Valence) ou au stade F3 pour l'échelle Baggiolini (données d'Etoile-sur-Rhône). En réalité, le stade F2 se rapproche davantage de la pleine floraison mais le stade F3 correspond aux données disponibles les plus proches du stade 6.

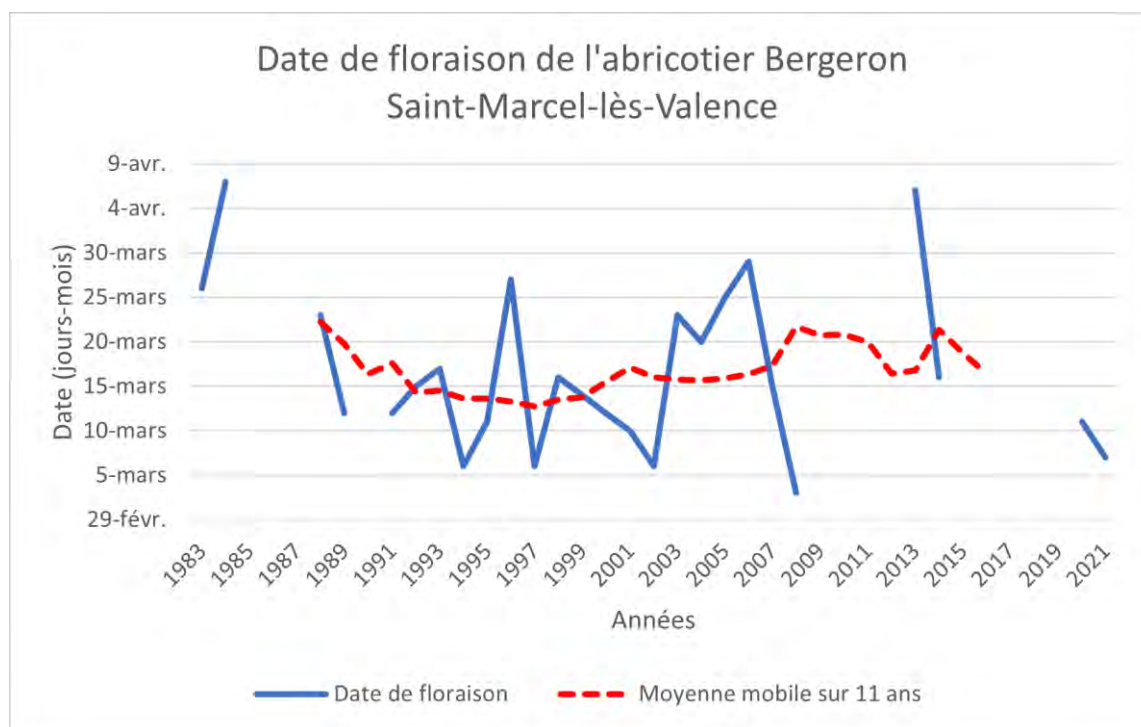
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

Évolution observée





Date de floraison de l'abricotier Bergeron



Analyse

L'évolution de la date de pleine floraison de l'abricotier Bergeron observée dans la Drôme depuis 1983 montre des tendances non significatives pour les deux stations étudiées. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Stations	Evolution de la date de floraison (j/décennie)	Significativité de la tendance
Etoile-sur-Rhône (26)	-0,21	ns
Saint-Marcel-lès-Valence (26)	-2,69	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Les résultats montrent un très léger avancement de la date de floraison qui n'est pas significatif d'un point de vue statistique. Une partie de l'explication réside dans le fait que la profondeur des données est relativement faible pour les deux stations. Par ailleurs, la station de Saint-Marcel-lès-Valence (26) présente un certain nombre de valeurs manquantes au milieu de la série de données.

L'abricotier est une espèce modèle d'intérêt en raison de sa forte dépendance aux conditions pédoclimatiques locales (Garcia de Cortazar-Atauri *et al.*, 2013). L'augmentation tendancielle des températures moyennes (cf. « Température moyenne annuelle ») a un impact sur les stades phénologiques des cultures pérennes, dont l'abricotier. Le réchauffement a des impacts sur le développement de l'arbre au niveau de la floraison et de son époque, durée, intensité et qualité (Legave, 2007).



Date de floraison de l'abricotier Bergeron



Analyse

Les modifications phénologiques vers plus de précocité se seraient produites sous forme de rupture à partir de 1988-1989, ce qui correspond précisément au début d'une période de réchauffement. Les avancées de floraison observées sont considérées comme un impact avéré et souvent comme un indicateur du réchauffement global (Legave, 2009).

Une étude de l'INRAE montre que même si un retard de la date de dormance est observé, cela peut entraîner des conséquences très variées sur la date de floraison en fonction des variétés ou des sites (Garcia de Cortazar-Atauri *et al.*, 2013). La levée de dormance des bourgeons est liée à la satisfaction des besoins en froid de l'arbre fruitier. Le froid est nécessaire au bon développement puisqu'il conforte les arbres dans leur repos végétatif hivernal. Un manque de froid entraîne des conséquences liées à un débourrement précoce (El Yaacoubi *et al.*, 2016). Une fois la levée de dormance des bourgeons, ce sont les besoins en chaleur qui leur permettent d'évoluer vers la floraison. L'abricotier Bergeron est une variété spécifique, ce qui pourrait en partie expliquer l'absence de tendance observée. Le démarrage se fait de plus en plus tard faute de satisfaction des besoins en froid mais la floraison ne se produit pourtant pas plus tôt. Un indicateur de mesure des besoins en froid serait donc pertinent à étudier.

Un autre phénomène est observé avec le changement climatique. Il s'agit de l'augmentation de la fréquence de floraison excessivement étalée (à l'échelle de l'arbre ou entre arbres de variétés différentes) (Legave, 2007).

Pour aller plus loin : La changement climatique est susceptible d'impacter les activités arboricoles par deux effets distincts : l'avancée de la date de floraison ainsi que la diminution du nombre de jours de gel par an. L'avancée de la date de floraison rend plus précoce l'entrée dans une période à risque en matière d'exposition au gel, sans décalage de la fin de cette période. Le risque de gel de l'abricotier est appréhendé au sein de l'observatoire ORCAE (cf. « [Risque gel pour l'abricotier](#) »).

A RETENIR

L'évolution de la date de floraison de l'abricotier Bergeron ne montre pas de tendance significative pour les deux stations étudiées. La faible profondeur du jeu de données, les données manquantes, la forte variabilité interannuelle ainsi que la spécificité de la variété Bergeron peuvent expliquer ces résultats.

L'avancement de la date de floraison serait cohérent avec l'augmentation des températures moyennes annuelles. Ce décalage entraîne des conséquences différentes suivant les variétés et les sites. Considéré comme un indicateur du réchauffement global, cette précocité a des conséquences néfastes sur la production d'abricot surtout lorsque le phénomène est associé à des périodes à risque en matière d'exposition au gel.



Date de floraison de l'abricotier Bergeron



Analyse



Pour en savoir plus

El Yaacoubi, A., Oukabli, A., Hafidi, M., Legave, J-M., 2016. Quels risques peuvent produire les changements climatiques sur la phénologie des arbres fruitiers en Méditerranée ? Un diagnostic durant un passé récent comme feuille de route stratégique pour une arboriculture durable en avenir. In : *Salon International de l'Agriculture au Maroc*. Avril 2016.

Garcia de Cortazar-Atauri, I., Bertuzzi, P., Andreini, L., Madon, F., Audergon, J-M., 2013. Adaptation de l'abricotier aux changements climatiques : estimation des risques génétiques et géographiques liés aux avortements floraux et à l'époque de floraison. Le réseau agroclimatique de l'INRA et la base associée de données. In : INRAE.

Legave, J-M., 2007. Vulnérabilité et adaptation des arbres fruitiers face au réchauffement climatique, quelles spécificités en arboriculture fruitière biologique ? In : INRAE.

Legave, J-M., 2009. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ? In : INRAE.

ORCAE, 2017. [Risque au gel des abricotiers en Auvergne-Rhône-Alpes](#).



Surfaces irriguées en maïs grain

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

🕒 Indicateur

- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1995 - 2020
- Ain (01) : 1995 – 2020
- Allier (03) : 1995 – 2020
- Drôme (26) : 1995 – 2020
- Isère (38) : 1995 – 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1995 – 2020

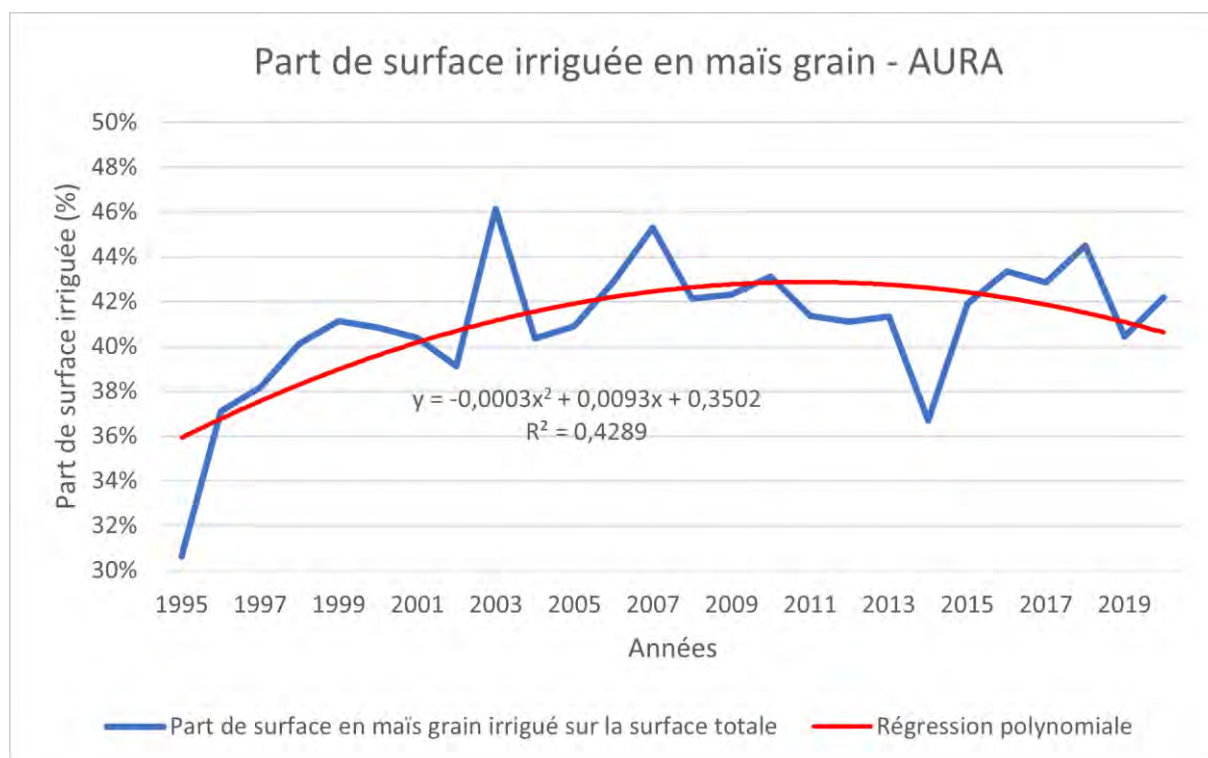
📊 Calcul de l'indicateur

L'indicateur est le ratio entre la part de surfaces irriguées en maïs grain et la totalité des surfaces en maïs grain cultivées.

Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en maïs grain supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés. Les surfaces prises en compte sont celles effectivement irriguées et non les surfaces irrigables.

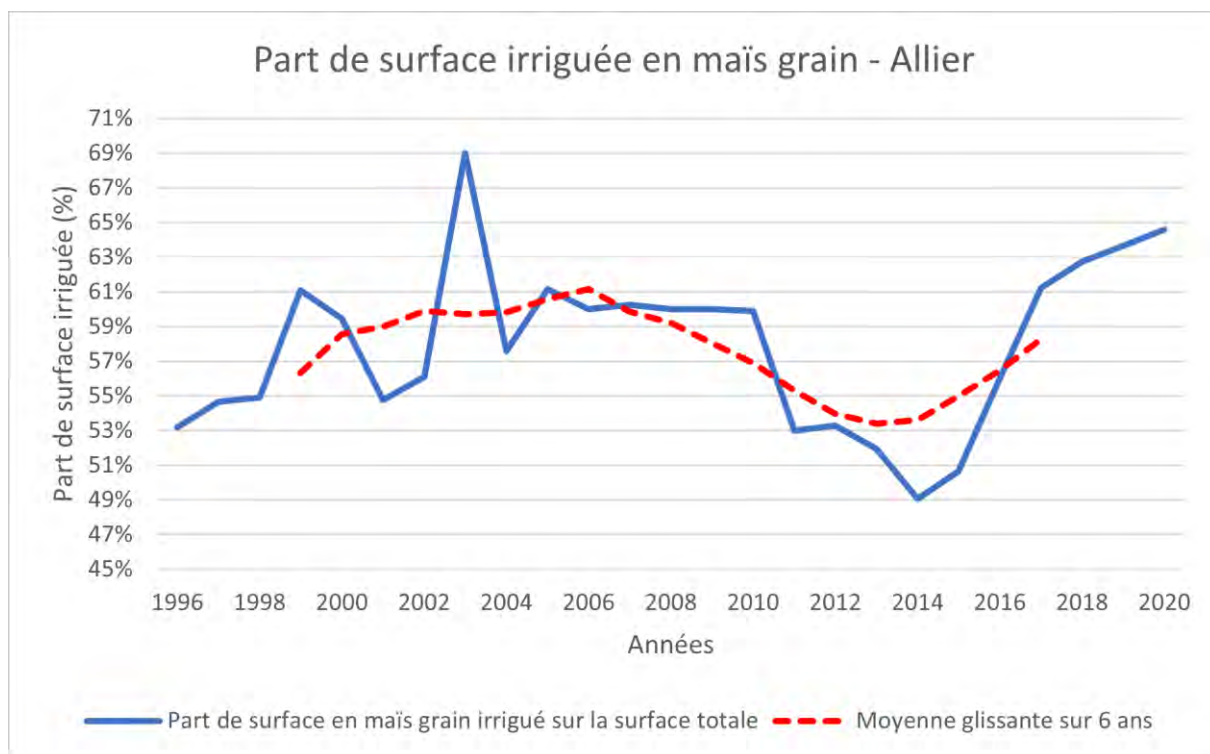
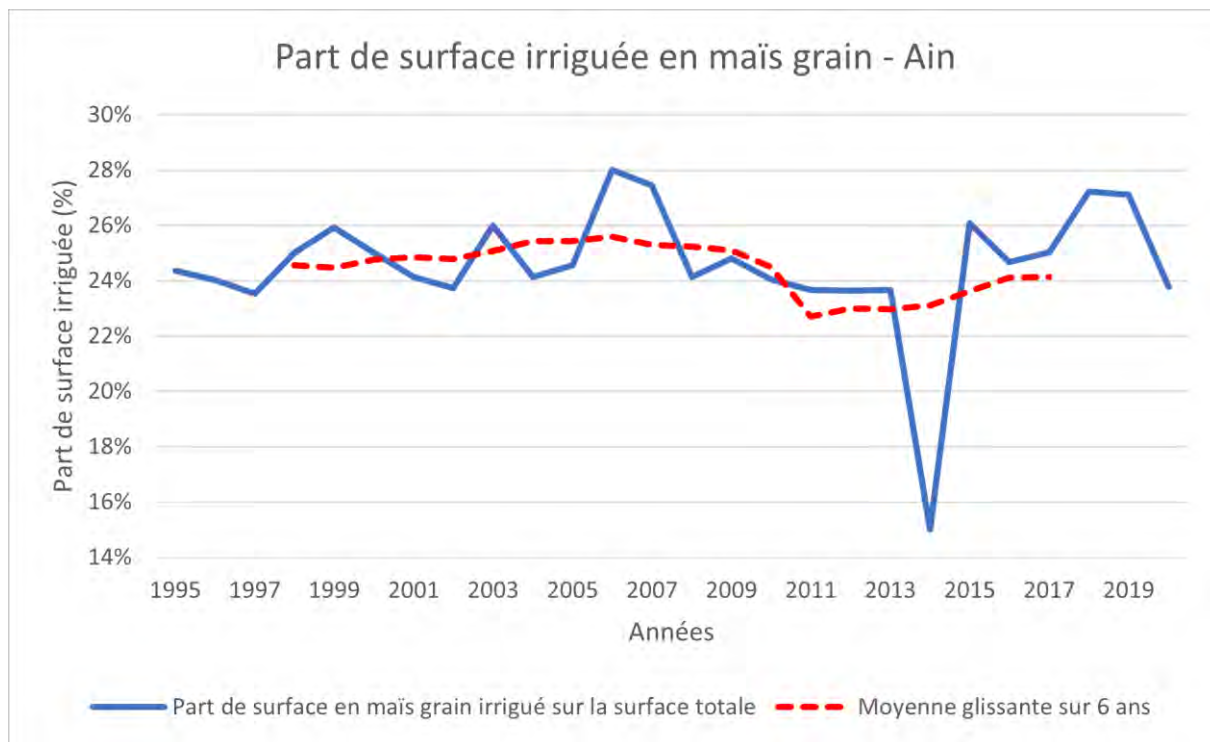
Moyenne glissante sur 6 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-3 à N+3.

📈 Évolution observée



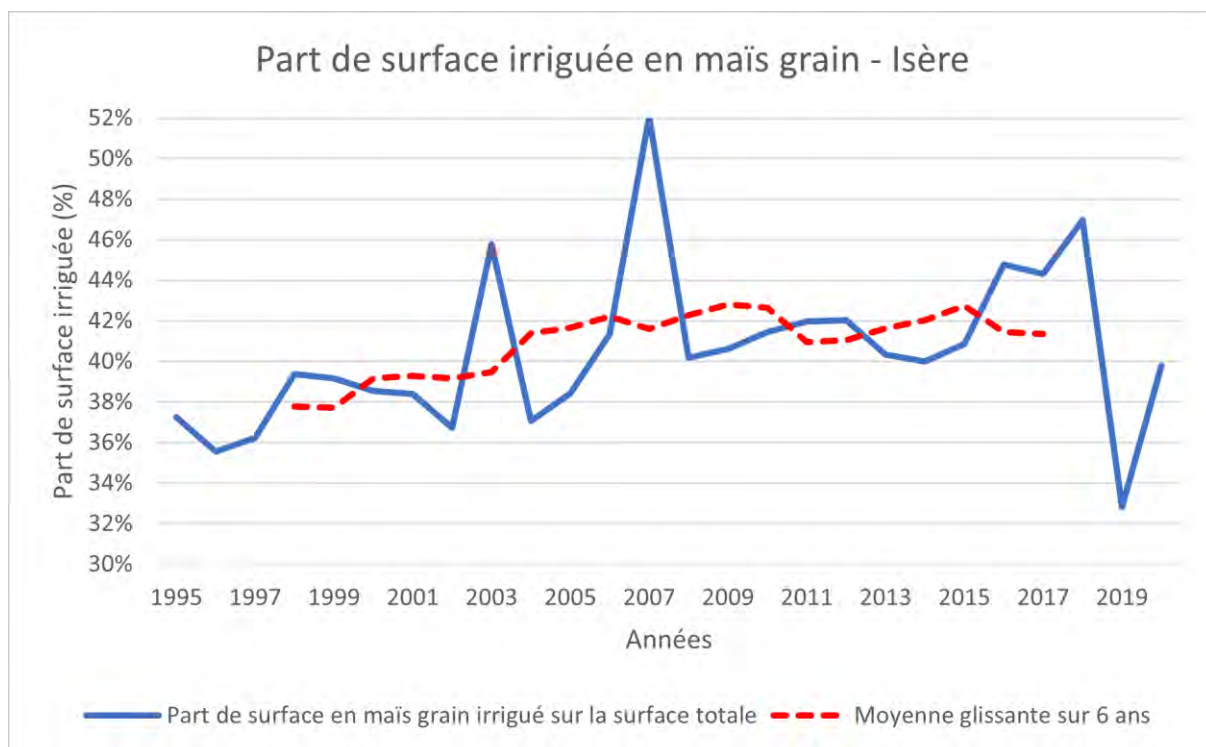
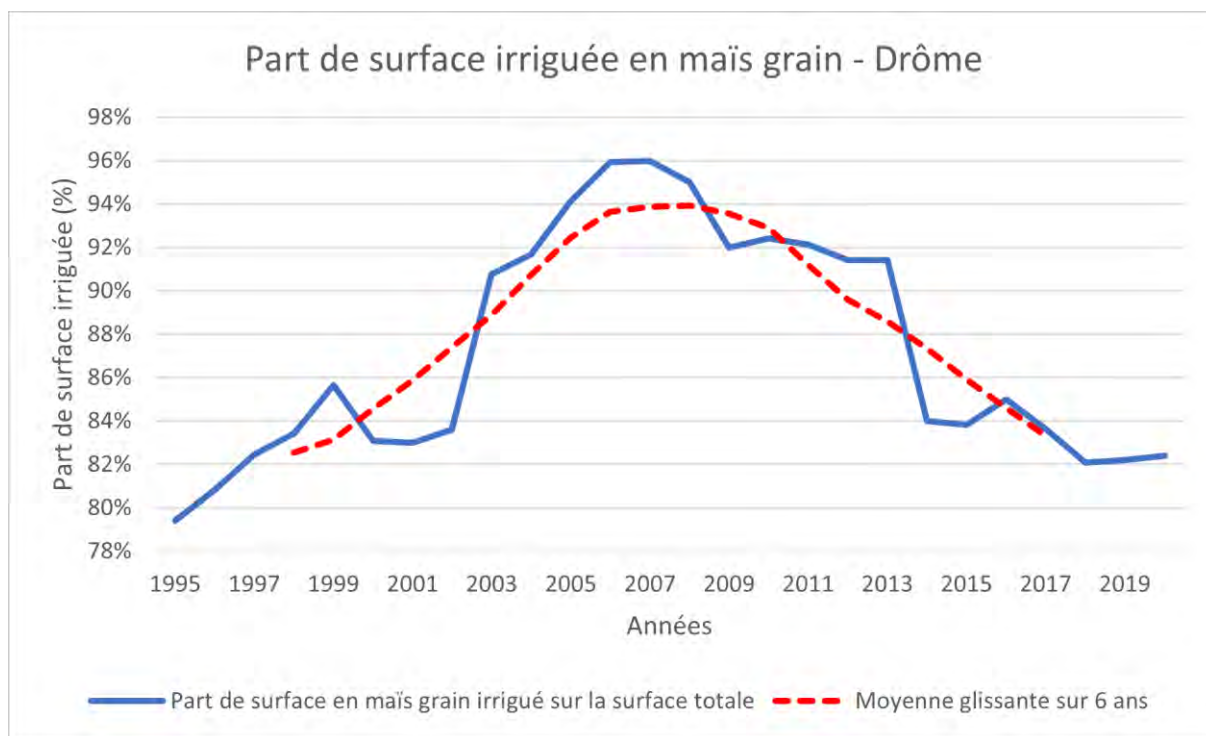


Surfaces irriguées en maïs grain



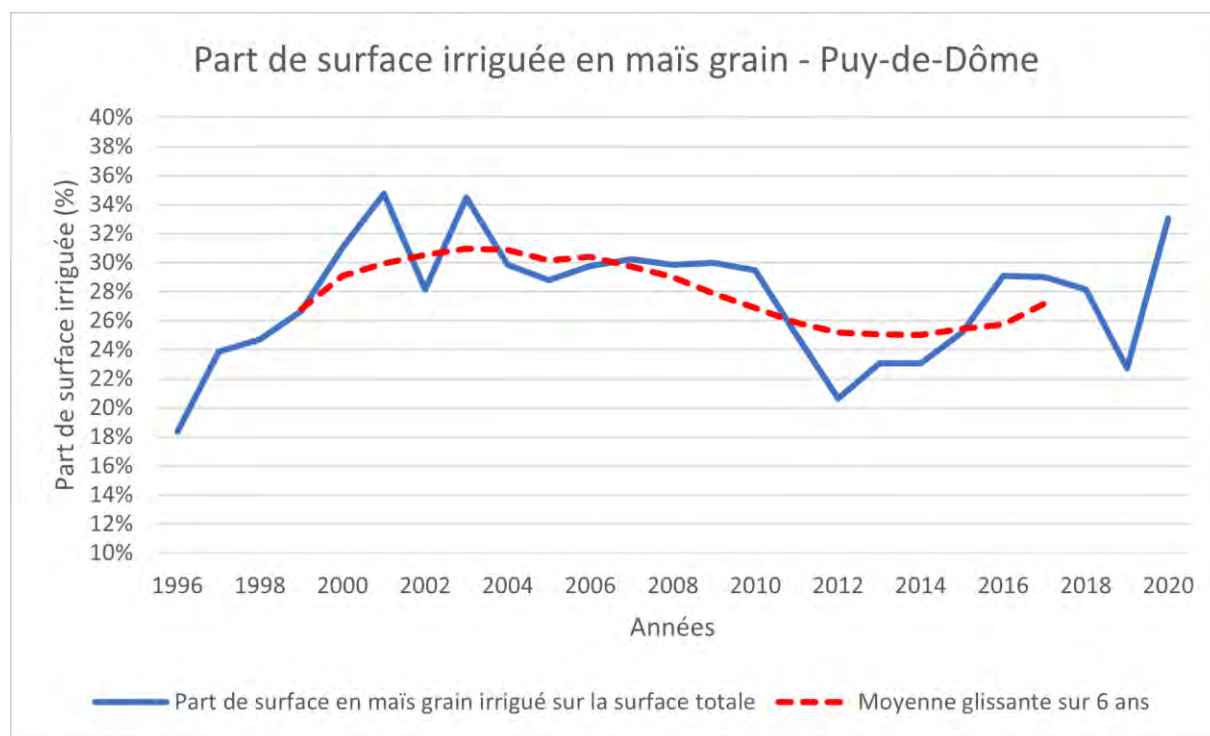


Surfaces irriguées en maïs grain





Surfaces irriguées en maïs grain



Analyse

L'évolution de la part de surface irriguées en maïs grain sur la surface totale cultivée observée dans la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1995 montre des tendances non concluantes d'un point de vue statistique pour tous les départements étudiés. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution de la part de surface irriguée en maïs grain (%/décennie)	Significativité de la tendance
AURA	/	** (binomial)
Ain	-0,08	X
Allier	0,77	X
Drôme	0,62	X
Isère	1,80	X
Puy-de-Dôme	-0,03	X

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



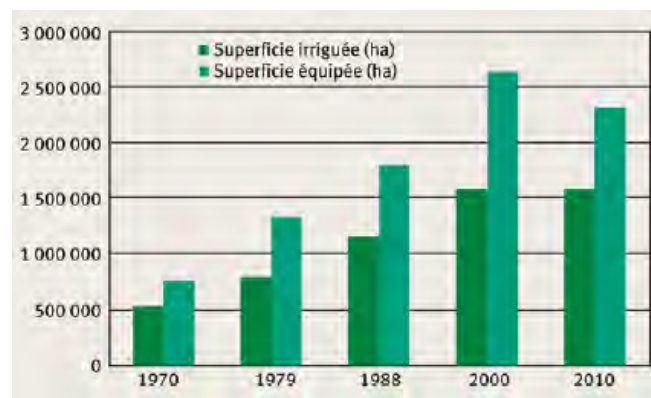
Surfaces irriguées en maïs grain



Analyse

Pour tous les territoires étudiés, les conditions d'application du test statistique ne sont pas remplies (cf. « Méthodologie statistiques »). Dans ce cas, la conclusion quant à la significativité ou non de la tendance n'est pas considérée comme fiable et ne peut donc pas être avancée. L'étude à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes présente des résultats significatifs au plafonnement de la part des surfaces irriguées en maïs grain. L'ajustement le plus adapté est la régression binomiale. Une diminution est même visible ces dernières années, notamment causée par la faible proportion de surfaces irriguées en 2014. En effet, le maïs grain a bénéficié d'une bonne implantation et de pluies estivales suffisantes ce qui a notamment permis une augmentation des rendements importante (AGRESTE, 2014) (cf. « Rendement en maïs grain »). A l'échelle de la région, environ 40% de la surface en maïs grain est irriguée. Il s'agit de la première culture irriguée. Ce chiffre correspond à la moyenne nationale (Lerbourg, 2012).

De manière générale, le Recensement Général Agricole (RGA) met en évidence une stagnation de la surface irriguée en 2010 après une forte expansion depuis 1970 (Loubier *et al.*, 2013). Le maïs étant une culture fortement consommatrice d'eau en pleine période estivale, cela correspond à la période où les restrictions sont les plus fortes. La stagnation voire la diminution observée ces dernières années peut se traduire par la diminution de la disponibilité de la ressource en eau imposée à l'irrigant (Lerbourg, 2012).



Source : Loubier *et al.*, 2013.

Toutefois, le changement climatique reste un facteur difficile à isoler sur ce type d'indicateur. En effet, d'autres critères influencent la part de surfaces irriguées en maïs grain. La réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) avec un découplage des aides, y compris des aides spécifiques aux cultures irriguées, étaient une incitation à accroître les surfaces irriguées mais a disparu au début des années 2000 (Loubier *et al.*, 2013). Les mesures de restriction des prélèvements et notamment la Directive Cadre Européenne (DCE) sur l'eau mise en place en 2000 exerce une influence sur les pratiques d'irrigation des agriculteurs (Lerbourg, 2012).



Surfaces irriguées en maïs grain



Analyse

A RETENIR

L'évolution de la part de surface irriguées en maïs grain sur la surface totale cultivée observée dans la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1995 montre des tendances non concluantes d'un point de vue statistique pour tous les départements étudiés. Seule l'étude à l'échelle de la région entière révèle une tendance au plafonnement voire à la diminution ces dernières années de la part de surfaces irriguées en maïs grain.

Cette évolution observée ces dernières années peut se traduire par la diminution de la disponibilité de la ressource en eau imposée à l'irrigant. Toutefois, le changement climatique n'est pas le seul facteur qui influe sur l'irrigation du maïs grain. Les réformes de la PAC ou encore les mesures de restriction des prélèvements sont des biais à prendre en compte.



Pour en savoir plus

AGRESTE, 2014. En 2014, les prix des principales productions végétales et animales sont en recul sur un an. In : *Agreste Conjoncture*. N°6. Octobre-Novembre 2014.

Lerbourg, J., 2012. Des surfaces irrigables en baisse à partir de 2000. In : *Agreste Primeur*. N°292. Novembre 2012.

Loubier, S., Campardon, M., Morardet, S., 2013. L'irrigation diminue-t-elle en France ? Premiers enseignements tirés du recensement agricole de 2010. In : *Sciences Eaux & Territoires*. N°11.



Niveau des nappes souterraines

🔑 Nature et source des données

Données fournies par la DREAL par le biais de la plateforme Ades.

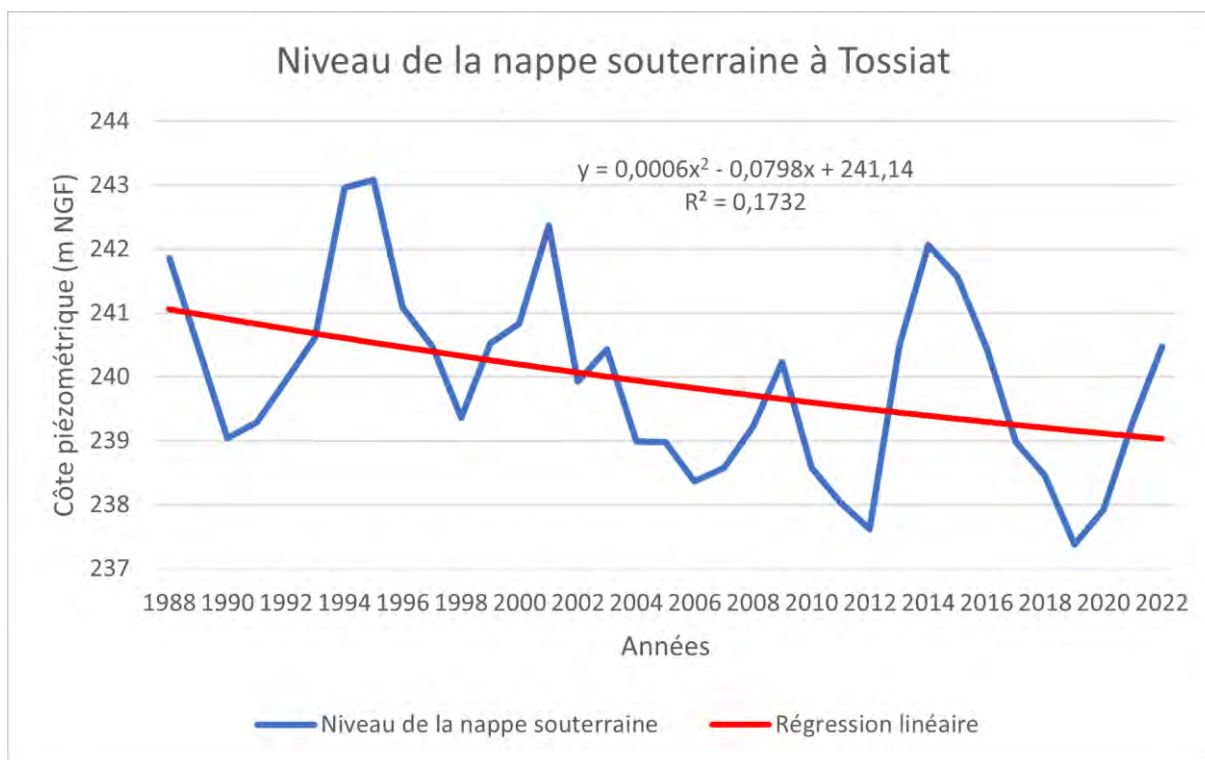
🕒 Indicateur

- Tossiat (01) : 1988 – 2022
- Manthes (26) : 1977 – 2022
- Saint-Joseph-en-Rivière (38) : 1982 – 2022
- Genas (69) : 1971 – 2022
- Aiton (73) : 1996 – 2022
- Vinzier (74) : 1996 - 2022

🧮 Calcul de l'indicateur

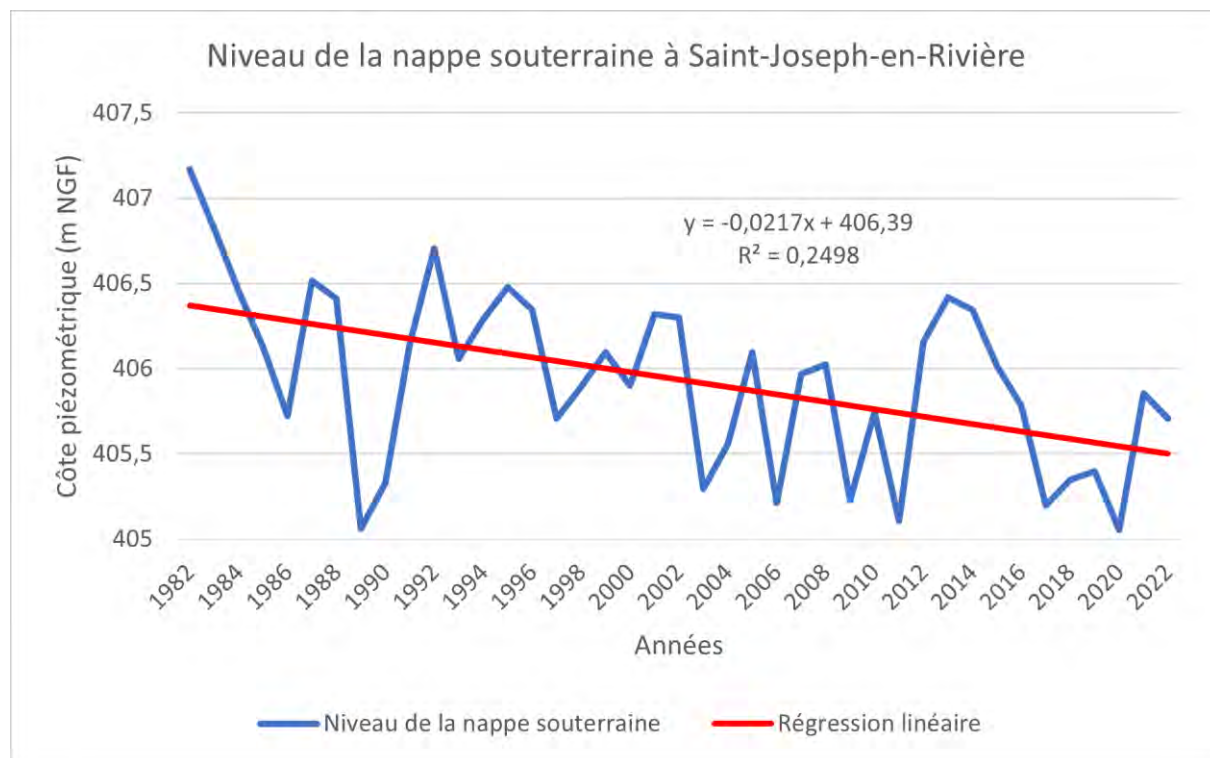
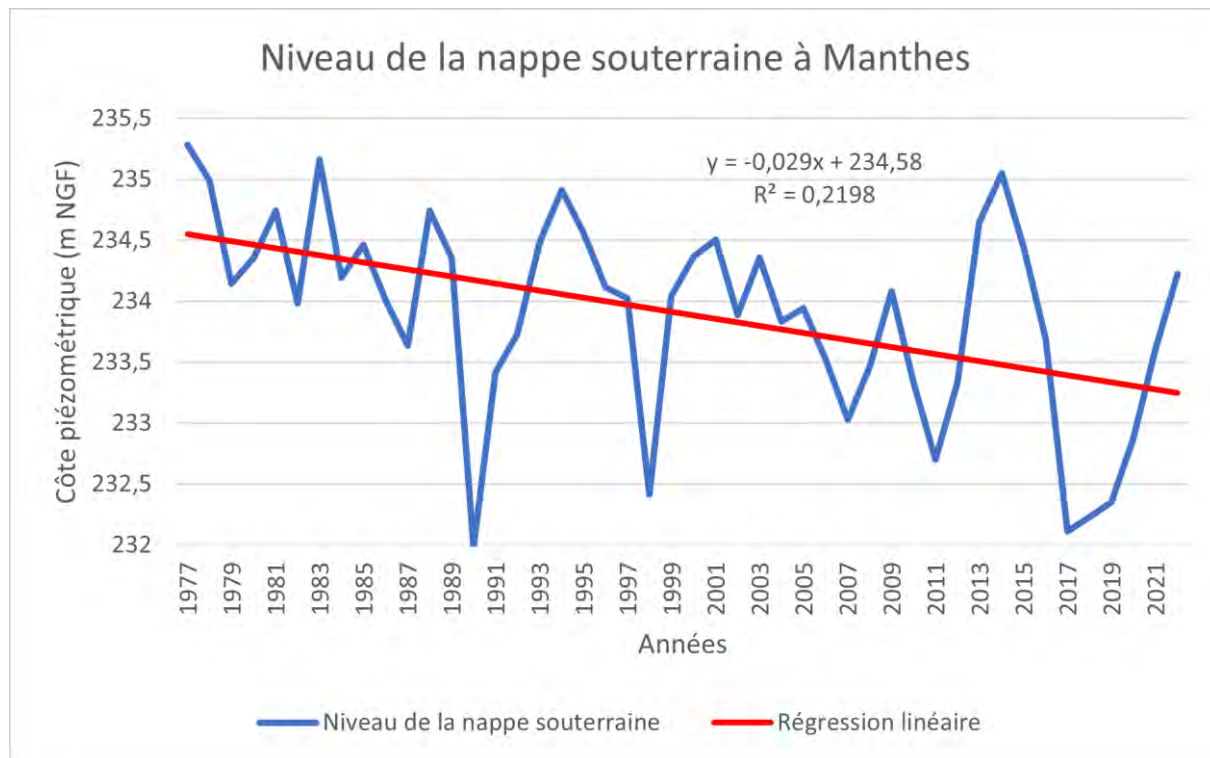
Niveau piézométrique des nappes souterraines soit le rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en m NGF (Nivellement Général Français).

📈 Évolution observée



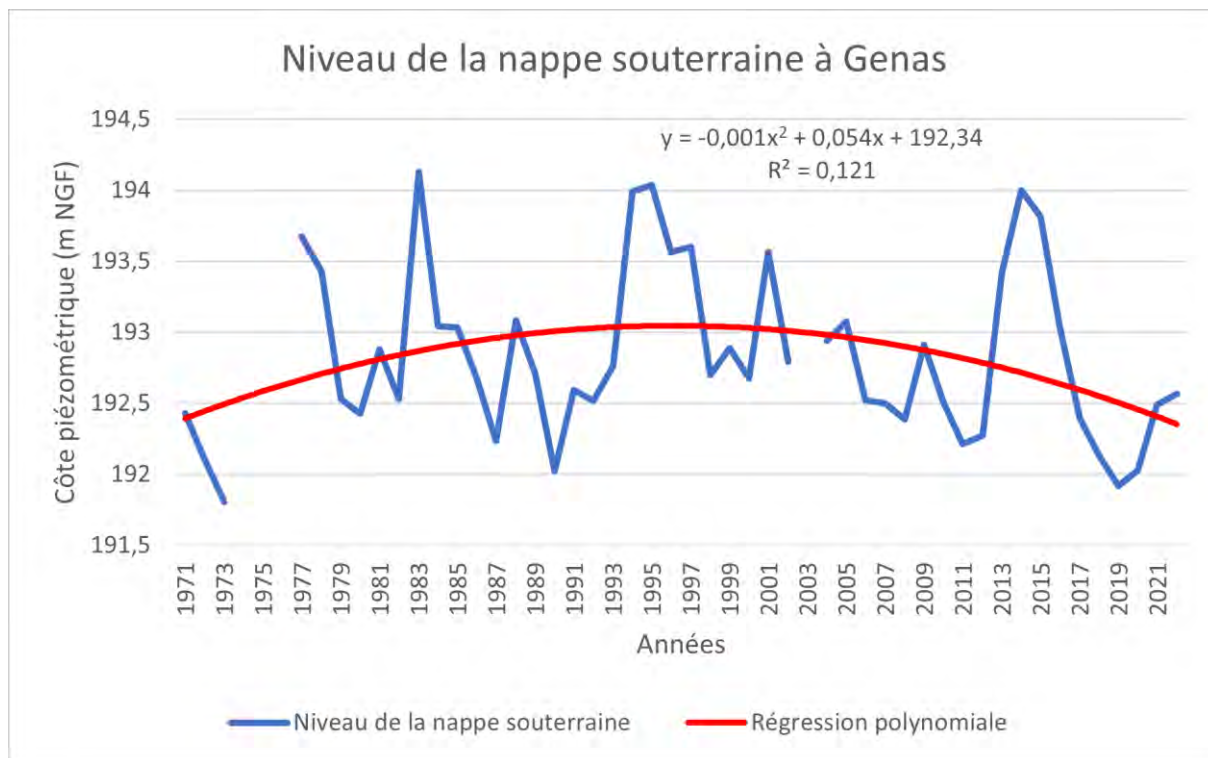
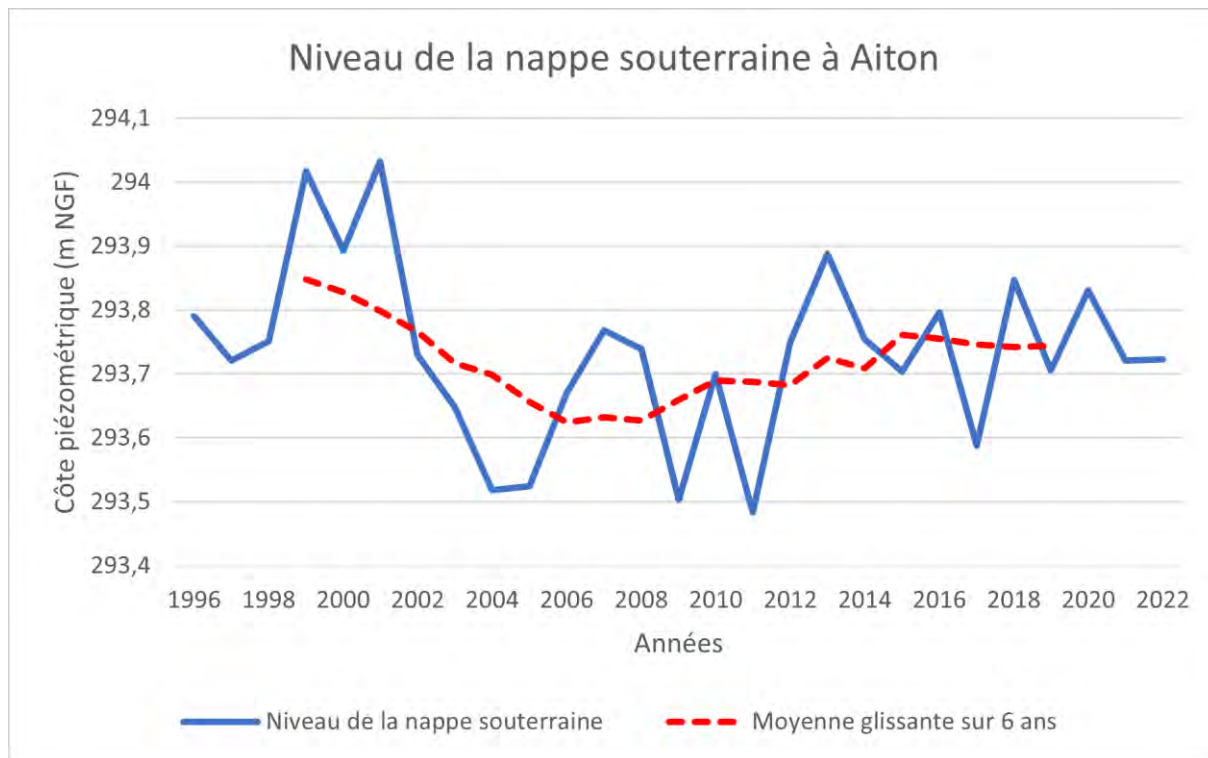


Niveau des nappes souterraines



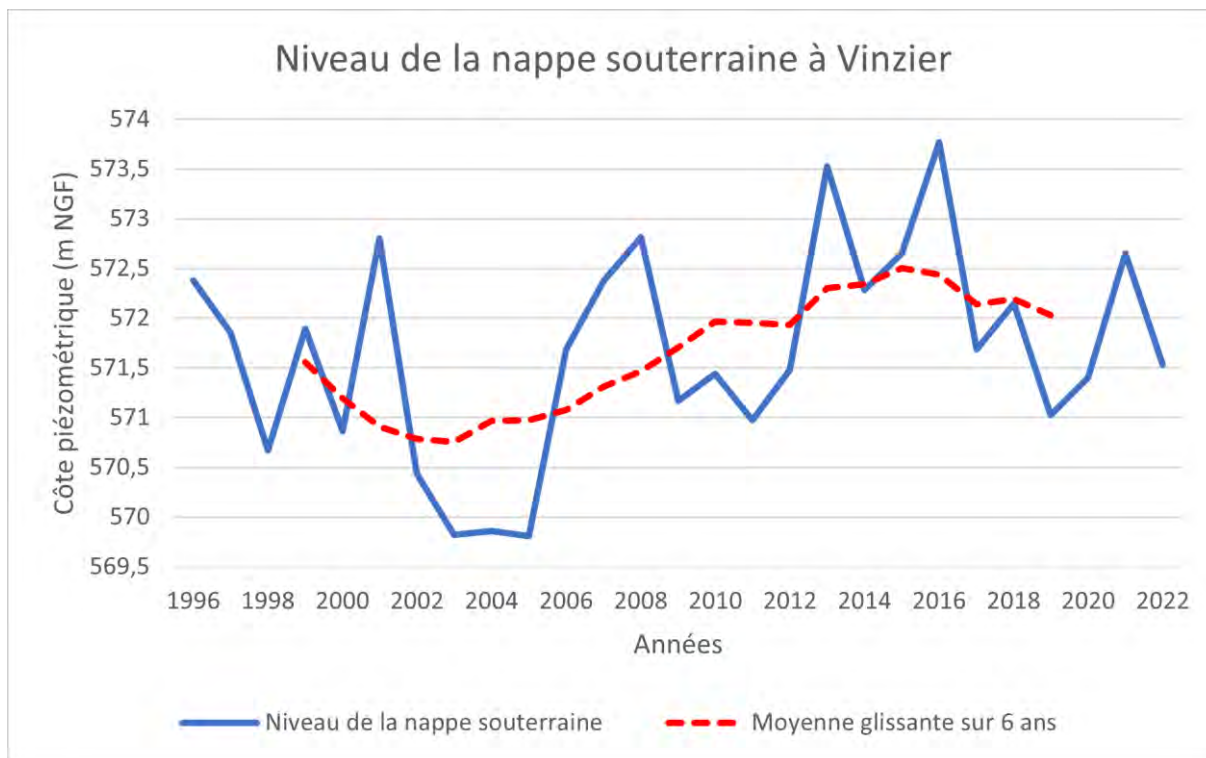


Niveau des nappes souterraines





Niveau des nappes souterraines



Analyse

L'évolution du niveau des nappes observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1971 montre des tendances significatives pour certains ouvrages étudiés. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Nappes	Evolution du niveau des nappes souterraines (mNGF / décennie)	Significativité de la tendance
Tossiat (01)	-0,6	*
Manthes (26)	-0,29	**
Saint-Joseph-de-Rivière (38)	-0,22	***
Genas (69)	/	* (binomial)
Aiton (73)	-0,02	ns
Vinzier (74)	0,38	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Niveau des nappes souterraines

Analyse

L'évolution du niveau des nappes de Tossiat (01), Manthes (26) et Saint-Joseph-de-Rivière (38) montre des tendances significatives à la diminution. Le niveau de la nappe de Genas (69) est mieux représenté par une régression binomiale. En effet, il y a une légère augmentation jusque dans les années 90 puis un plafonnement et enfin une légère diminution à partir des années 2000. Les évolutions des niveaux des nappes d'Aiton (73) et de Vinzier (74) ne montrent pas de tendances significatives. La faible profondeur de données disponible peut expliquer en partie ces résultats.

Les évolutions significatives, à l'échelle de toute la période étudiée sont les suivantes :

- **-2,09 m NGF** en 35 ans pour Tossiat (01)
- **-1,31 m NGF** en 45 ans pour Manthes (26)
- **-0,89 m NGF** en 41 ans pour Saint-Joseph-en-Rivière (38)

Les informations récoltées par le réseau piézométrique sont indispensables au suivi des ressources en eau souterraine. Toutefois, même si certaines études prédisent un impact négatif du changement climatique sur le niveau des nappes souterraines (Habets *et al.*, 2013), le lien avec le changement climatique ne peut se faire de manière certaine aujourd'hui. Le comportement des nappes et leur recharge diffèrent grandement en fonction de leurs caractéristiques hydrogéologiques. Certaines nappes ont une inertie faible et peuvent donc se recharger et se décharger rapidement. Au contraire, d'autres nappes ont une inertie forte ce qui les rend moins sensibles aux variations saisonnières. Les niveaux de certaines nappes sont par ailleurs fortement sous l'influence du niveau des cours d'eau.

L'étude du niveau des nappes doit se faire en parallèle de l'analyse de l'évolution des recharges et des prélèvements afin de vérifier l'adéquation entre la ressource et les besoins.

Pour aller plus loin : Les résultats du projet Explore 2070 font ressortir une baisse quasi générale de la piézométrie associée à une diminution de la recharge comprise entre 10 et 25% à l'horizon 2050 – 2070 en France.

A RETENIR

L'évolution du niveau des nappes souterraines de Tossiat (01), Manthes (26) et Saint-Joseph-en-Rivière (38) montre une tendance significative à la baisse.

Même si de nombreux facteurs peuvent influencer le niveau des nappes, l'étude Explore 2070 prédit une diminution de la recharge à l'horizon 2050 – 2070.

Une étude des recharges et des prélèvements permettrait de vérifier si l'équilibre entre la ressource et les besoins est respecté.

Pour en savoir plus

Habets, F., Thierion, C., Viennot, P., Amraoui, N., Caballaro, Y., Douez, O., Lallier, S., Saltel, M., Stollsteiner, P., de Lacaze, X., Paillou, A., Bonneville, S., 2013. Synthèse du projet Explore 2070. Hydrologie souterraine. In : *Gesteau*.



Impact de l'ozone sur la végétation

🔑 Nature et source des données

Données fournies par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes par le biais de la plateforme Geod'air.

🕒 Indicateur

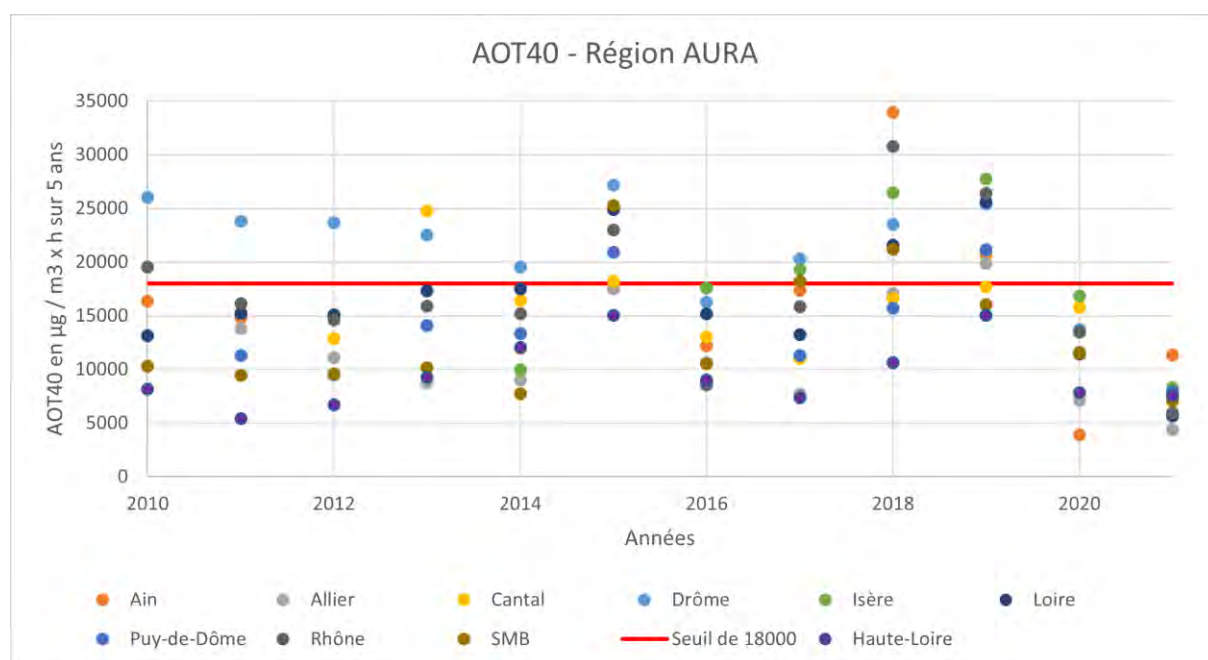
- Cotière (01) : 2010 - 2021
- Paray-le-Frésil (03) : 2011 – 2021
- Rageade (15) : 2011 – 2021
- Drôme rural sud (26) : 2010 – 2021
- Plateau de Bonneveaux (38) : 2014 – 2021
- La Talaudière (42) : 2010 – 2021
- Le Puy Centre / Le Puy-Causans (43) : 2010 – 2021
- Royat (63) : 2011 – 2021
- Le Haut Beaujolais (69) : 2010 – 2021
- Saint-Germain-sur-Rhône (74) : 2010 - 2021

📊 Calcul de l'indicateur

L'AOT40 végétation, pour « Accumulated Ozone exposure over Threshold 40 ppb » ou « Exposition cumulée au-dessus du seuil de 40 ppb (partie par milliard) d'ozone », est calculé à partir des valeurs horaires de mesure de la concentration en ozone du 1^{er} mai au 31 juillet entre 8 et 20h CET, ce qui correspond à la période de croissance de la végétation. L'AOT40 est une statistique moyennée sur 5 ans afin de s'affranchir des effets de la météorologie.

L'AOT40 végétation est à comparer au seuil de 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ en moyenne sur 5 ans puisqu'il s'agit du seuil européen de protection de la végétation (Directive 2002/3/CE du parlement européen et du conseil, 2002).

📈 Évolution observée





Impact de l'ozone sur la végétation



L'évolution de l'impact de l'ozone sur la végétation observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2010 montre des tendances non significatives pour presque toutes les stations étudiées. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution de l'AOT40 végétation ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ sur 5 ans / décennie)	Significativité de la tendance
AURA	-4893,80	ns
Ain	-96,36	ns
Allier	-2115,91	ns
Cantal	-5288,09	ns
Drôme	-10066,20	*
Isère	/	* (binomial)
Loire	-1545,56	ns
Haute-Loire	2076,01	ns
Puy-de-Dôme	728,09	ns
Rhône	-1002,8	ns
SMB	3547,87	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

La très légère baisse de l'impact de l'ozone sur la végétation visible dans le tableau ci-dessus n'est pas significative d'un point de vue statistique sauf pour la station de mesure située dans la Drôme. Pour la station de mesure de l'AOT40 située en Isère, la tendance est significative et l'ajustement le plus adapté est binomial. Pour l'ensemble du graphique, la faible profondeur des données ne permet pas de conclure à une tendance de fond quant à l'évolution de l'AOT40 en Auvergne-Rhône-Alpes.

La comparaison des résultats au seuil de $18\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ sur 5 ans n'est possible que pour les stations périurbaines et rurales. Le milieu urbain ayant une plus forte concentration d'autres polluants qui réagissent avec l'ozone et le consomment, les niveaux mesurés d'ozone seront inférieurs. La station de Le Puy en Haute-Loire est concernée par ce phénomène.

L'ozone, O_3 , est un gaz naturellement présent dans la stratosphère et la troposphère (Harmens *et al.*, 2011). Les oxydes d'azote, NO_x , émis principalement par le secteur des transports sont les principaux constituants impliqués dans l'augmentation des concentrations d'ozone à l'échelle globale (Mégié, 1994). Les composés organiques volatils (COV) sont également des précurseurs d'ozone. Ils sont émis lors de la combustion de carburants ou encore par le milieu naturel (végétation, forêt). La formation de l'ozone par réaction chimique entre ces gaz précurseurs se fait sous l'effet du rayonnement solaire. A ce phénomène, se rajoute la pénétration d'une partie de l'ozone formé à haute altitude dans la troposphère à cause de modifications de réactions chimiques complexes par les émissions anthropiques des chlorofluorocarbures, de méthane et d'oxyde d'azote. Le niveau d'ozone aurait été multiplié par quatre dans l'hémisphère Nord entre la fin du XIX^e / début du XX^e et la fin du XX^e siècle (Mégié, 1994).

Les années 2015, 2018 et 2019 sont témoins d'un impact de l'ozone sur la végétation dépassant le seuil européen. Une exposition de la végétation, et particulièrement des cultures, à de fortes concentrations en ozone est nocive et peut conduire à des effets d'ampleur notable sur les rendements. Plus précisément, les conséquences sont des pertes de production de biomasse, des baisses de rendements et un risque de nécrose. Même s'il y a encore peu d'études sur le sujet, les pertes de rendement sur le blé en Ile-de-France sont estimées en moyenne à 10% (ACSE, 2018).



Impact de l'ozone sur la végétation



Lien entre l'AOT40 et le rendement du blé :

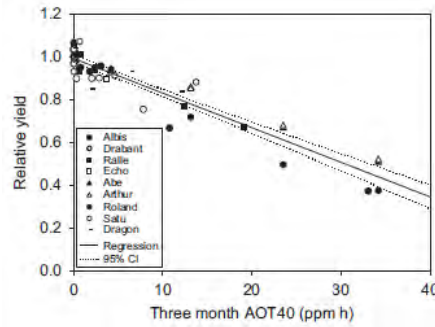


Fig. 2. Wheat yield-response function used to derive the concentration-based critical levels for agricultural crops (Note: dotted lines are 95% confidence limits, and the function, r^2 value and references used are provided in Table 1).

Source : Mills et al., 2007.

Ces diminutions de rendement entraînent des pertes économiques importantes qui s'élèvent à plusieurs millions d'euros dans les zones où les productions sont les plus importantes. Selon certains scénarios, la tendance est à la réduction des pertes économiques dues aux effets de l'ozone. Cette baisse se poursuivrait dans les années qui arrivent.

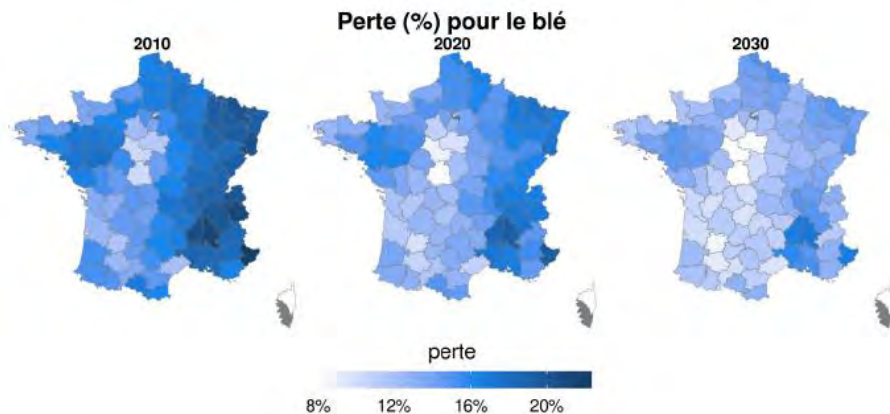


Figure 20 : Pertes en pourcentage sur le domaine France pour le blé tendre calculées par rapport à une production idéale (sans impact de l'ozone) pour l'année 2010 et projection pour les années 2020 et 2030

Source : Schucht et al., 2019.

Pour aller plus loin : L'ozone présent dans l'atmosphère altère la production agricole avec des effets économiques significatifs pour le secteur. Ces effets sont quantifiés dans la réglementation Européenne par l'AOT40. Cependant, cet indicateur ne prend pas en compte l'état de stress hydrique de la plante souvent concomitant des pics de pollutions à l'ozone. Ceci conduit la plante à réduire ses flux stomatiques et donc son exposition à l'ozone. Afin de pallier ce manque, un nouvel indicateur établi sur la base des flux stomatiques a été proposé à partir des années 2000 : POD, « Phytotoxic ozone dos » (Schucht et al., 2019).



Impact de l'ozone sur la végétation



Analyse

A RETENIR

L'évolution de l'impact de l'ozone sur la végétation ne montre pas de tendance significative pour les stations étudiées.

Les effets de fortes concentrations en ozone sur les activités agricoles restent peu connus des décideurs et des médias. Les quelques études réalisées à ce sujet et notamment le projet APollO (Analyse économique des impacts de la Pollution atmosphérique de l'Ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France) font état d'une tendance à la baisse des impacts de l'ozone agrégés sur la France et l'Europe. Toutefois, il y avait des augmentations localisées d'impact de l'ozone dans certaines régions en fonction de l'espèce. L'étude ne porte que sur les années antérieures à 2010. Après cette date, une tendance à la stagnation avec une évolution non significative est observée sur l'AOT40 végétation.

L'ozone a un effet néfaste sur la végétation, notamment sur la photosynthèse, qui conduit à une baisse de rendement des cultures. En France, les pertes économiques agrégées restent importantes : en 2010, près de 1 milliard d'euros pour le blé tendre, plus d'1 milliard d'euros pour les prairies et plus de 200 millions d'euros pour les pommes de terre.



Pour en savoir plus

ACSE, 2018. Colloque ACSE (air, climat, sol, énergie). In : *Chambre d'Agriculture Grand-Est*. 22 février 2018 à Laxou.

Directive 2002/3/CE du parlement européen et du conseil relative à l'ozone dans l'air ambiant, 2002. In : *Journal officiel des Communautés européennes*. L 67 / 14. 12 février 2002.

Harmens, H., Mills, G., Hayes, F., Norris, D., 2011. Air Pollution and Vegetation. ICP Vegetation Annual Report 2010 / 2011. In : *Centre for Ecology & Hydrology*. Août 2011.

Mégie, G., 1994. Un nouveau problème pour l'environnement global : l'augmentation de l'ozone troposphérique. In : *Natures – Sciences – Sociétés*. 2 (1).

Mills, G., Buse, A., Gimeno, B., Bermejo, V., Holland, M., Emberson, L., Pleijel, H., 2007. A synthesis of AOT40-based response functions and critical levels of ozone for agricultural and horticultural crops. In : *Atmospheric Environment*. PP 2630-2643.

Schucht, S., Tognet, F., Colette, A., Letinois, L., Lenoble, C., Agasse, S., Mathieu, Q., 2019. Coût économique pour l'agriculture des impacts de la pollution de l'air par l'ozone – ApollO : Analyse économique des impacts de la pollution atmosphérique de l'ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France. In : *ADEME*. Rapport, 160 pages.



Impact de l'ozone sur la forêt

🔑 Nature et source des données

Données fournies par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

🕒 Indicateur

- Cotière (01) : 2010 - 2021
- Paray-le-Frésil (03) : 2010 – 2021
- Rageade (15) : 2010 – 2021
- Drôme rural sud (26) : 2010 – 2021
- La Talaudière (42) : 2010 – 2021
- Le Puy Centre / Le Puy-Causans (43) : 2010 – 2021
- Royat (63) : 2010 – 2021
- Le Haut Beaujolais (69) : 2011 – 2021
- Saint-Germain-sur-Rhône (74) : 2010 - 2021

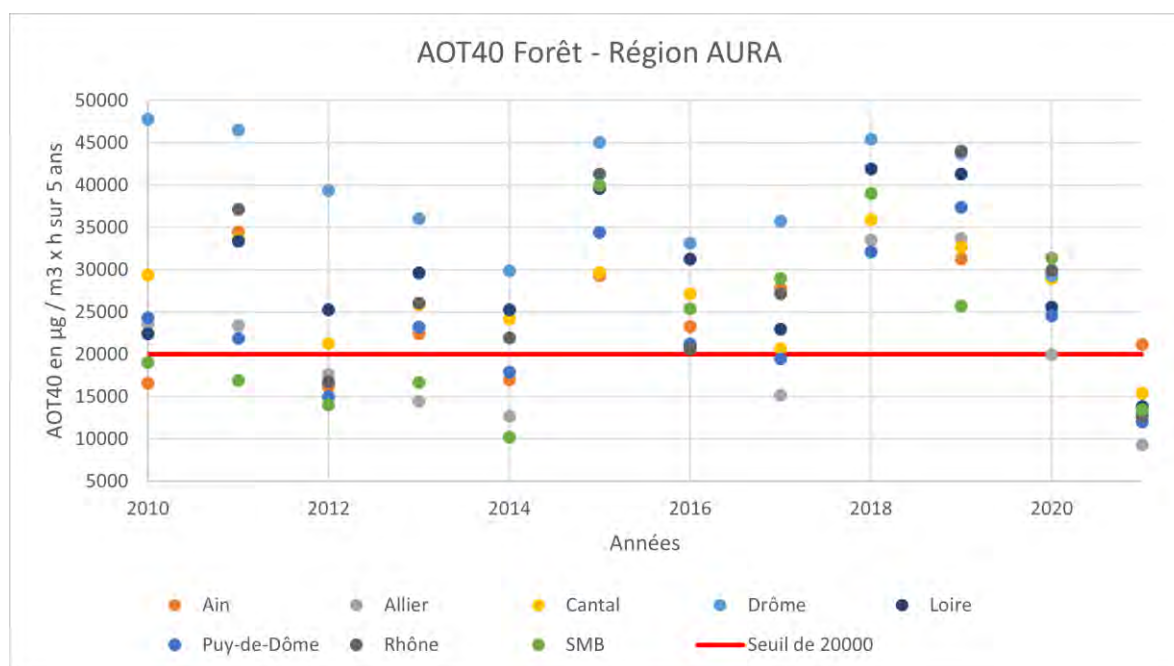
📊 Calcul de l'indicateur

L'AOT40 forêt, pour « Accumulated Ozone exposure over Threshold 40 ppb » ou « Exposition cumulée au-dessus du seuil de 40 ppb (partie par milliard) d'ozone », est calculé à partir des valeurs horaires de mesure de la concentration en ozone du 1^{er} avril au 31 septembre entre 8 et 20h CET, ce qui correspond à la période de croissance des arbres. L'AOT40 est une statistique moyennée sur 5 ans afin de s'affranchir des effets de la météorologie.

L'AOT40 forêt est à comparer au seuil de 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ en moyenne sur 5 ans puisqu'il s'agit du seuil européen de protection de la forêt (Directive 2002/3/CE du parlement européen et du conseil, 2002).

Une exposition des arbres à de fortes concentrations d'ozone peut engendrer la mort des cellules foliaires et ensuite la chute prématurée des feuilles. Ces pertes foliaires entraînent des diminutions de croissance et un affaiblissement des arbres, les rendant plus sensibles aux attaques parasitaires et aux aléas climatiques (ONF, nd).

📈 Évolution observée





Impact de l'ozone sur la forêt



Analyse

L'évolution de l'impact de l'ozone sur la forêt observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2010 montre des tendances non significatives pour toutes les stations étudiées. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution de l'AOT40 forêt ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ sur 5 ans / décennie)	Significativité de la tendance
AURA	854,33	ns
Ain	428,64	ns
Allier	648,19	ns
Cantal	-276,56	ns
Drôme	-15828,20	ns
Loire	-236,53	ns
Haute-Loire	5603,56	ns
Puy-de-Dôme	2830,86	ns
Rhône	3537,33	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

La légère baisse de l'impact de l'ozone sur la végétation visible dans le tableau ci-dessus n'est pas significative d'un point de vue statistique pour les stations de mesure situées dans le Cantal, dans la Drôme et dans la Loire. Les résultats sont au contraire plutôt à la hausse, même si non significatif d'un point de vue statistique, pour les stations de mesures situées dans l'Ain, l'Allier, la Haute-Loire, le Puy-de-Dôme et le Rhône. La faible profondeur des données ne permet pas de conclure à une tendance de fond quant à l'évolution de l'AOT40 forêt en Auvergne-Rhône-Alpes.

La comparaison des résultats au seuil de $20\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ sur 5 ans n'est possible que pour les stations périurbaines et rurales. Le milieu urbain ayant une plus forte concentration d'autres polluants qui réagissent avec l'ozone et le consomment, les niveaux mesurés d'ozone seront inférieurs. La station de Le Puy en Haute-Loire est concernée par ce phénomène.

L'ozone, O_3 , est un gaz naturellement présent dans la stratosphère et la troposphère (Harmens *et al.*, 2011). Les oxydes d'azote, NO_x , émis principalement par le secteur des transports sont les principaux constituants impliqués dans l'augmentation des concentrations d'ozone à l'échelle globale (Mégie, 1994). Les composés organiques volatils (COV) sont également des précurseurs d'ozone. Ils sont émis lors de la combustion de carburants ou encore par le milieu naturel (végétation, forêt). La formation de l'ozone par réaction chimique entre ces gaz précurseurs se fait sous l'effet du rayonnement solaire. A ce phénomène, se rajoute la pénétration d'une partie de l'ozone formé à haute altitude dans la troposphère à cause de modifications de réactions chimiques complexes par les émissions anthropiques des chlorofluorocarbures, de méthane et d'oxyde d'azote. Le niveau d'ozone aurait été multiplié par quatre dans l'hémisphère Nord entre la fin du XIX^e / début du XX^e et la fin du XX^e siècle (Mégie, 1994).

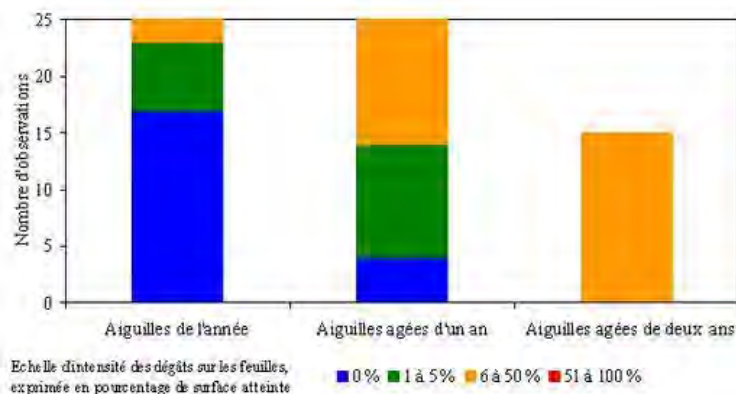
En dehors de l'année 2021, l'impact de l'ozone sur la forêt dépasse le seuil européen pour la majorité des stations de mesures.



Impact de l'ozone sur la forêt

Analyse

Une étude a été menée sur les Pins laricio de Corse (*Pinus nigra laricio corsicana*) de la forêt territoriale d'Aitone en Haute-Corse. Une évaluation des symptômes liés à l'ozone a été réalisée en 2001. Le constat est que l'intensité des dégâts progresse avec le vieillissement des aiguilles.



Source : Cecchini, 2001.

Il y a encore peu d'études sur le sujet. Pour le moment, l'incertitude semble trop grande pour quantifier les effets de l'ozone sur les forêts (Schucht *et al.*, 2019).

Pour aller plus loin : L'ozone présent dans l'atmosphère altère la production sylvicole avec des effets économiques significatifs pour le secteur. Ces effets sont quantifiés dans la réglementation Européenne par l'AOT40. Cependant, cet indicateur ne prend pas en compte l'état de stress hydrique de la plante souvent concomitant des pics de pollutions à l'ozone. Ceci conduit la plante à réduire ses flux stomatiques et donc son exposition à l'ozone. Afin de pallier ce manque, un nouvel indicateur établi sur la base des flux stomatiques a été proposé à partir des années 2000 : POD, « Phytotoxic ozone dos » (Schucht *et al.*, 2019).

A RETENIR

L'évolution de l'impact de l'ozone sur la forêt ne montre pas de tendance significative pour les stations étudiées.

Les effets de fortes concentrations en ozone sur les activités sylvicoles restent peu connus des décideurs et des médias. Les quelques études réalisées à ce sujet et notamment le projet APollO (Analyse économique des impacts de la Pollution atmosphérique de l'Ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France) font état d'une tendance à la baisse des impacts de l'ozone agrégés sur la France et l'Europe. Toutefois, il y avait des augmentations localisées d'impact de l'ozone dans certaines régions en fonction de l'espèce. L'étude ne porte que sur les années antérieures à 2010. Après cette date, une tendance à la stagnation avec une évolution non significative est observée sur l'AOT40 forêt.

L'ozone a un effet néfaste sur les forêts et conduit à une chute prématurée des feuilles. En France, les pertes économiques n'ont pas été quantifiées pour le moment.



Impact de l'ozone sur la forêt



Pour en savoir plus

Cecchini, S., 2001. L'ozone et la forêt. In : *Office National des forêts*.

OFN, nd. L'ozone et la forêt.

Directive 2002/3/CE du parlement européen et du conseil relative à l'ozone dans l'air ambiant, 2002. In : *Journal officiel des Communautés européennes*. L 67 / 14. 12 février 2002.

Harmens, H., Mills, G., Hayes, F., Norris, D., 2011. Air Pollution and Vegetation. ICP Vegetation Annual Report 2010 / 2011. In : *Centre for Ecology & Hydrology*. Août 2011.

Mégie, G., 1994. Un nouveau problème pour l'environnement global : l'augmentation de l'ozone troposphérique. In : *Natures – Sciences – Sociétés*. 2 (1).

Schucht, S., Tognet, F., Colette, A., Letinois, L., Lenoble, C., Agasse, S., Mathieu, Q., 2019. Coût économique pour l'agriculture des impacts de la pollution de l'air par l'ozone – Apollo : Analyse économique des impacts de la pollution atmosphérique de l'ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France. In : *ADEME*. Rapport, 160 pages.



Rendement du maïs grain

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

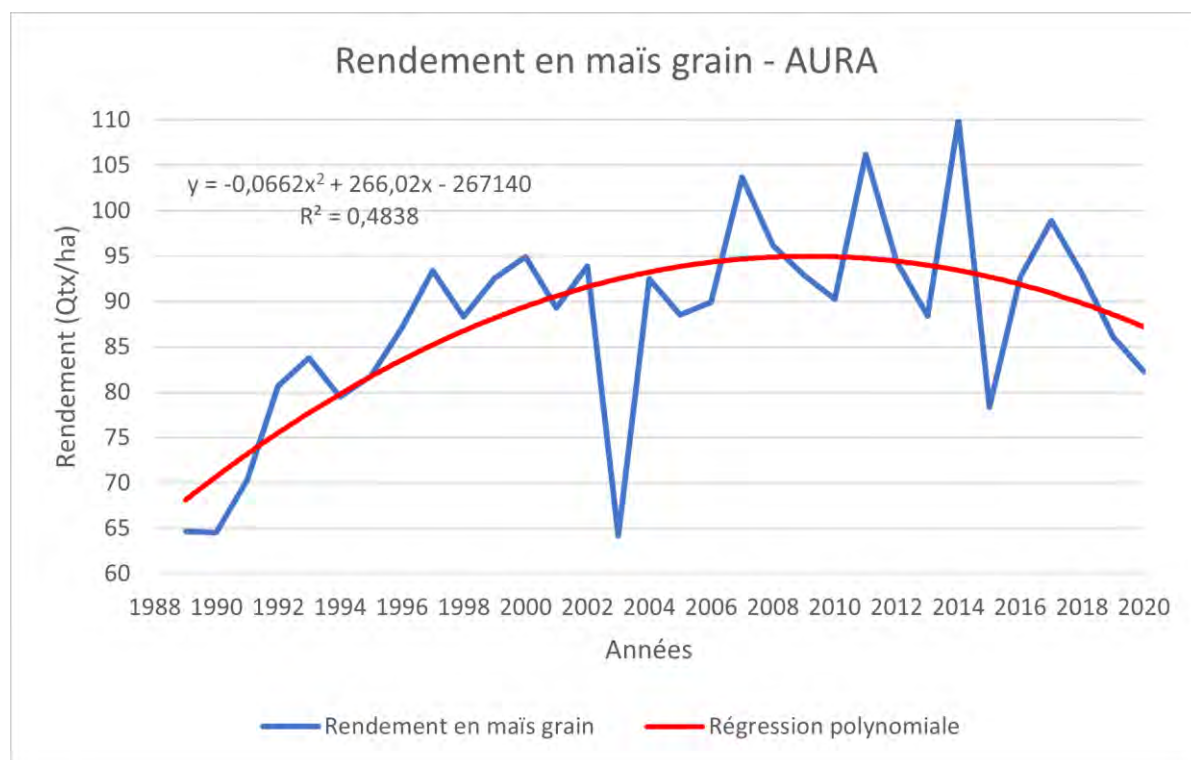
🕒 Indicateur

- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1989 - 2020
- Ain (01) : 1989 – 2020
- Allier (03) : 1989 - 2020
- Drôme (26) : 1989 - 2020
- Isère (38) : 1989 – 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1989 – 2020

📊 Calcul de l'indicateur

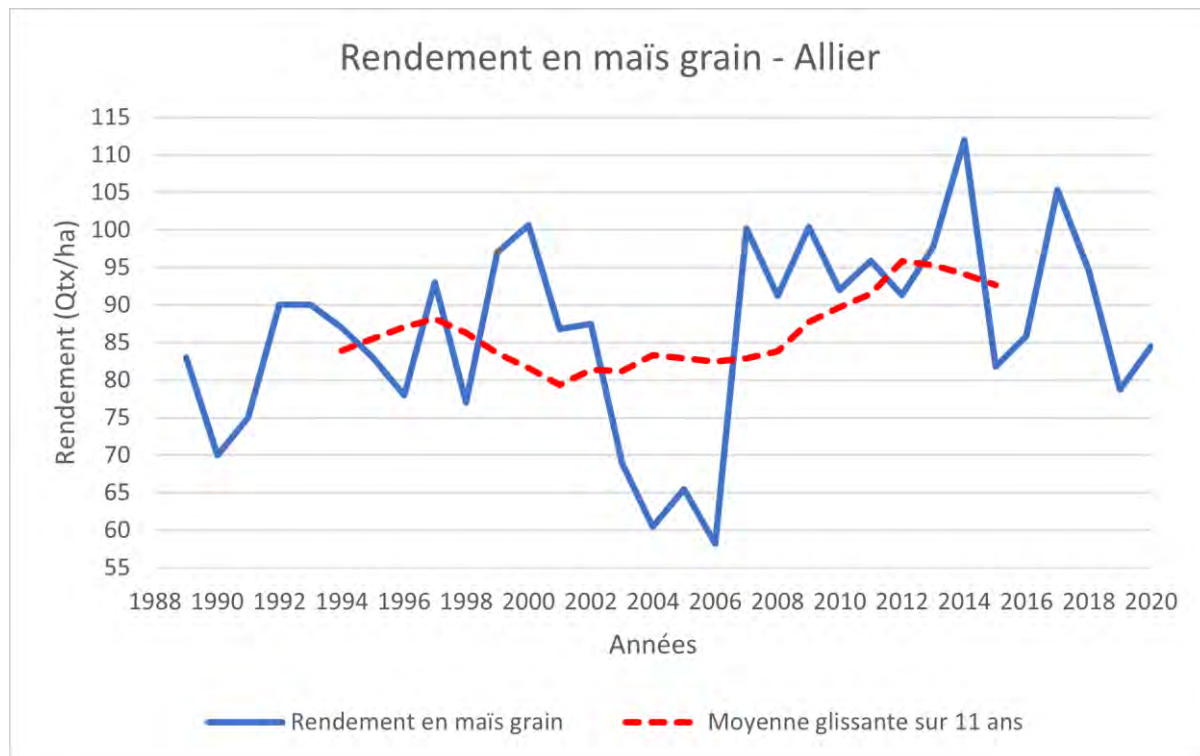
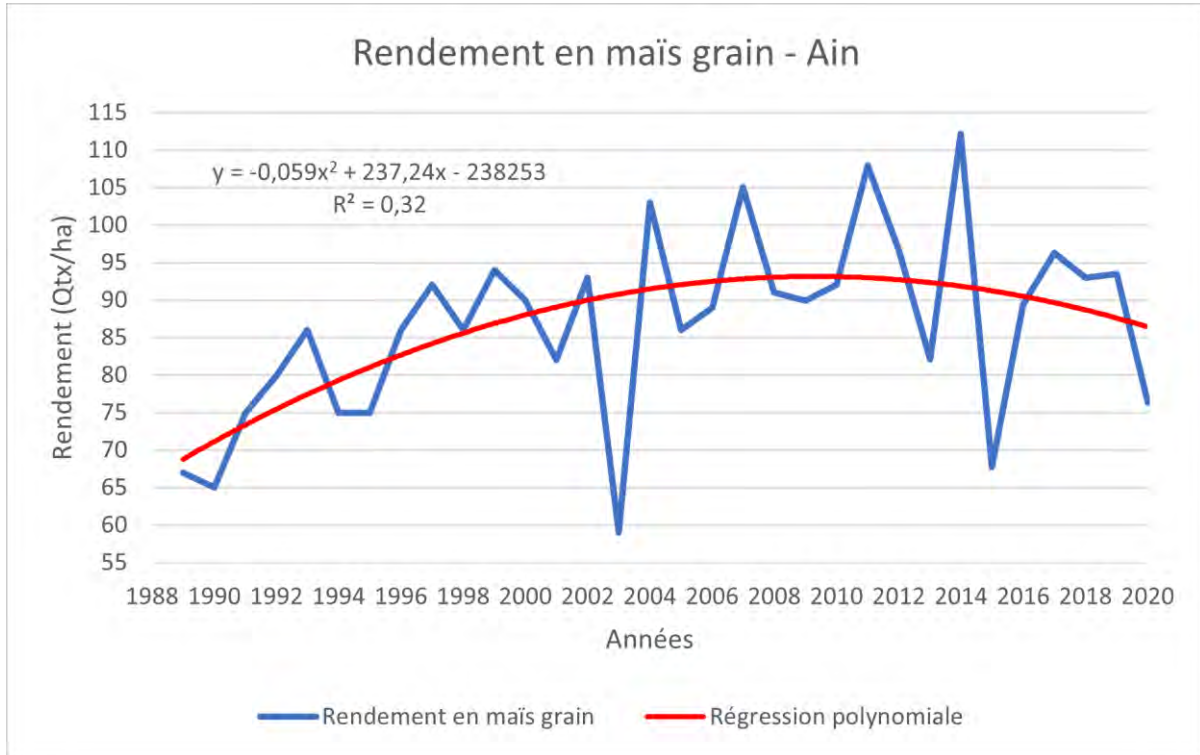
Le rendement est calculé en divisant la production (en quintal) par la surface cultivée (en hectare). Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en maïs grain supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés.

📈 Évolution observée



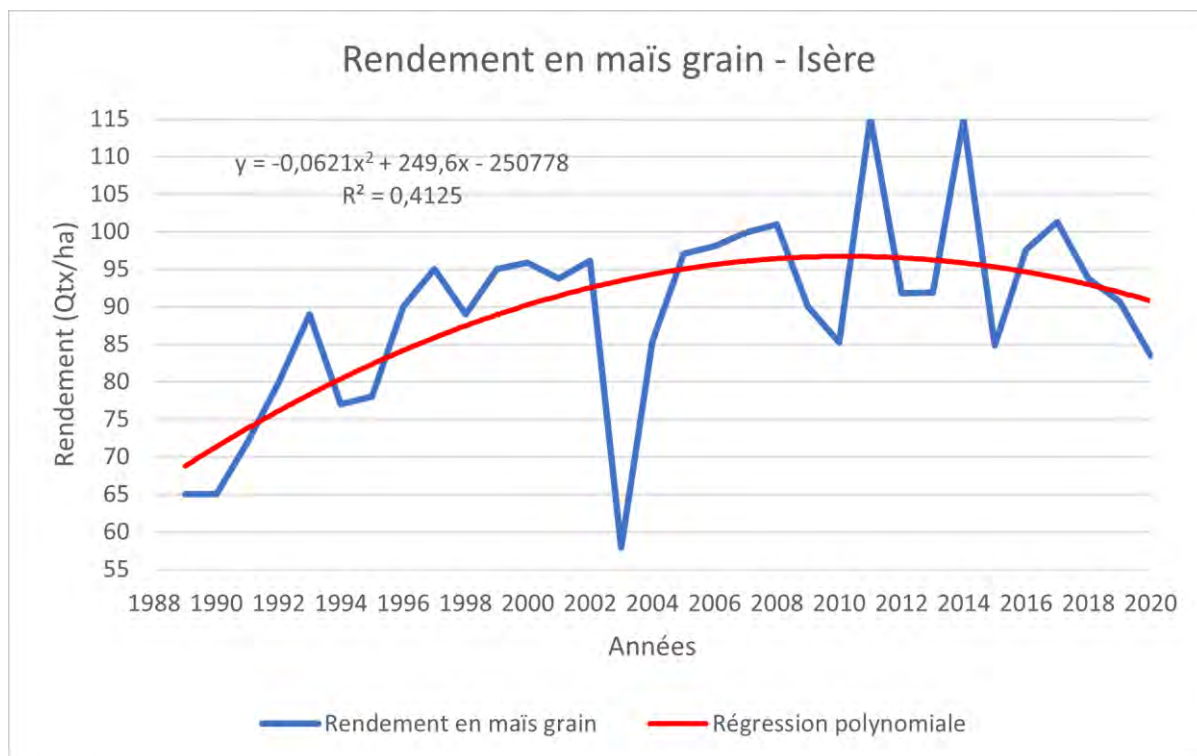
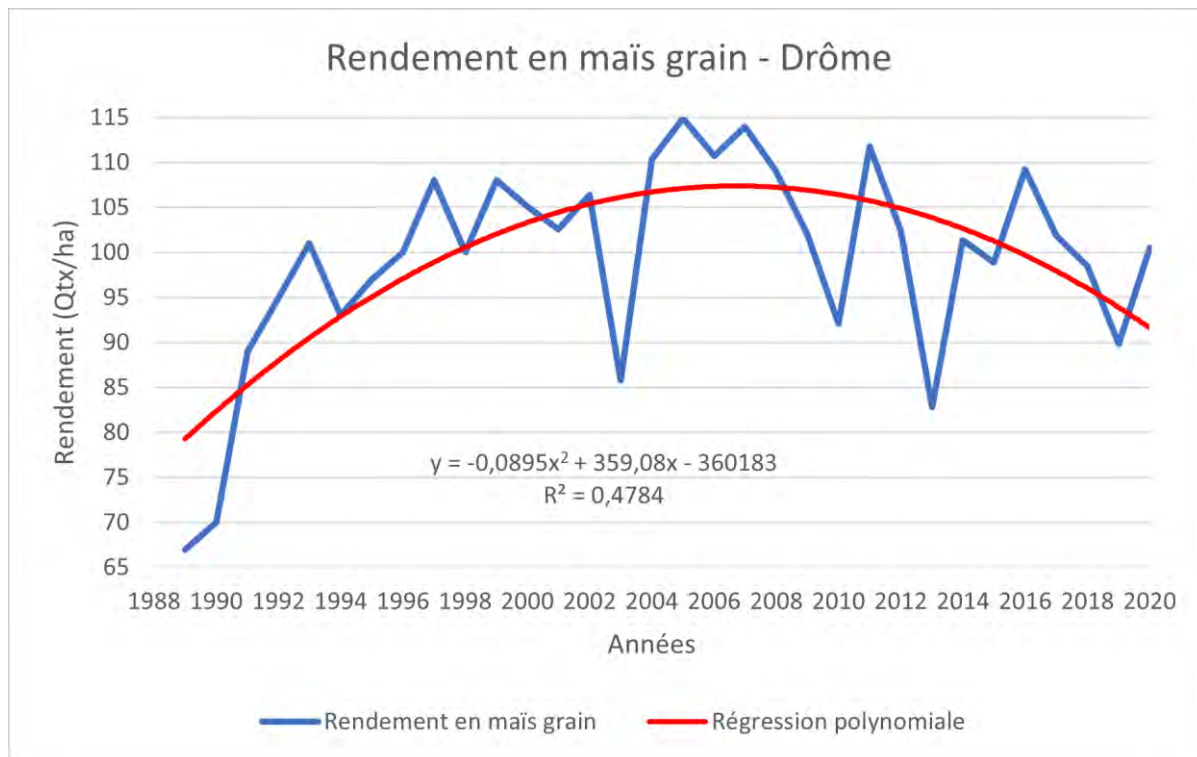


Rendement du maïs grain



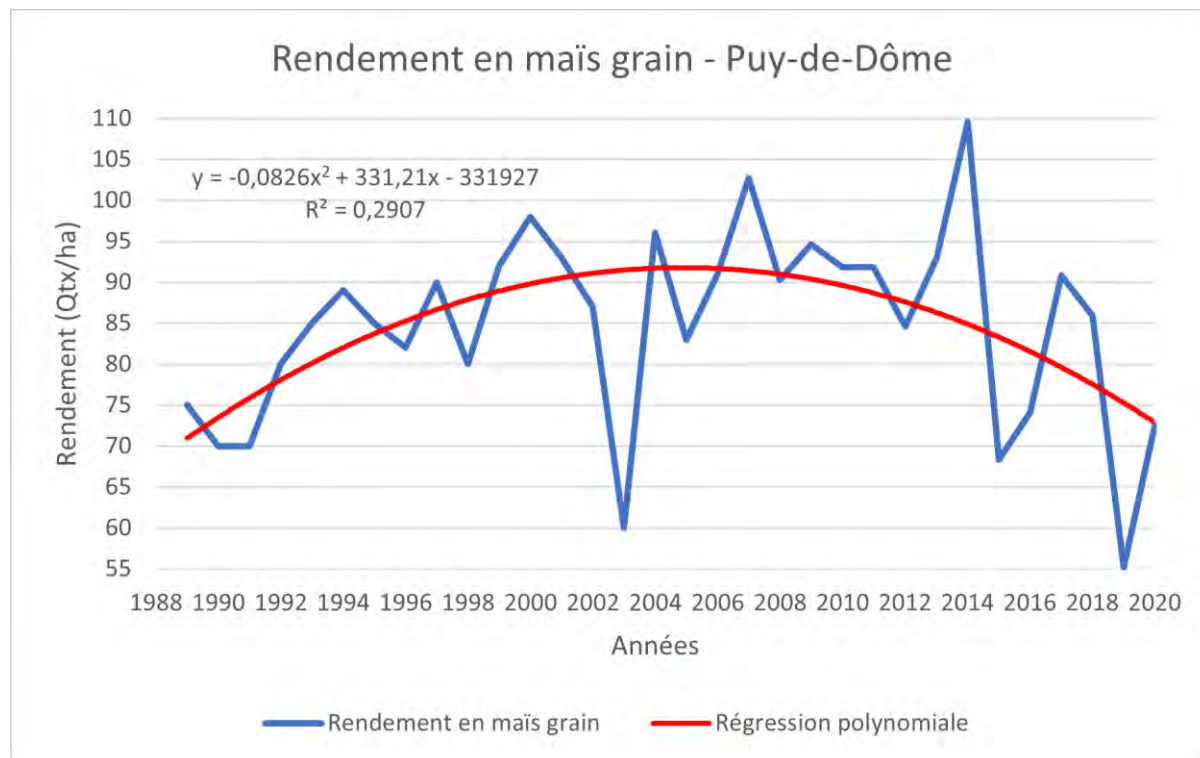


Rendement du maïs grain





Rendement du maïs grain



Analyse

L'évolution des rendements en maïs grain observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1989 montre des tendances significatives au plafonnement pour tous les départements étudiés sauf celui de l'Allier. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement binomial) :

Territoire	Significativité de la tendance
AURA	***
Ain	**
Allier	ns
Drôme	***
Isère	**
Puy-de-Dôme	**

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Les résultats montrent un plafonnement des rendements en maïs grain voire une diminution ces dernières années, particulièrement visible dans le Puy-de-Dôme. En effet, deux périodes se distinguent :

- Une période de forte augmentation du rendement avant les années 2000
- Une période de stagnation des rendements à partir des années 2000 avec une diminution plus ou moins forte en fonction des départements ces dernières années



Rendement du maïs grain



Cette stagnation de la production s'observe malgré des progrès génétiques constants (Jouzel *et al.*, 2021). Ceci s'explique donc en partie par le changement climatique. En effet, l'augmentation des températures provoque une anticipation de la floraison qui induit un glissement de la phase de remplissage pendant les mois les plus chauds de l'année (cf. « Choix variétaux de maïs »). En conséquence, la durée de remplissage des grains est raccourcie ce qui provoque la baisse de rendement du maïs (Brisson, 2010). Les causes de la stagnation des rendements du maïs grain et plus globalement des céréales à paille ne résultent pas uniquement de la chaleur et de la sécheresse : les excès d'eau, les ensoleillements trop faibles peuvent également être très extrêmes et fortement pénalisants. Des trop fortes précipitations au moment de l'implantation de la culture freinent le développement des racines et rendent la culture plus sensible à la sécheresse en fin de cycle. Celle-ci empêche également une croissance normale des tiges (Jouzel *et al.*, 2021). Des problèmes de fécondation sont également liés aux très fortes chaleurs.

Les impacts proviennent également des ravageurs. Leur cycle étant lié aux températures, ils sont amenés à développer une génération additionnelle au cours de l'année, à étendre leur aire géographique vers le nord ou arriver de manière plus hâtive en saison. La Pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, en est un exemple (Debailleul, 2013).

Cette stagnation des rendements peut s'accompagner d'une grande variabilité de production d'une année à l'autre (Jouzel *et al.*, 2021). Par exemple, en 2014, les rendements en maïs grain ont été en forte hausse puisqu'ils ont bénéficié d'une bonne implantation et de pluies estivales suffisantes. La maturation finale des grains s'est déroulée dans de bonnes conditions grâce aux températures élevées de septembre (AGRESTE, 2014). En revanche, en 2015, les rendements ont fortement chuté. Le manque de pluie et la chaleur estivale ont pénalisé la production (AGRESTE, 2015). Ces grandes variations dans les volumes collectés entraînent des répercussions sur les prix des produits agricoles, dans un contexte de marché mondialisé comme celui des céréales. Le marché de l'offre et de la demande ainsi que le marché spéculatif peuvent amplifier ce phénomène et parfois fragiliser la filière (Jouzel *et al.*, 2021).

Toutefois, d'autres facteurs influencent les rendements du maïs grain. L'intensification ou au contraire l'extensification des pratiques peut jouer un rôle. Il s'agirait d'étudier l'évolution des surfaces en Agriculture Biologique (AB), en Agriculture de Conservation des Sols (ACS) ou encore l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT). La diversification des rotations, la localisation de la production ou encore la réglementation (interdiction de certains produits phytosanitaires ou arrêtés cadre sécheresse par exemple) sont également des facteurs à prendre en compte.



Rendement du maïs grain



Analyse

A RETENIR

Les résultats montrent un plafonnement des rendements en maïs grain voire une diminution ces dernières années, particulièrement visible dans le Puy-de-Dôme. A la suite d'une forte augmentation du rendement, les années 2000 sont marquées par une période de stagnation des rendements avec même une diminution plus ou moins forte ces dernières années, en fonction des territoires.

Les changements climatiques, mêlés à d'autres facteurs, sont responsables de ce phénomène. La modification des calendriers agricoles, des dynamiques de populations de ravageurs ainsi que les événements climatiques extrêmes ont, entre autres, des impacts négatifs sur la production. Les progrès génétiques, techniques et technologiques ne suffisent plus à conserver une augmentation du rendement en maïs grain.



Pour en savoir plus

AGRESTE, 2014. En 2014, les prix des principales productions végétales et animales sont en recul sur un an. In : *Agreste Conjoncture*. N°6. Octobre-Novembre 2014.

AGRESTE, 2015. En 2015, des marchés agricoles sous la pression des excédents mondiaux et communautaires. In : *Agreste Conjoncture*. N°8. Décembre 2015.

Brisson, N., 2010. Changement climatique et cultures de maïs et sorgho grains : l'essentiel des impacts. In : *CLIMATOR*. 3 juin 2010.

Debailleul, G., 2013. Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques. In : *Consortium Ouranos*. Mars 2013.

Jouzel, J., Jézéquel, S., Dubief, P., Loiseau, J-F., 2021. Changement climatique : les transitions à l'œuvre dans la filière céréalière. In : *Céréales & Climat*. Dossier de presse. 7 avril 2021.



Rendement du maïs grain irrigué et non irrigué

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

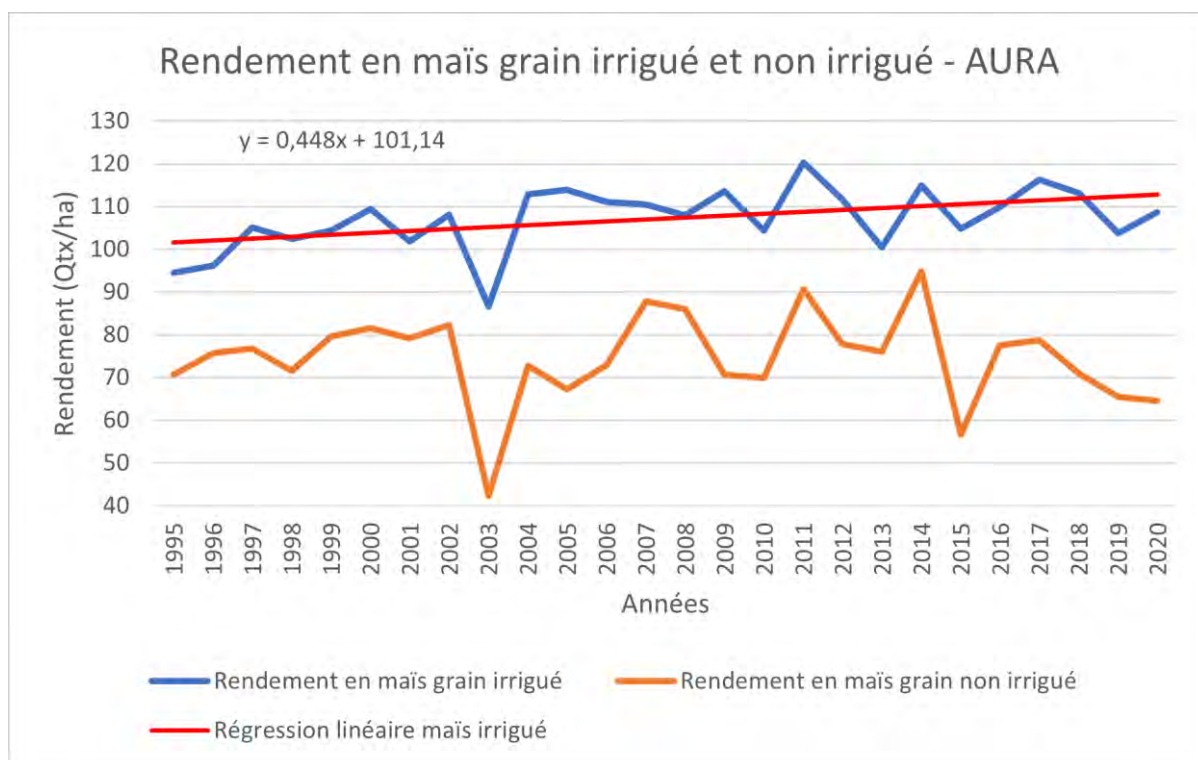
🕒 Indicateur

- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1995 - 2020
- Ain (01) : 1995 - 2020
- Allier (03) : 1995 - 2020
- Drôme (26) : 1995 - 2020
- Isère (38) : 1995 - 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1995 - 2020

📊 Calcul de l'indicateur

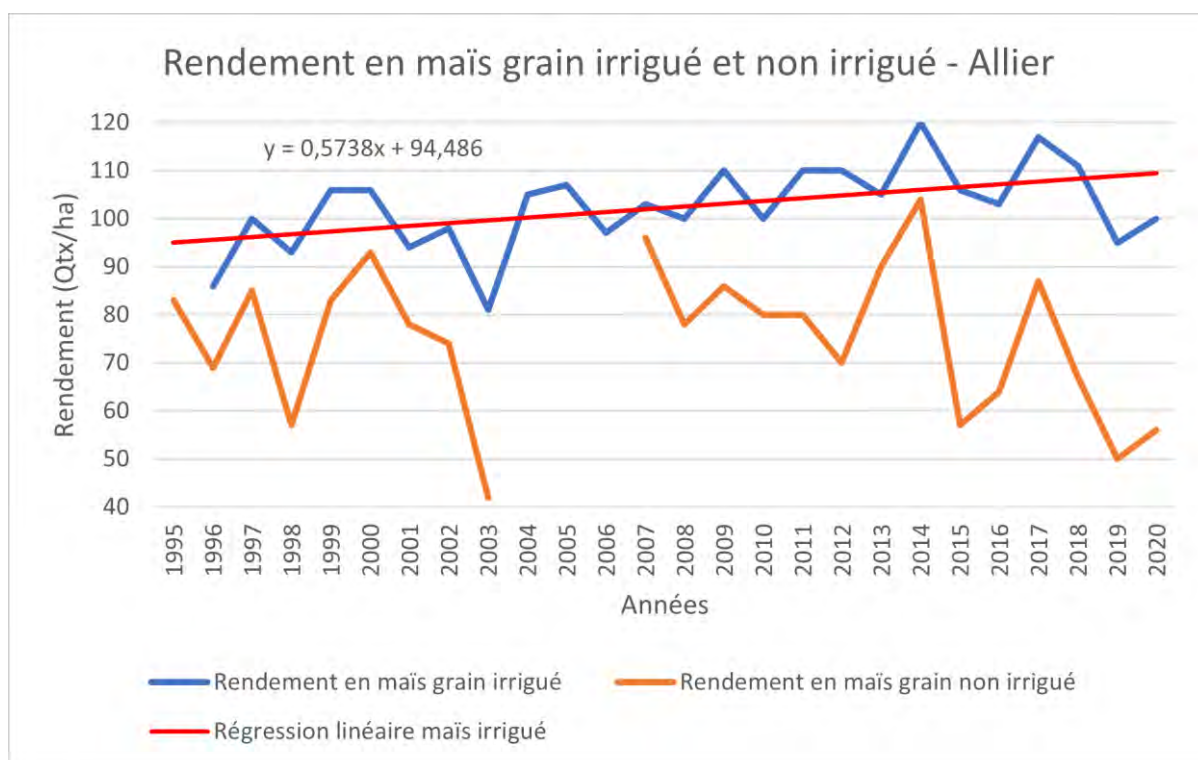
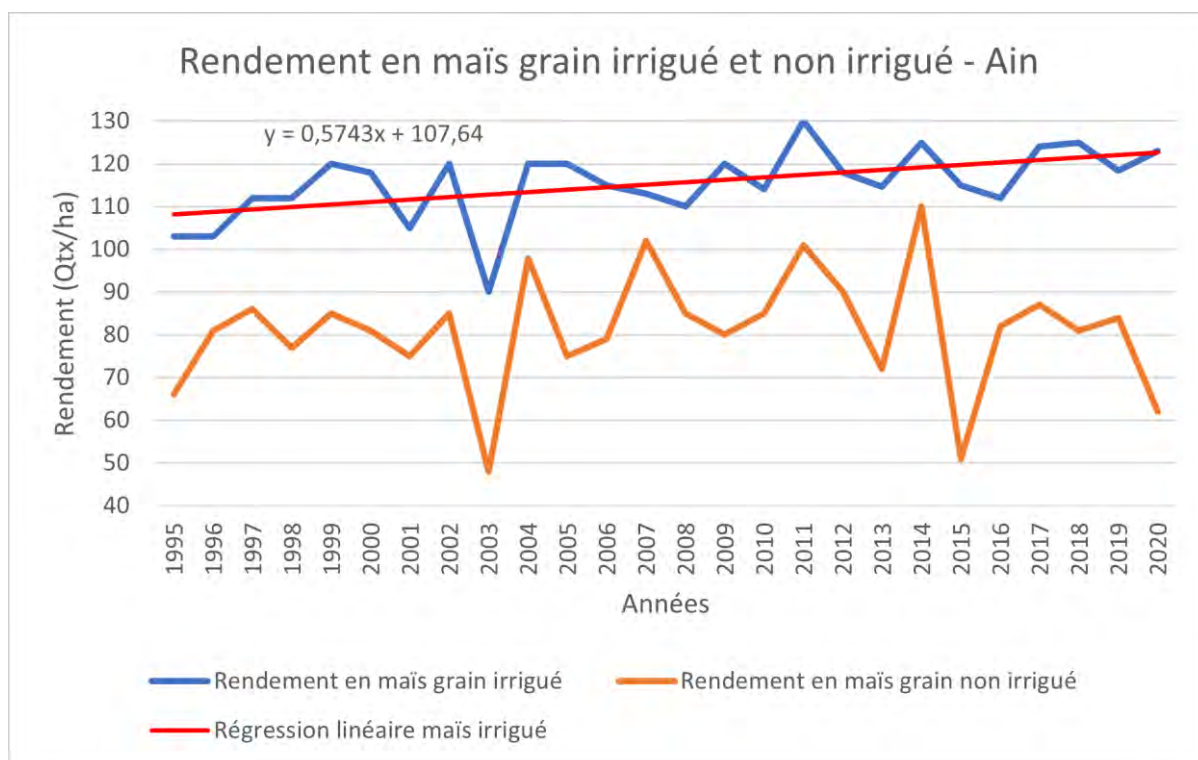
Le rendement est calculé en divisant la production (en quintal) par la surface cultivée (en hectare). Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en maïs grain supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés.

📈 Évolution observée



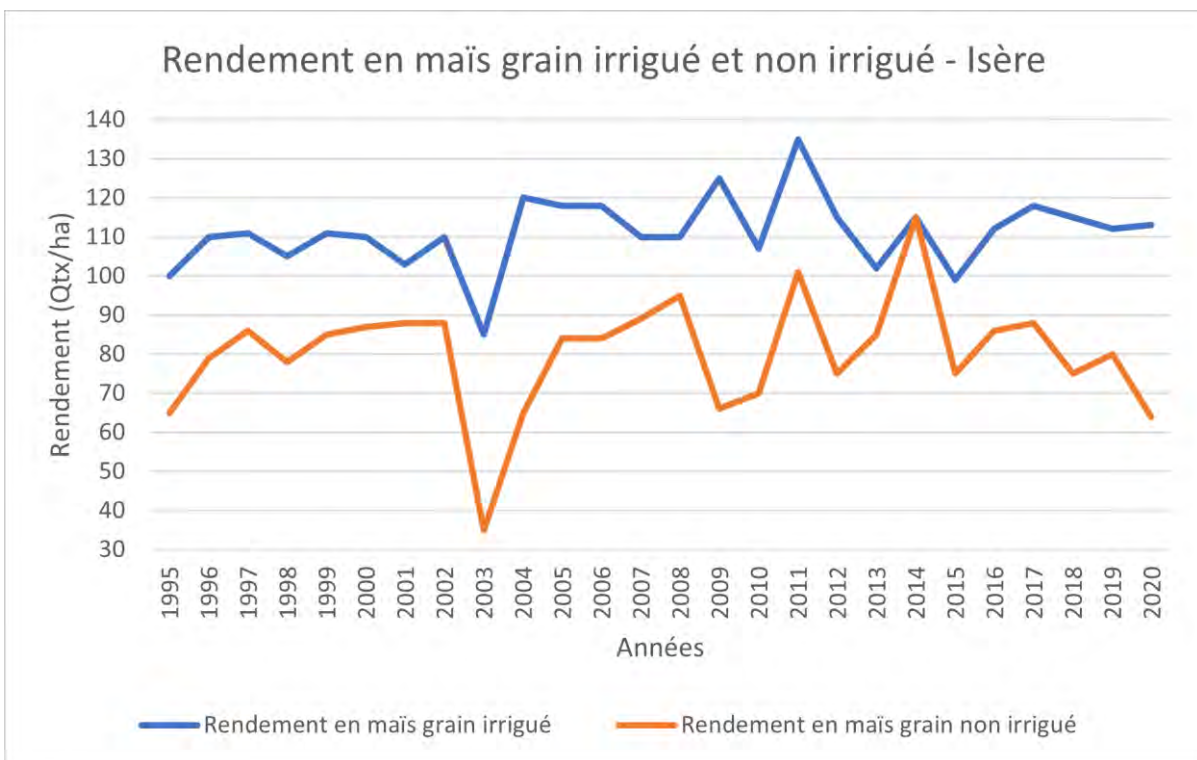
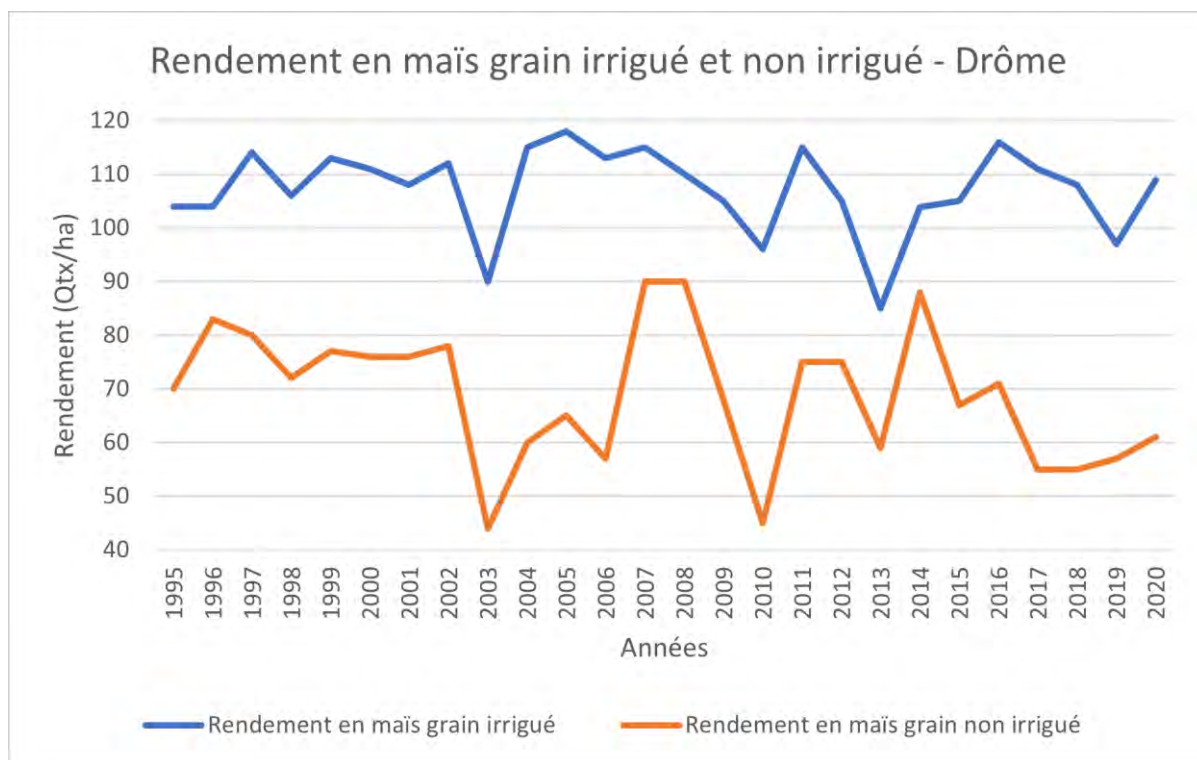


Rendement du maïs grain irrigué et non irrigué



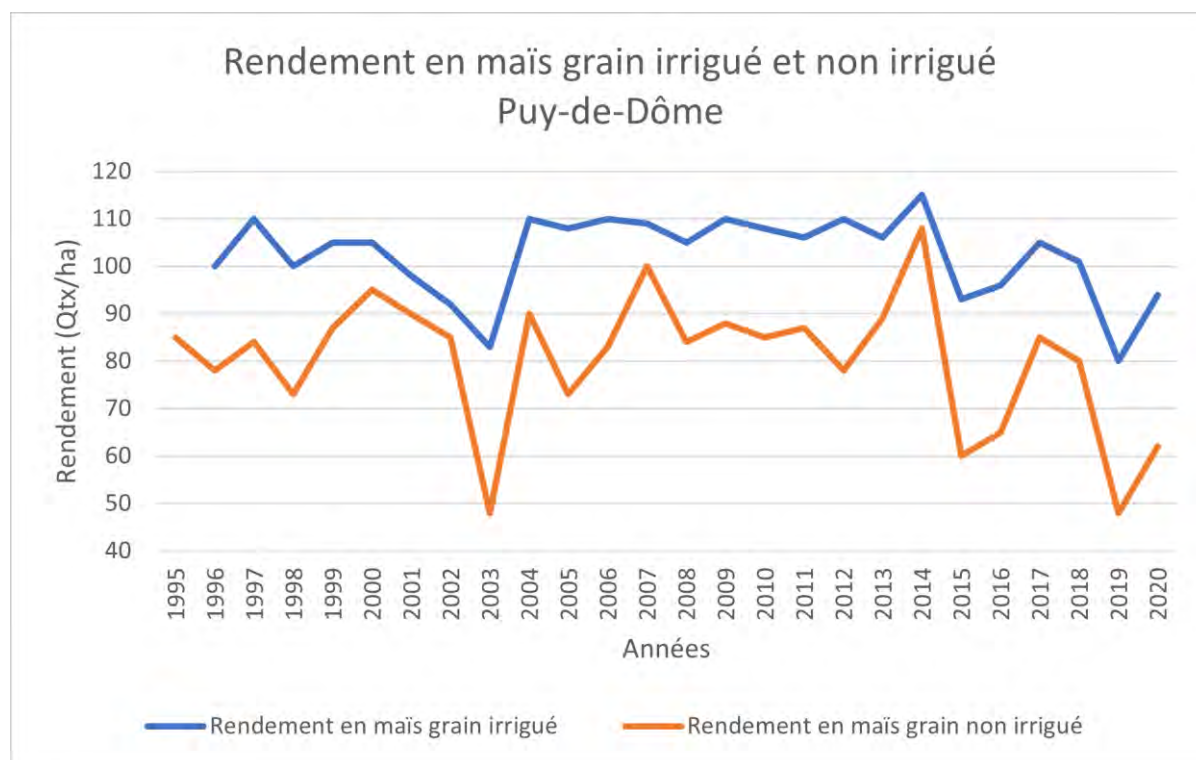


Rendement du maïs grain irrigué et non irrigué





Rendement du maïs grain irrigué et non irrigué



Analyse

L'évolution des rendements en maïs grain irrigué observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1995 montre des tendances significatives à la hausse pour la région AURA, le département de l'Allier et surtout pour le département de l'Ain. Dans ces deux départements, les surfaces irriguées importantes, cumulées à la culture de variétés plus tardives à plus fort potentiel, est une hypothèse d'explication de la progression des rendements. En revanche, le maïs non irrigué ne montre pas de tendance significative. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution du rendement en maïs grain irrigué (Qtx/ha/décennie)	Significativité de la tendance	Evolution du rendement en maïs grain non irrigué (Qtx/ha/décennie)	Significativité de la tendance
AURA	4,48	*	-0,7	ns
Ain	5,74	**	1,03	ns
Allier	5,74	*	-3,28	ns
Drôme	-1,57	X	-5,62	ns
Isère	3,29	ns	2,07	ns
Puy-de-Dôme	-1,96	X	-4,9	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Rendement du maïs grain irrigué et non irrigué



Les données sur le rendement du maïs grain irrigué et non irrigué ne sont relevées par AGRESTE seulement depuis 1995. Le plafonnement des rendements étant visible en comparant la période avant 2000 et après 2000, ce phénomène est forcément moins visible pour cet indicateur. Toutefois, il est possible de conclure qu'il n'y a pas de forte augmentation de rendement depuis 1995.

La plus faible profondeur de données, la variabilité interannuelle forte ainsi que les données manquantes (Allier) ne permettent pas de dégager de tendances significatives pour le maïs non irrigué.

Comme pour le rendement du maïs grain global, les changements climatiques, mêlés à d'autres facteurs, sont responsables des phénomènes observés. La modification des calendriers agricoles, des dynamiques de populations de ravageurs ainsi que les événements climatiques extrêmes ont, entre autres, des impacts négatifs sur la production. Les progrès génétiques, techniques et technologiques ne suffisent plus à conserver une forte augmentation du rendement en maïs grain.

Il est possible de remarquer que les sécheresses estivales ont un impact plus important sur le maïs non irrigué pour lequel son rendement chute fortement comme en 2003 ou en 2015 dans la majorité des territoires étudiés. Le manque de pluie est alors un facteur particulièrement limitant puisque le rendement du maïs est fortement influencé par la disponibilité en eau de la fin du stade montaison jusqu'au stade grains pâteux. Un stress thermique trop important provoque des défauts de fécondation et des avortements des grains, ainsi que des baisses de croissance des grains (Arvalis, 2016). Les rendements en maïs irrigué sont donc globalement plus stables.

A RETENIR

Les résultats ne montrent pas de tendances significatives pour le maïs grain non irrigué. Une faible tendance à l'augmentation est observée pour le maïs grain irrigué pour la région Auvergne-Rhône-Alpes ainsi que les départements de l'Ain et de l'Allier. Les surfaces irriguées importantes, cumulées à la culture de variétés plus tardives à plus fort potentiel, est une hypothèse d'explication de la progression des rendements dans ces départements.

Les aléas climatiques tels que des sécheresses induisent des stress hydrique et thermique importants notamment pour le maïs grain non irrigué qui présente une sensibilité plus importante. Si l'irrigation est une des solutions d'adaptation des pratiques au changement climatique, elle soulève néanmoins d'autres questions. La diminution des réserves en eau ajoutée à la très faible restitution de l'eau par l'irrigation est à l'origine de problématiques complexes à l'échelle des territoires.



Arvalis, 2016. Stress hydrique. In : *Les fiches accidents maïs*.



Rendement de l'orge d'hiver

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

🕒 Indicateur

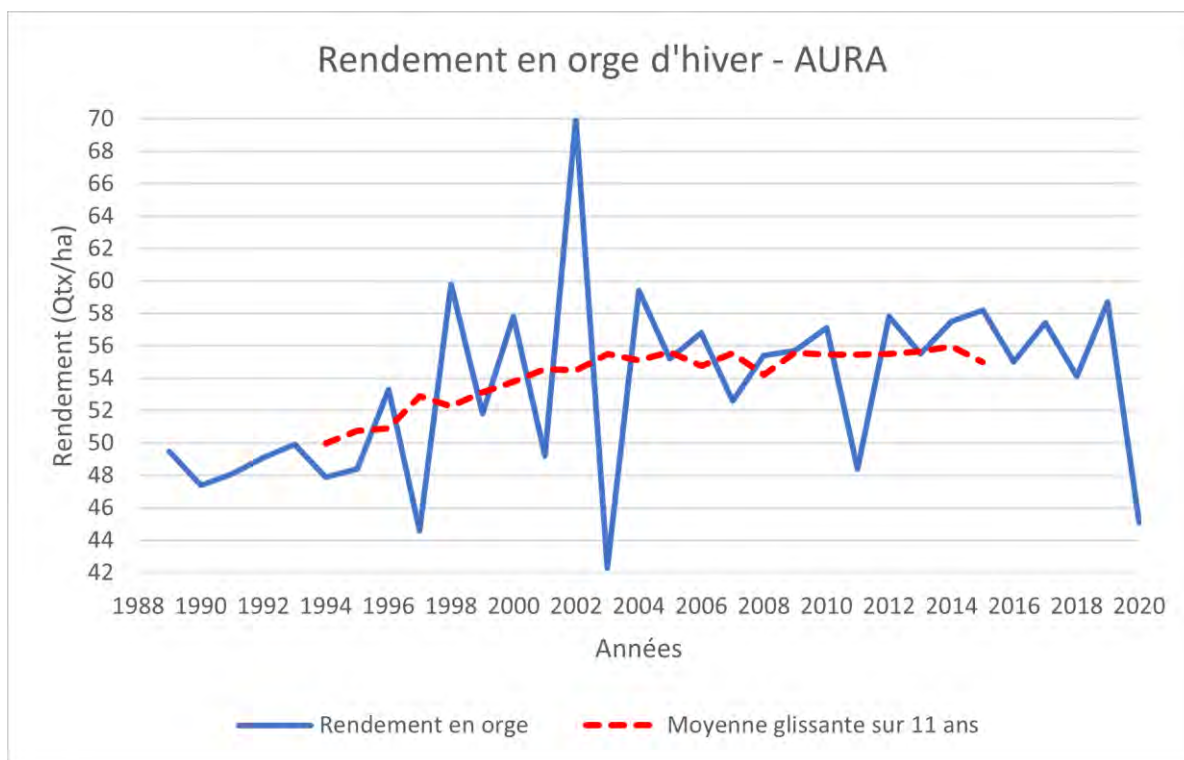
- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1989 – 2020
- Ain (01) : 1989 - 2020
- Allier (03) : 1989 - 2020
- Drôme (26) : 1989 - 2020
- Isère (38) : 1989 – 2020
- Loire (42) : 1989 - 2020
- Haute-Loire (43) : 1989 – 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1989 – 2020
- Rhône (69) : 1989 - 2020

📊 Calcul de l'indicateur

Le rendement est calculé en divisant la production (en quintal) par la surface cultivée (en hectare). Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en orge d'hiver supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés.

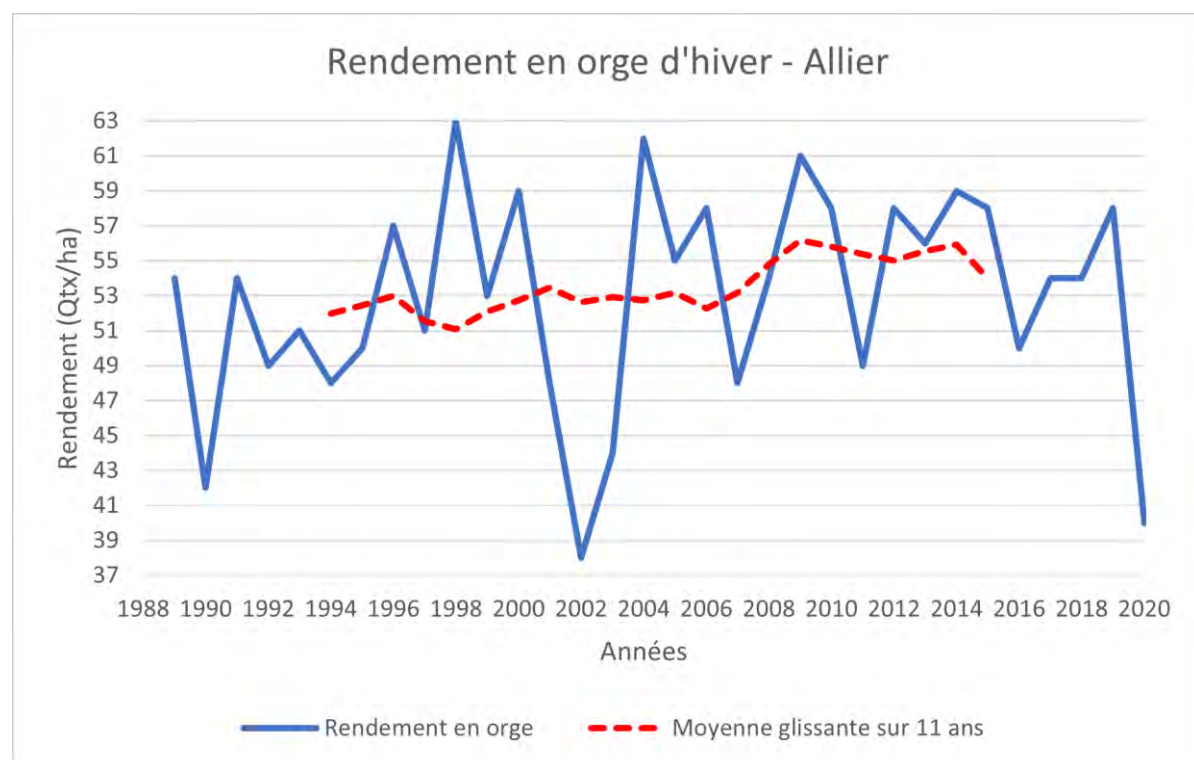
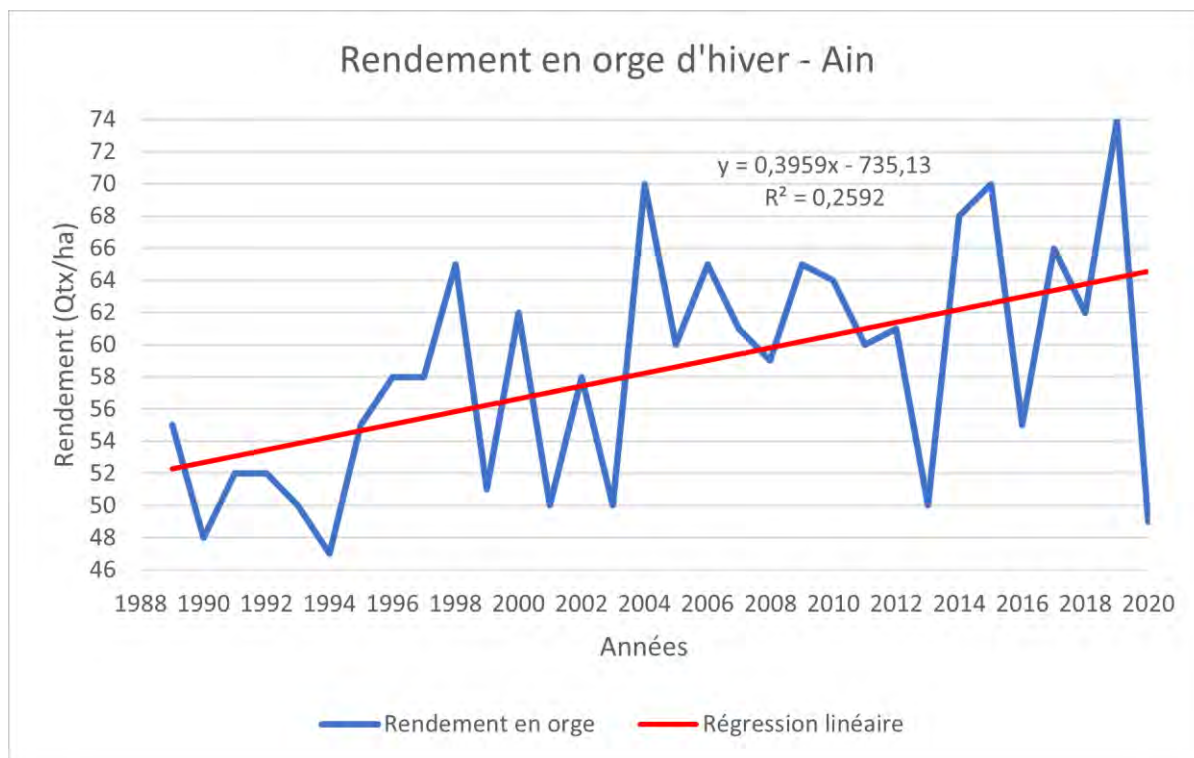
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



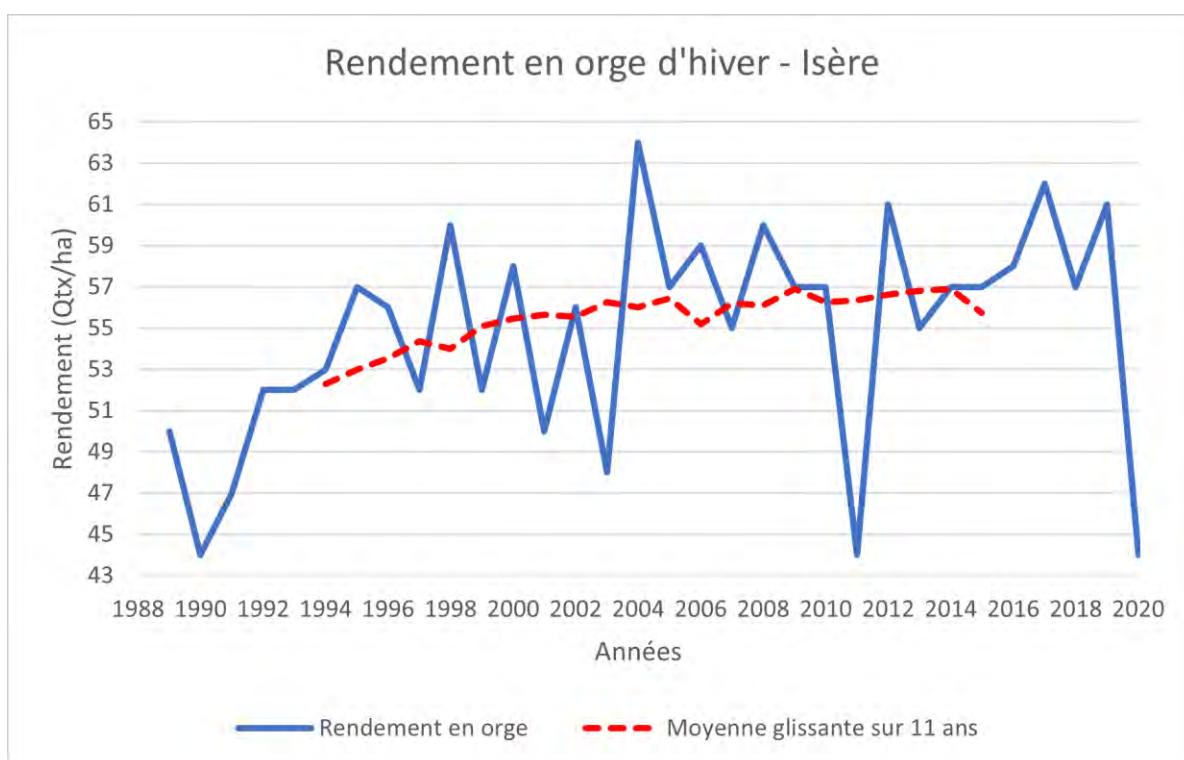
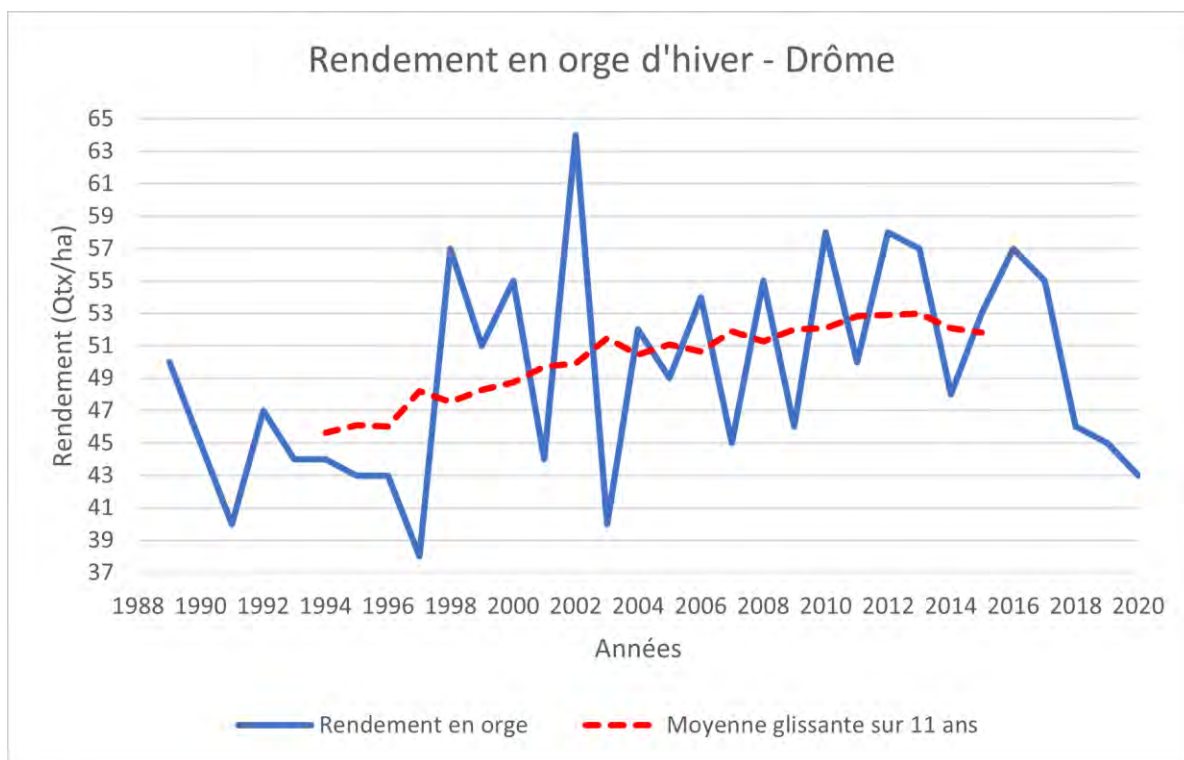


Rendement de l'orge d'hiver



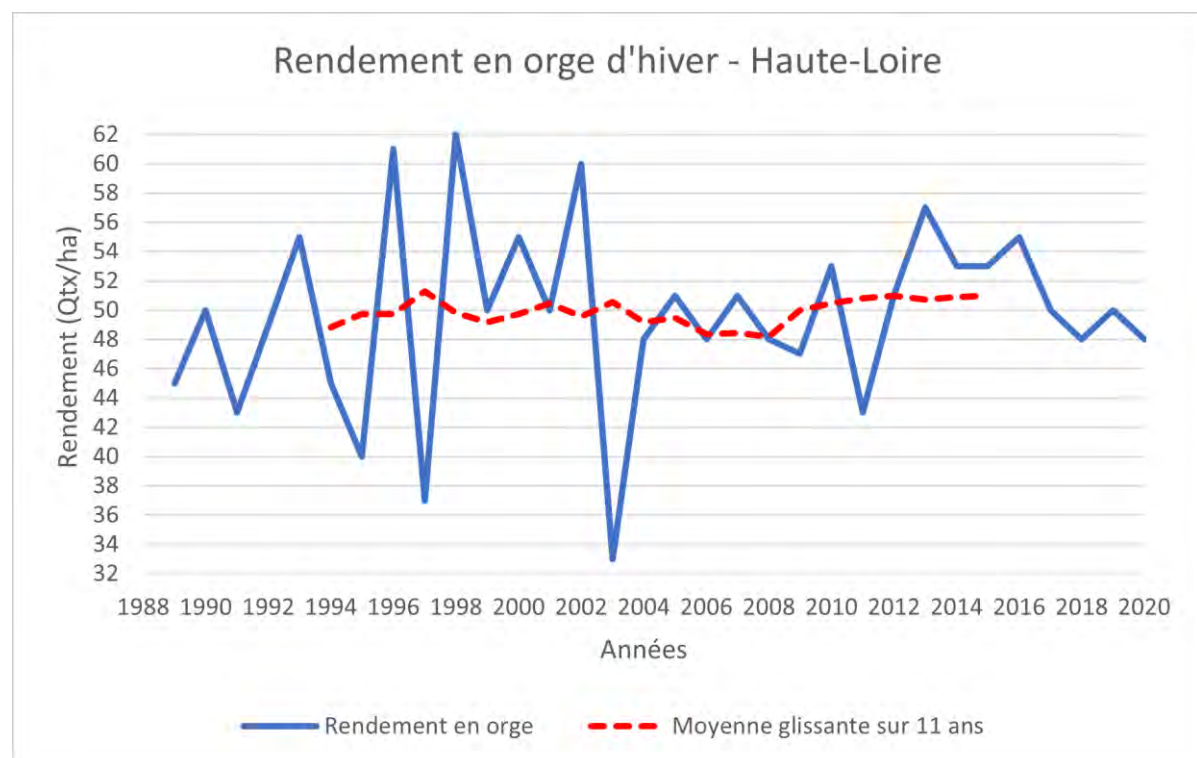
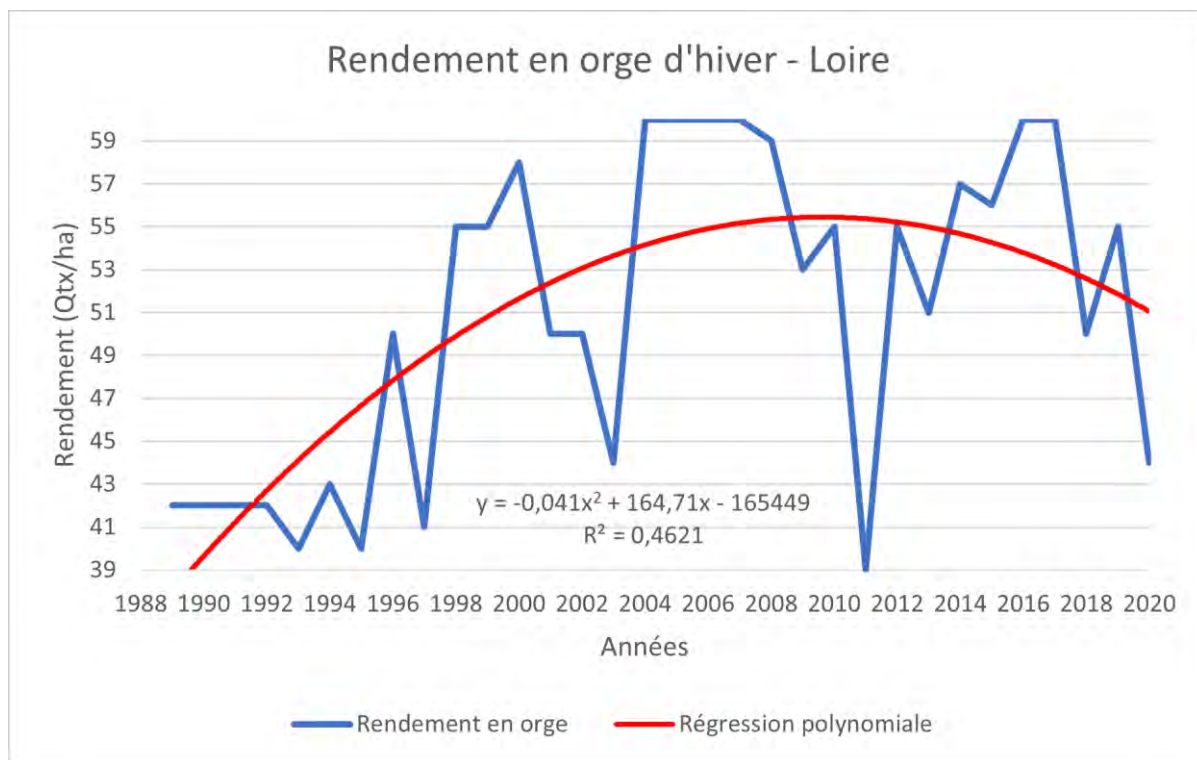


Rendement de l'orge d'hiver



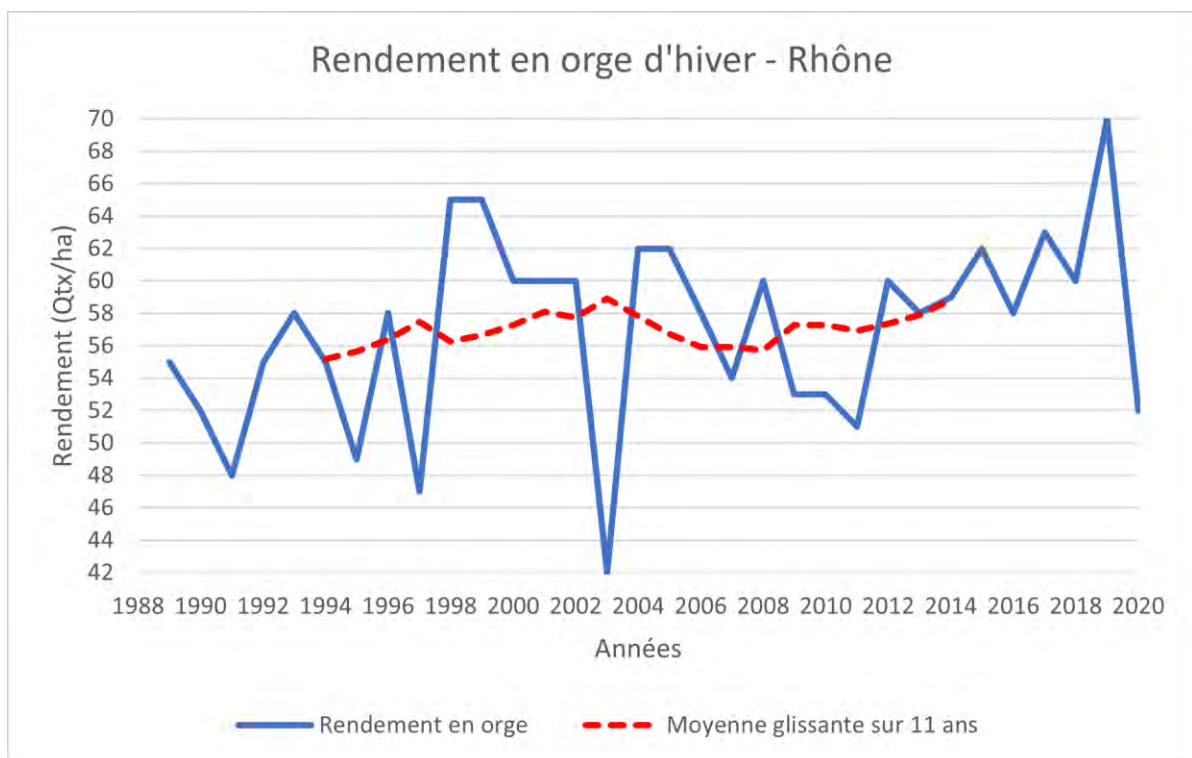
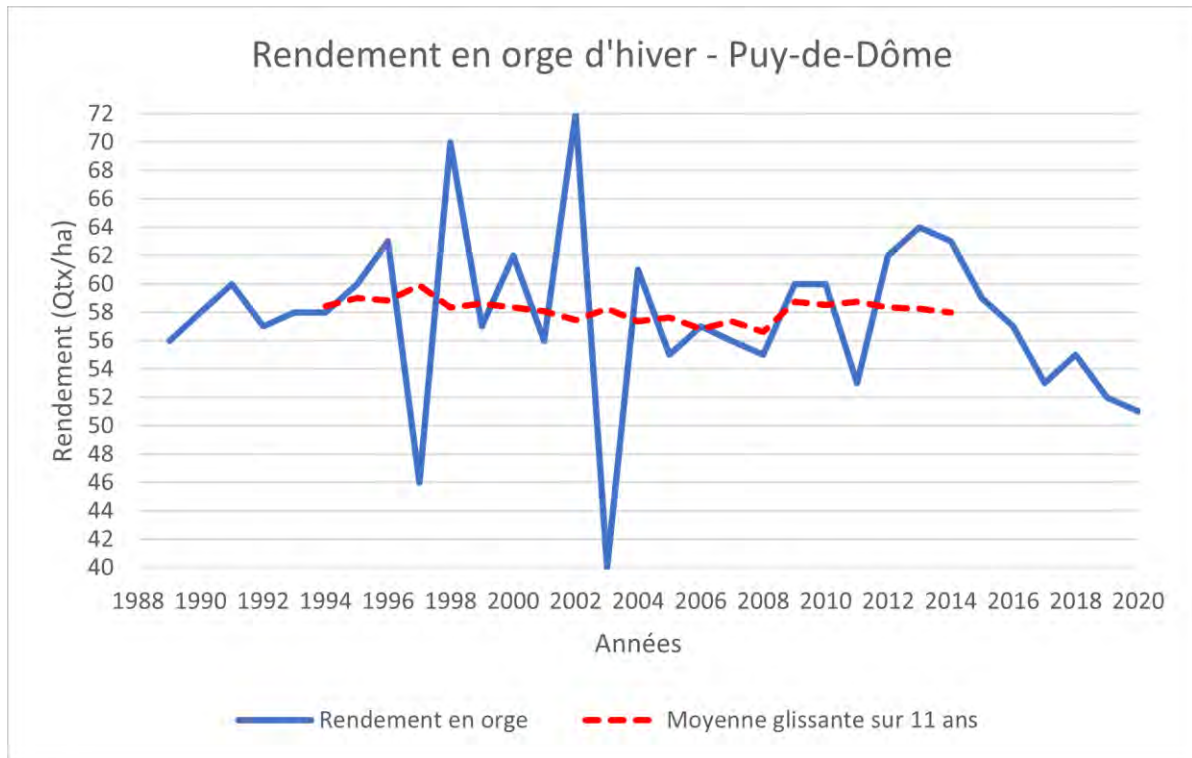


Rendement de l'orge d'hiver





Rendement de l'orge d'hiver





Rendement de l'orge d'hiver



L'évolution des rendements en orge d'hiver observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1989 montre des tendances significatives à l'augmentation seulement pour le département de l'Ain et à la stagnation pour le département de la Loire. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution du rendement en orge d'hiver (Qtz/ha/décennie)	Significativité de la tendance
AURA	2,18	X
Ain	3,96	**
Allier	1,13	ns
Drôme	2,18	ns
Isère	2,01	X
Loire	/	** (binomial)
Haute-Loire	0,94	X
Puy-de-Dôme	-0,92	X
Rhône	2,06	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Le rendement de l'orge d'hiver ne montre pas de tendance significative à l'évolution dans les départements de l'Allier, de la Drôme et du Rhône. Cette absence de tendance peut être liée à la stagnation des rendements en céréales causée par les changements climatiques. A l'échelle de la région et pour le département de l'Isère, de la Haute-Loire et du Puy-de-Dôme, il n'est pas possible de tirer des conclusions statistiques puisque les conditions d'application du test ne sont pas validées (cf. « Méthodologie statistique »).

Le rendement de l'orge d'hiver montre une tendance significative à l'augmentation dans le département de l'Ain. L'ajustement le plus adapté est linéaire.

Le rendement de l'orge d'hiver montre également une tendance significative au plafonnement dans le département de la Loire. L'ajustement le plus adapté est quant à lui binomial. Dans ce territoire, le plafonnement du rendement est particulièrement visible. L'augmentation du rendement de l'orge d'hiver est très importante jusqu'au début des années 2000 puis ralentit fortement jusqu'à même diminuer à partir de 2016. Cette tendance est cohérente avec les études scientifiques qui montrent un net ralentissement du rendement de l'orge d'hiver depuis les années 1990 à l'échelle nationale (Gallais et al., 2010). Ce ralentissement serait tout de même moins important que pour le blé tendre compte tenu de sa précocité (Gate, 2008 ; Debaeke et Bertrand, 2008). Cette tendance est visible dans le département de la Loire malgré des variations interannuelles fortes.

L'impact de la sécheresse de 2003 est particulièrement marqué dans la majorité des départements étudiés.

Ces grandes variations dans les volumes collectés entraînent des répercussions sur les prix des produits agricoles, dans un contexte de marché mondialisé comme celui des céréales. Le marché de l'offre et de la demande ainsi que le marché spéculatif peuvent amplifier ce phénomène et parfois fragiliser la filière (Jouzel et al., 2021).



Rendement de l'orge d'hiver



Analyse

Toutefois, d'autres facteurs influencent les rendements de l'orge d'hiver. L'intensification ou au contraire l'extensification des pratiques peut jouer un rôle. Il s'agirait d'étudier l'évolution des surfaces en Agriculture Biologique (AB), en Agriculture de Conservation des Sols (ACS) ou encore l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT). La diversification des rotations, la localisation de la production ou encore la réglementation (interdiction de certains produits phytosanitaires ou arrêtés cadre sécheresse par exemple) sont également des facteurs à prendre en compte.

A RETENIR

Les départements de l'Allier et de la Drôme ne présentent pas de tendances significatives. Il n'est pas possible de tirer de conclusion statistique sur la région Auvergne-Rhône-Alpes et le département de l'Isère. Le rendement de l'orge d'hiver présente une augmentation linéaire dans le département de l'Ain. Pour le département de la Loire, la stagnation des rendements d'orge d'hiver est significative avec même une diminution ces dernières années.

L'orge d'hiver est pourtant moins pénalisée par les sécheresses que d'autres cultures comme le maïs en raison de sa précocité qui lui permet d'esquiver les sécheresses printanières trop importantes.



Pour en savoir plus

Debaeke, P., Bertrand, M., 2008. Evaluation des impacts de la sécheresse sur le rendement des grandes cultures en France. In : *Cahiers Agricultures*. Vol 17, N°5. Septembre – Octobre 2008.

Gallais, A., Gate, P., Oury, F-X., 2010. Evolution des rendements de plusieurs plantes de grande culture. Une réaction différente au réchauffement climatique selon les espèces. In : *Académie d'Agriculture de France*. Séance du 5 mai 2010.

Gate, P., Blondlot, A., Gouache, D., Deudon, O., Vignier, L., 2008. Impacts du changement climatique sur la croissance et le développement du blé en France. Quelles solutions et quelles actions à développer ? In : *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. Vol 15, N°5. 15 Septembre 2008. DOI : 10.1684/ocl.2008.0221.

Jouzel, J., Jézéquel, S., Dubief, P., Loiseau, J-F., 2021. Changement climatique : les transitions à l'œuvre dans la filière céréalière. In : *Céréales & Climat*. Dossier de presse. 7 avril 2021.



Rendement du colza

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

🕒 Indicateur

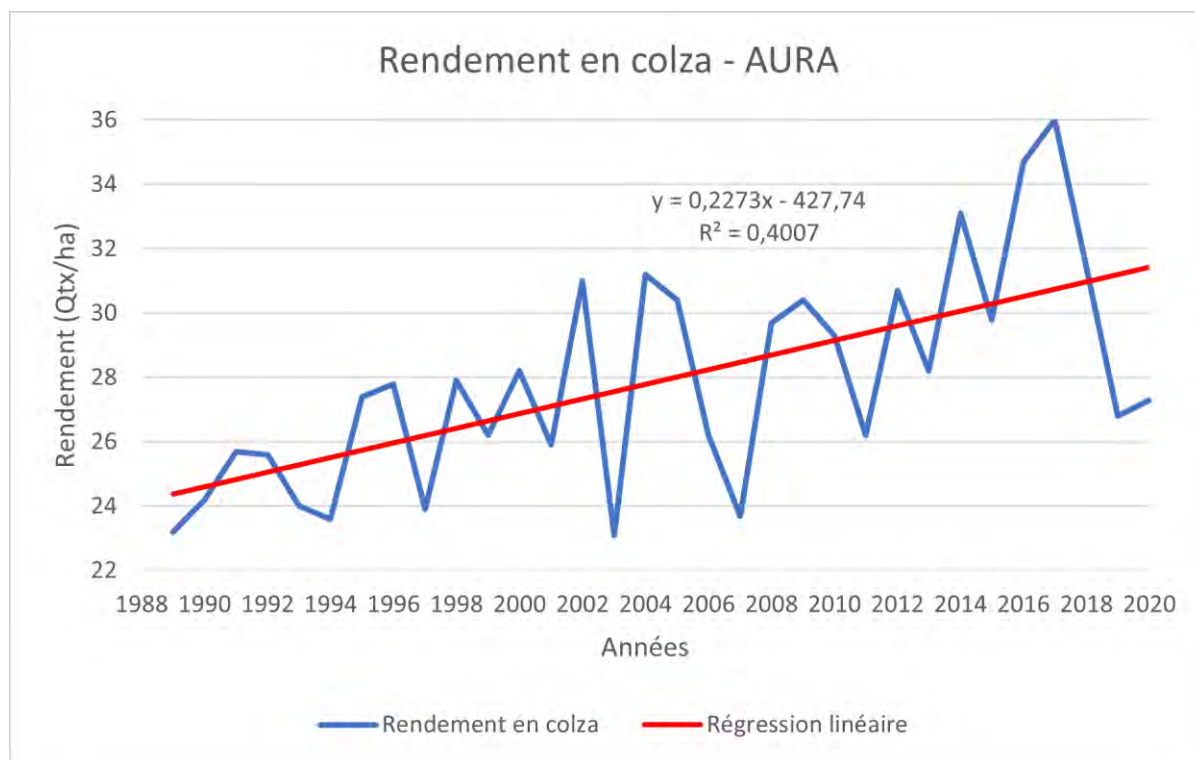
- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1989 – 2020
- Ain (01) : 1989 – 2020
- Allier (03) : 1989 - 2020
- Drôme (26) : 1989 - 2020
- Isère (38) : 1989 – 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1989 – 2020
- Rhône (69) : 1989 - 2020

📊 Calcul de l'indicateur

Le rendement est calculé en divisant la production (en quintal) par la surface cultivée (en hectare). Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en colza supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés.

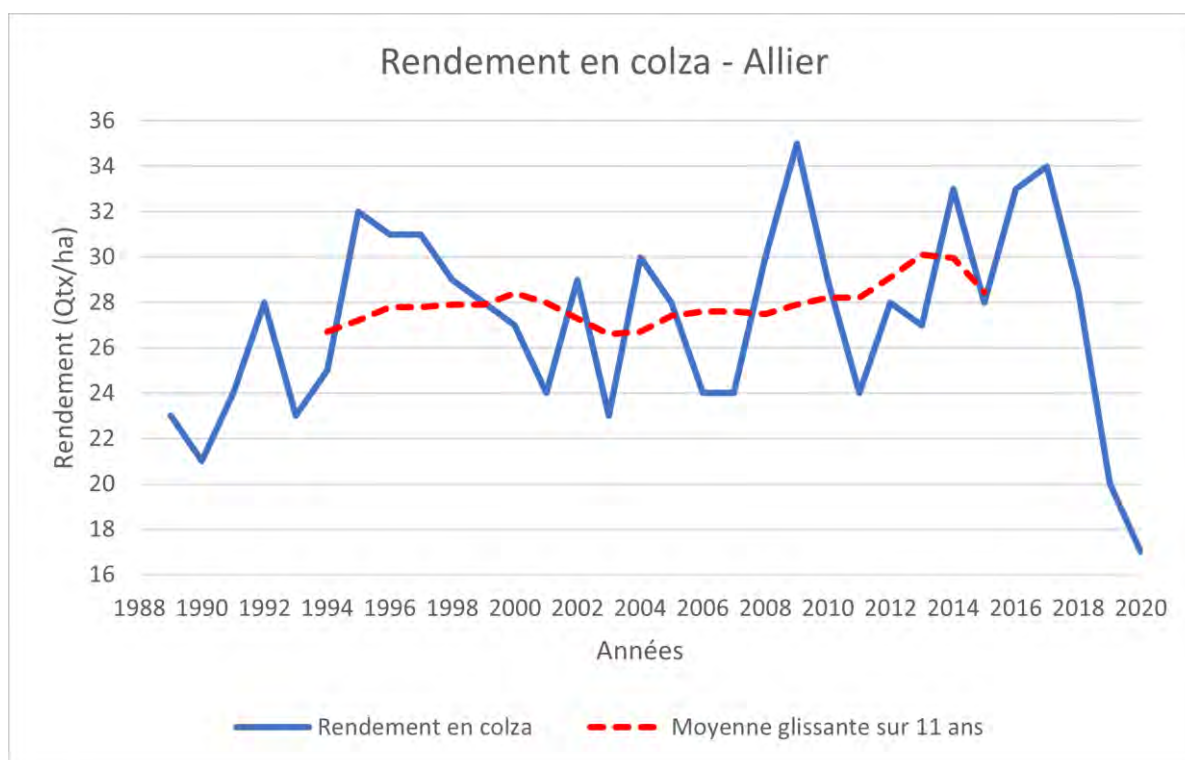
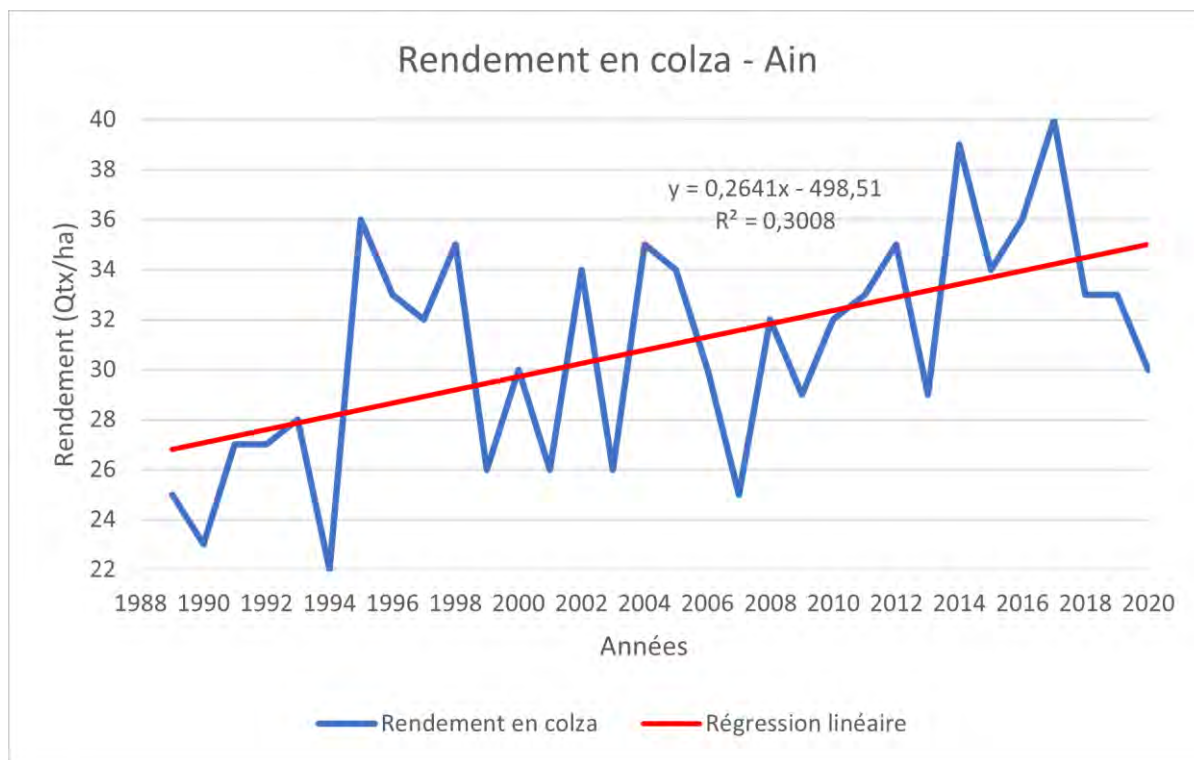
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



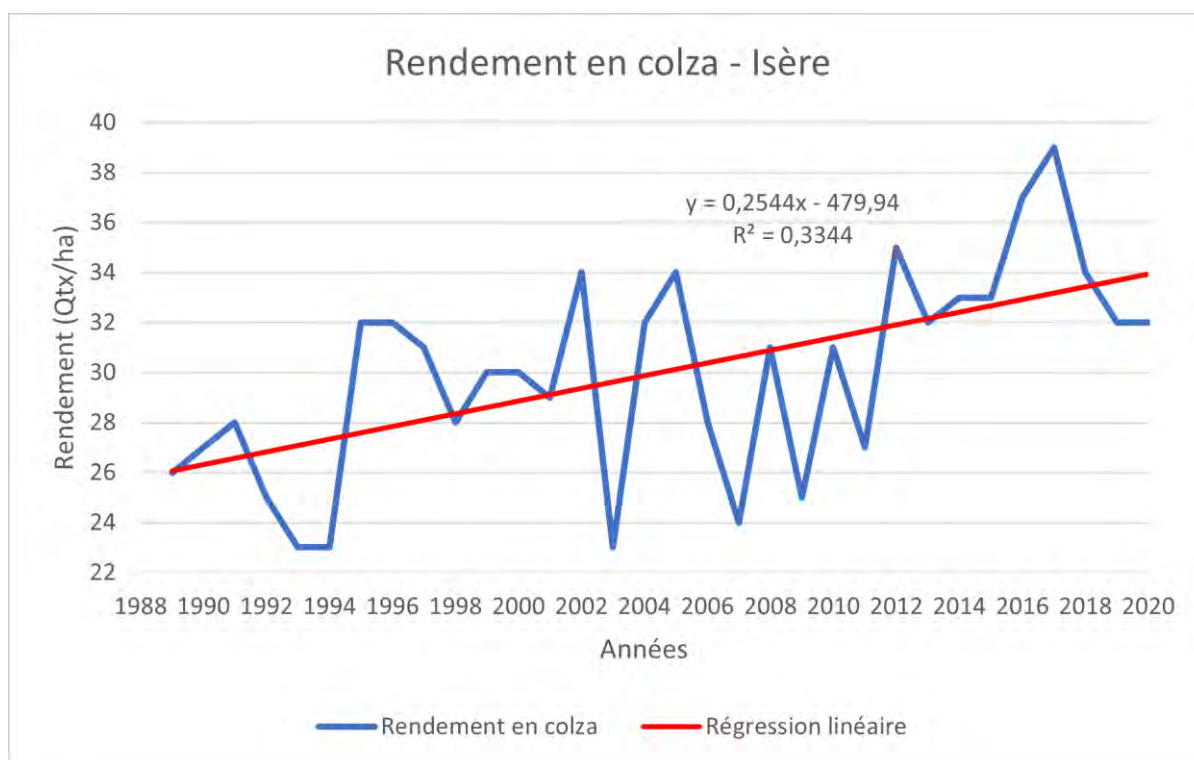
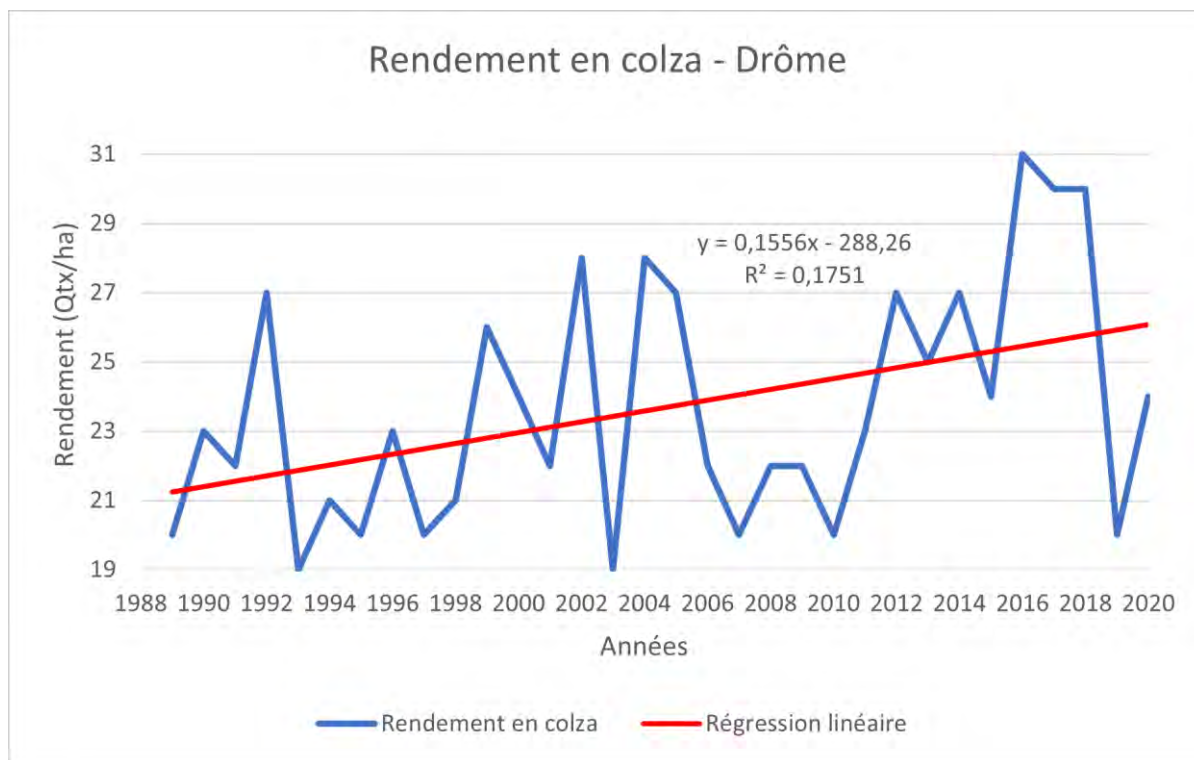


Rendement du colza



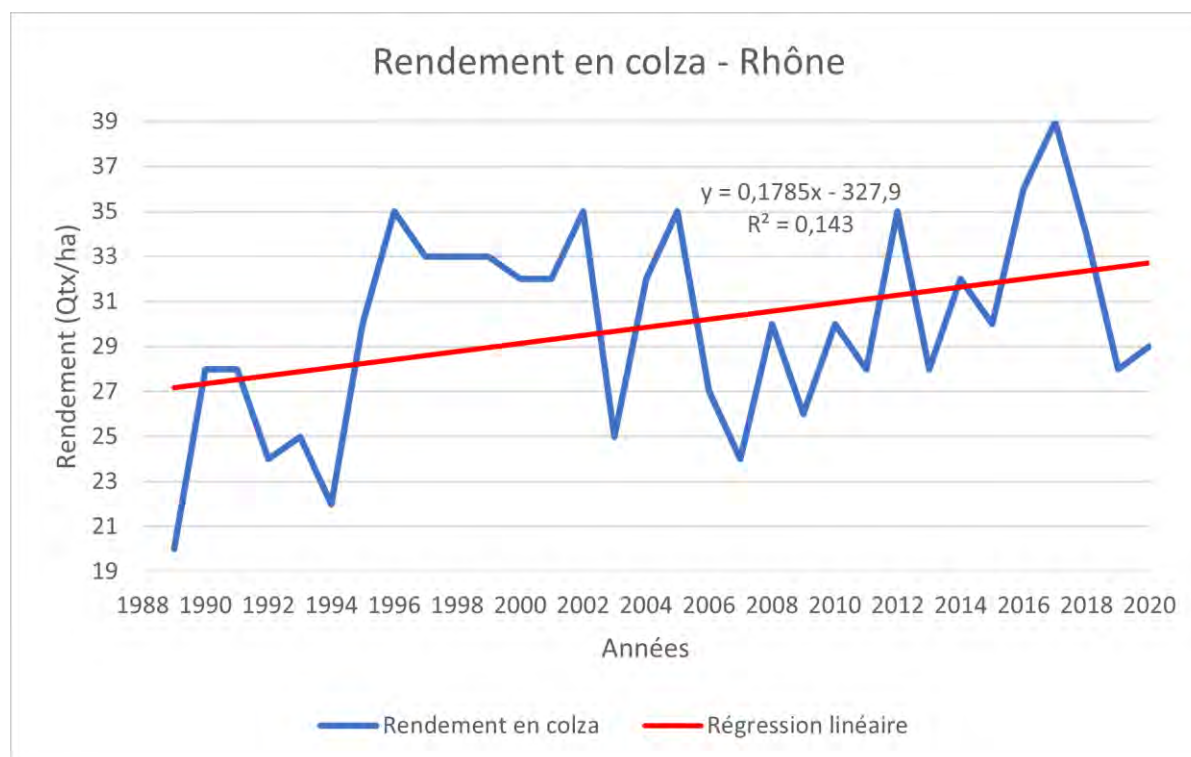
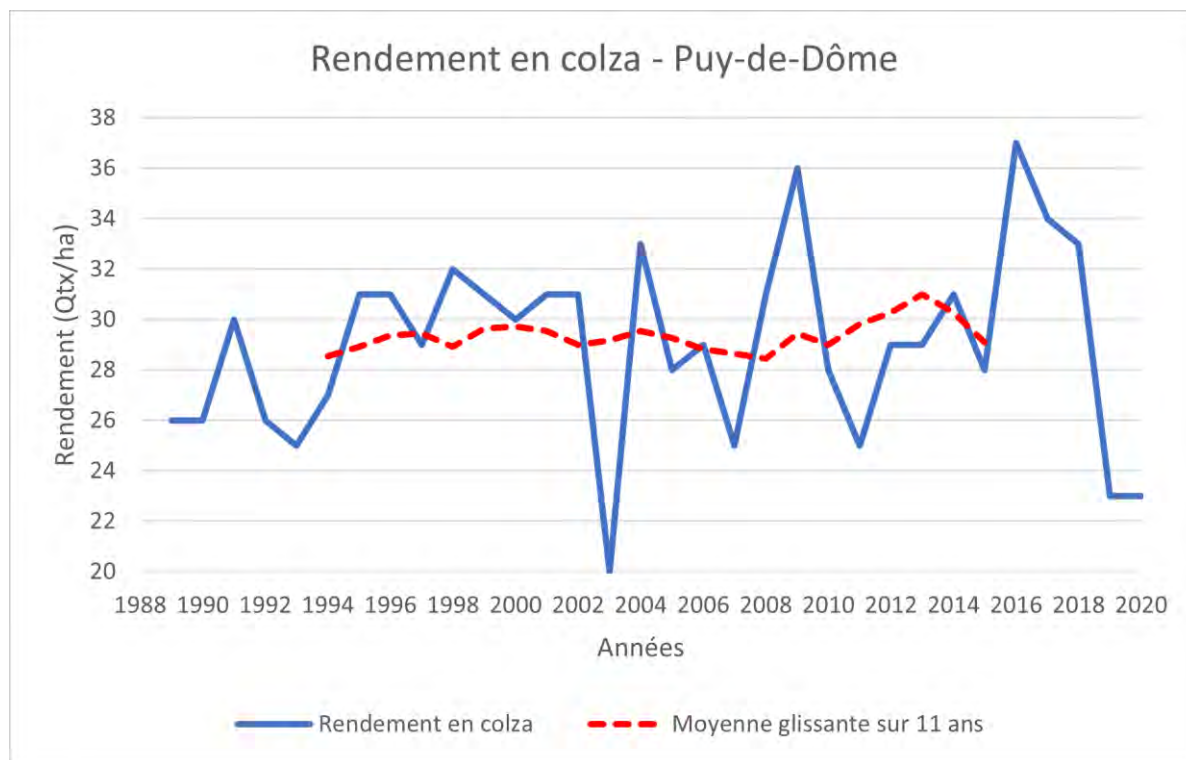


Rendement du colza





Rendement du colza





Rendement du colza



L'évolution des rendements en colza observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1989 montre des tendances significatives pour la majorité des territoires étudiés. Aucune tendance ne se dégage dans les départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution du rendement en colza (Qtz/ha/décennie)	Significativité de la tendance
AURA	2,27	***
Ain	2,64	**
Allier	0,53	ns
Drôme	1,56	*
Isère	2,54	***
Puy-de-Dôme	0,52	ns
Rhône	1,79	*

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

Il ne semble pas y avoir de réel plafonnement du rendement en colza en région Auvergne-Rhône-Alpes de 1989 à 2020. Une partie de l'explication réside dans le fait que le progrès génétique constant du colza (avec les variétés hybrides) permet de maintenir le potentiel de rendement. Une partie des parcelles de colza, en augmentation ces dernières années, est cependant détruite en cours de cycle (de l'implantation à la sortie d'hiver) et ne rentre donc pas dans le calcul du rendement moyen. Ce phénomène peut influencer sur l'évolution du rendement observée. La destruction plus fréquente pour le colza que pour les autres cultures est causée par deux facteurs :

- les difficultés d'implantation à cause des sécheresses de fin d'été ces dernières années
- la possibilité d'implanter une culture de remplacement derrière comme le tournesol

La part de surfaces cultivées en colza semence, culture irriguée, est en augmentation ces dernières années notamment dans le département de la Drôme.

Le colza profite également du même phénomène que l'orge d'hiver. Sa précocité de semis lui permet d'être moins pénalisé par les sécheresses (Debaeke et Bertrand, 2008). La perte de rendement liée aux sécheresses de 2003, 2005 et 2006 n'est pas particulièrement importante pour le colza (Gallais *et al.*, 2010). Le cumul d'un enracinement profond et d'un cycle décalé par rapport aux fortes demandes évaporatives permet d'esquiver régulièrement la sécheresse de fin de cycle même si le colza est plus sensible au risque de sécheresse d'automne en phase d'implantation (Debaeke et Bertrand, 2008). Pourtant, le colza est connu pour, à rayonnement égal, subir un effet négatif de l'augmentation de la température sur le nombre de siliques et le nombre de graines par silique. Le poids moyen des grains dépend de l'alimentation hydrique, souvent liée à la température (Gallais *et al.*, 2010).

En revanche, le colza est une culture qui subit fortement les dégâts des ravageurs et des pathogènes. Ceux-ci étant amenés à se développer davantage à cause de l'augmentation des températures, les risques de conséquences sur le rendement sont également amenés à croître (Debaeke et Bertrand, 2008).



Rendement du colza



Analyse

Toutefois, les variétés utilisées ainsi que d'autres facteurs influencent les rendements du colza. L'intensification ou au contraire l'extensification des pratiques peut jouer un rôle. Il s'agirait d'étudier l'évolution des surfaces en Agriculture Biologique (AB), en Agriculture de Conservation des Sols (ACS) ou encore l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT). La diversification des rotations, la localisation de la production ou encore la réglementation (interdiction de certains produits phytosanitaires ou arrêtés cadre sécheresse par exemple) sont également des facteurs à prendre en compte.

A RETENIR

Le rendement du colza montre une tendance linéaire significative à l'augmentation du rendement en région Auvergne-Rhône-Alpes, dans les départements de l'Ain, de la Drôme, de l'Isère et du Rhône. Aucune tendance ne se dégage dans les départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme. Les parcelles de colza détruites avant récolte ne sont pas comptabilisées dans les données de rendement et faussent probablement donc en partie les résultats.

Le colza est une culture sensible à l'augmentation de la température ainsi qu'aux ravageurs et pathogènes, phénomènes qui s'intensifient à cause du changement climatique.

Le colza est une culture d'hiver semée précocement et qui reste donc moins pénalisée par le déficit hydrique que d'autres cultures.



Pour en savoir plus

Debaeke, P. Bertrand, M., 2008. Evaluation des impacts de la sécheresse sur le rendement des grandes cultures en France. In : *Cahiers Agricultures*. Vol 17, N°5. Septembre – Octobre 2008.

Gallais, A., Gate, P., Oury, F-X., 2010. Evolution des rendements de plusieurs plantes de grande culture. Une réaction différente au réchauffement climatique selon les espèces. In : *Académie d'Agriculture de France*. Séance du 5 mai 2010.



Rendement du tournesol

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

🕒 Indicateur

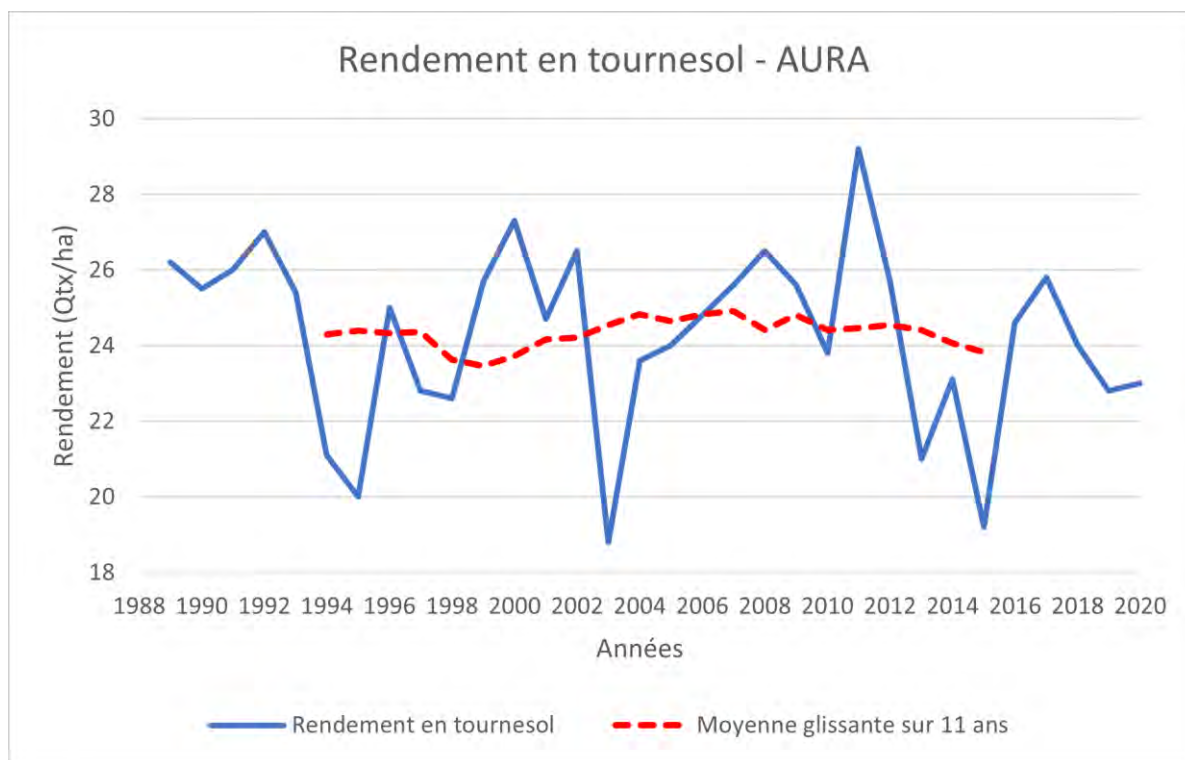
- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1989 – 2020
- Ain (01) : 1989 – 2020
- Allier (03) : 1989 - 2020
- Drôme (26) : 1989 - 2020
- Isère (38) : 1989 – 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1989 – 2020

📊 Calcul de l'indicateur

Le rendement est calculé en divisant la production (en quintal) par la surface cultivée (en hectare). Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en tournesol supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés.

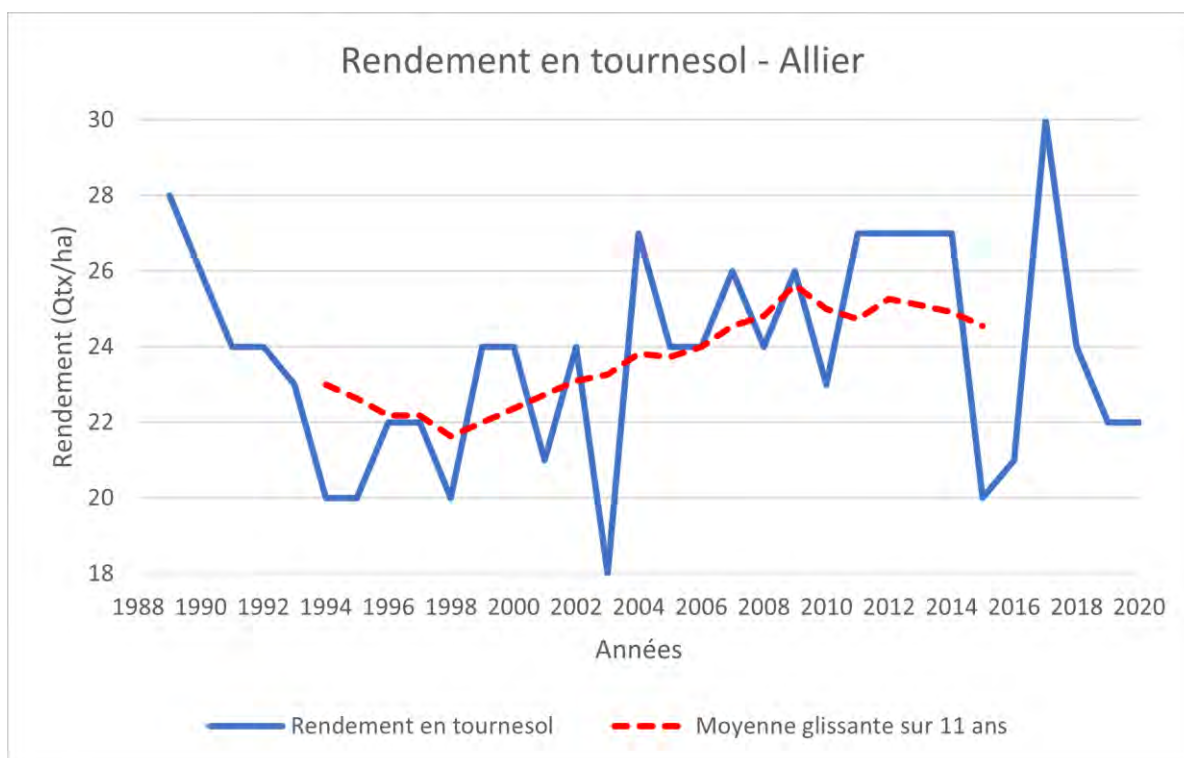
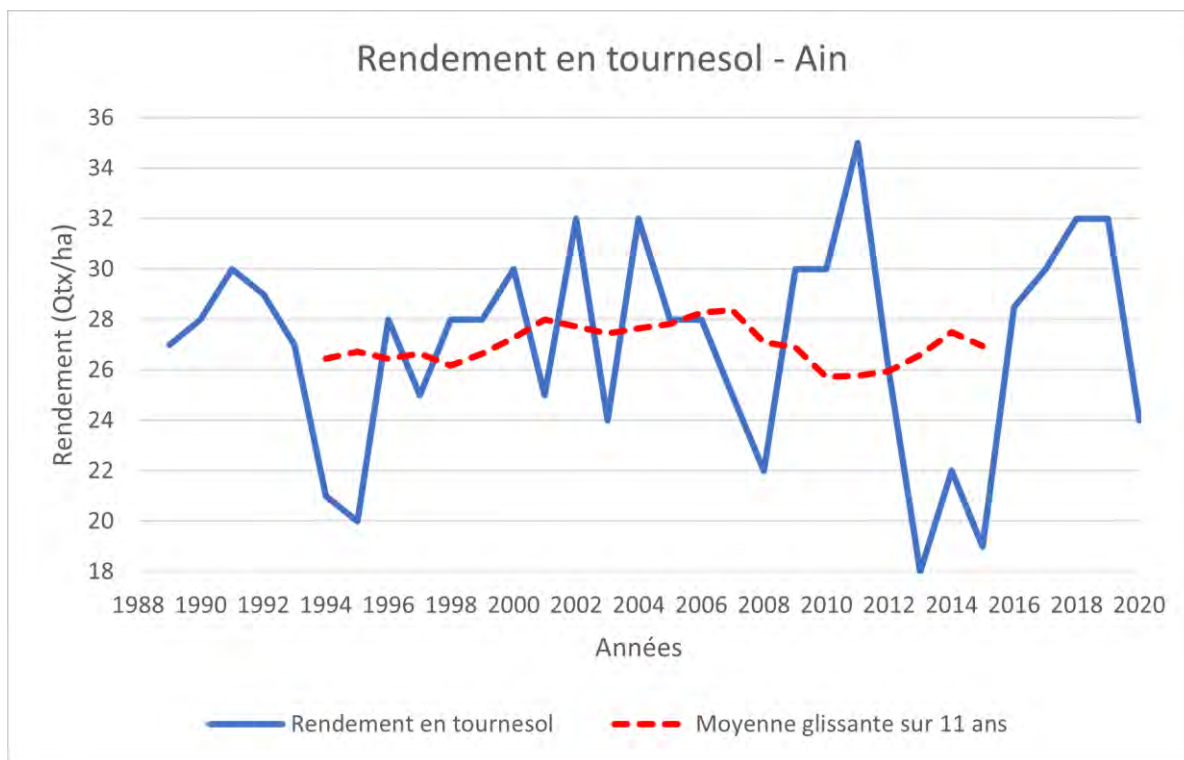
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



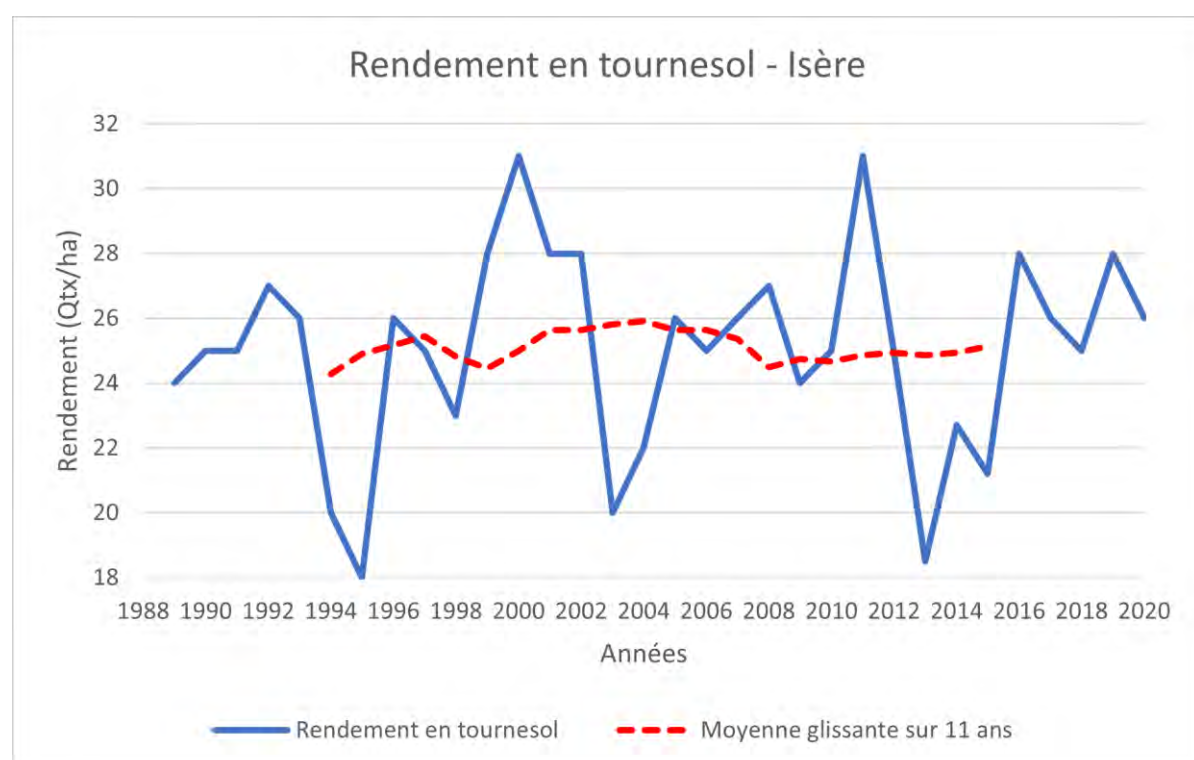
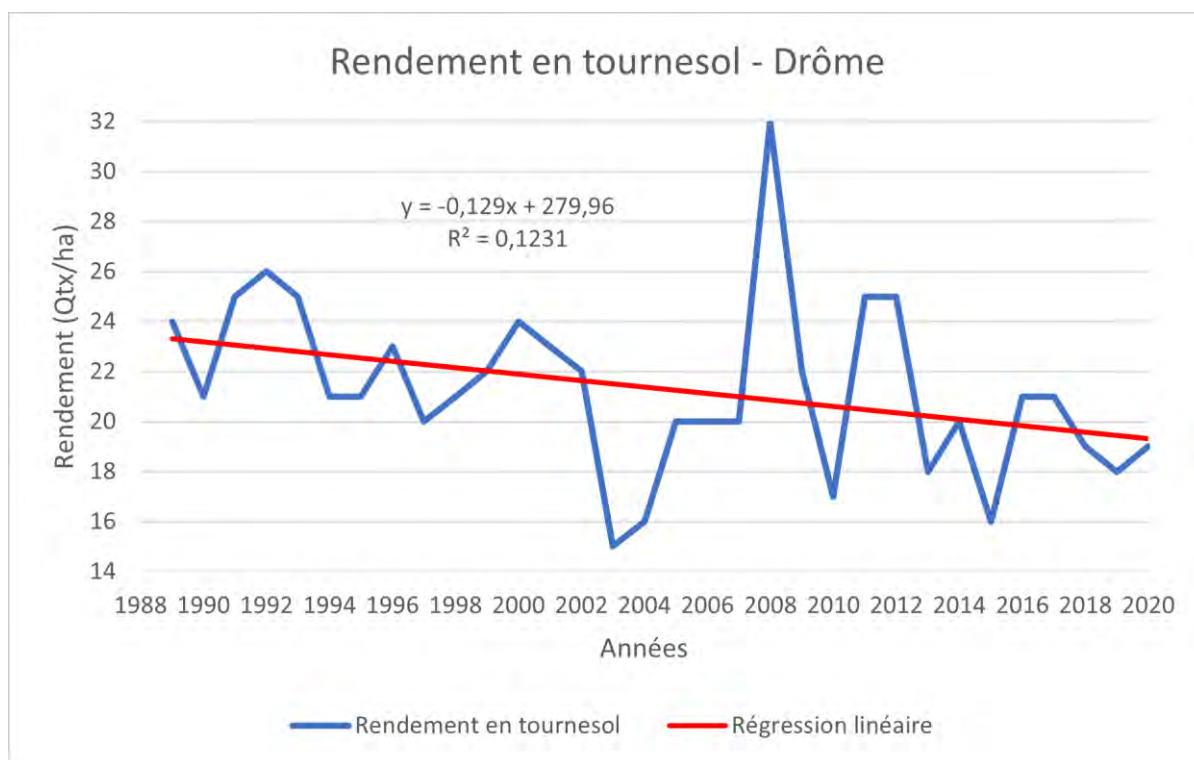


Rendement du tournesol



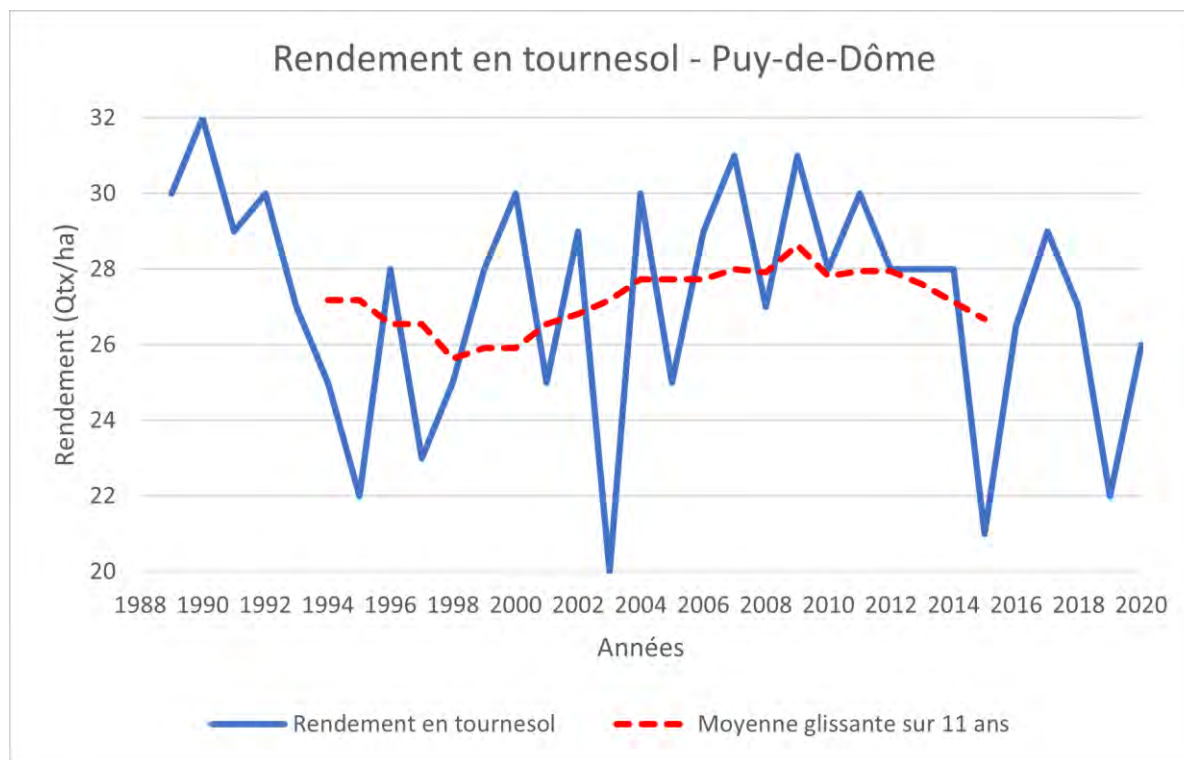


Rendement du tournesol





Rendement du tournesol



Analyse

L'évolution des rendements en tournesol observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1989 montre des tendances non significatives pour la majorité des territoires étudiés, à l'exception du département de la Drôme. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution du rendement en tournesol (Qt/ha/décennie)	Significativité de la tendance
AURA	-0,38	ns
Ain	0,08	ns
Allier	0,44	ns
Drôme	-1,29	*
Isère	0,31	ns
Puy-de-Dôme	-0,51	ns

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.



Rendement du tournesol



Analyse

Les variations interannuelles sont particulièrement fortes pour le rendement du tournesol. Ceci s'explique en partie par le fait qu'il s'agit d'une culture d'été non irriguée très exposée à la sécheresse en dépit de sa tolérance intrinsèque. Le tournesol est une culture d'été souvent non irriguée, exposée à la sécheresse estivale (Debaeke et Bertrand, 2008). Certaines études concluent que l'augmentation du déficit hydrique au cours du temps contribue de façon significative à la stagnation des rendements du tournesol (Salvi et Pouzet, 2010).

D'autres facteurs exercent une influence sur le rendement du tournesol tels que les dégâts causés par les oiseaux. L'extensification de la culture, sa localisation en situations pédoclimatiques séchantes et l'extension des maladies cryptogamiques ne permettraient pas de valoriser le progrès génétique actuel.

A RETENIR

Le rendement du tournesol montre une tendance linéaire légèrement significative à la diminution du rendement dans le département de la Drôme. Aucune tendance ne se dégage dans les autres territoires étudiés.

L'absence de tendance à l'augmentation dans les territoires étudiés traduit la stagnation des rendements. Le tournesol étant une culture d'été non irriguée (hors tournesol semence), le déficit hydrique a un impact négatif sur le rendement de la culture, même si d'autres facteurs influent également.



Pour en savoir plus

Debaeke, P. Bertrand, M., 2008. Evaluation des impacts de la sécheresse sur le rendement des grandes cultures en France. In : *Cahiers Agricultures*. Vol 17, N°5. Septembre – Octobre 2008.

Salvi, F., Pouzet, A., 2010. Etude sur les causes possibles du ralentissement du progrès agronomiques en colza d'hiver et en tournesol. In : *Académie d'Agriculture de France*. 5 mai 2010.



Rendement du maïs fourrage

🔑 Nature et source des données

Données fournies par AGRESTE.

🕒 Indicateur

- Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) : 1989 – 2020
- Ain (01) : 1989 – 2020
- Allier (03) : 1989 – 2020
- Cantal (15) : 1989 – 2020
- Isère (38) : 1989 – 2020
- Loire (42) : 1989 – 2020
- Haute-Loire (43) : 1989 – 2020
- Puy-de-Dôme (63) : 1989 – 2020
- Rhône (69) : 1989 – 2020

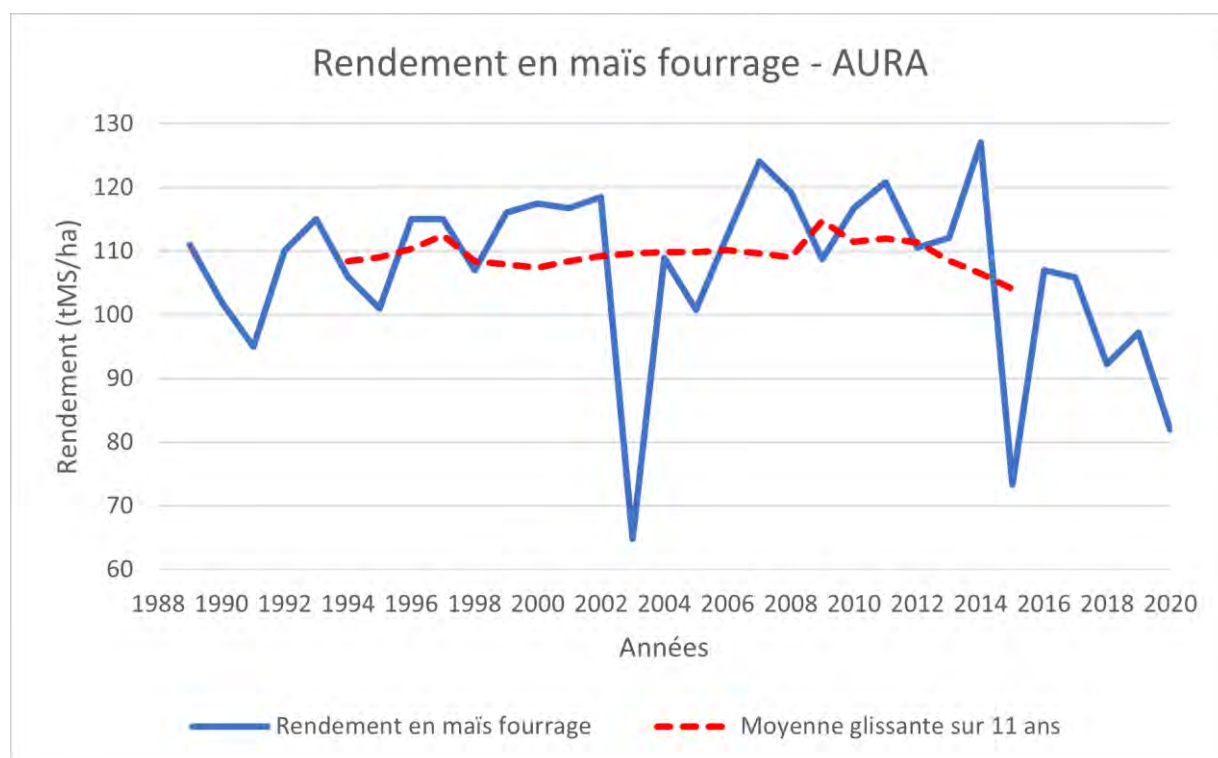
📊 Calcul de l'indicateur

Le rendement est calculé en divisant la production (en quintal) par la surface cultivée (en hectare). Les départements ont été sélectionnés sur la base des surfaces cultivées. Ce sont seulement les départements avec une surface cultivée en maïs fourrage supérieure à 80% de la moyenne régionale qui ont été étudiés.

Le maïs fourrage est destiné à être stocké sous forme d'ensilage. La récolte du maïs ensilage est plus précoce que celle du maïs grain. La plante doit encore être verte et les grains pas encore mûrs.

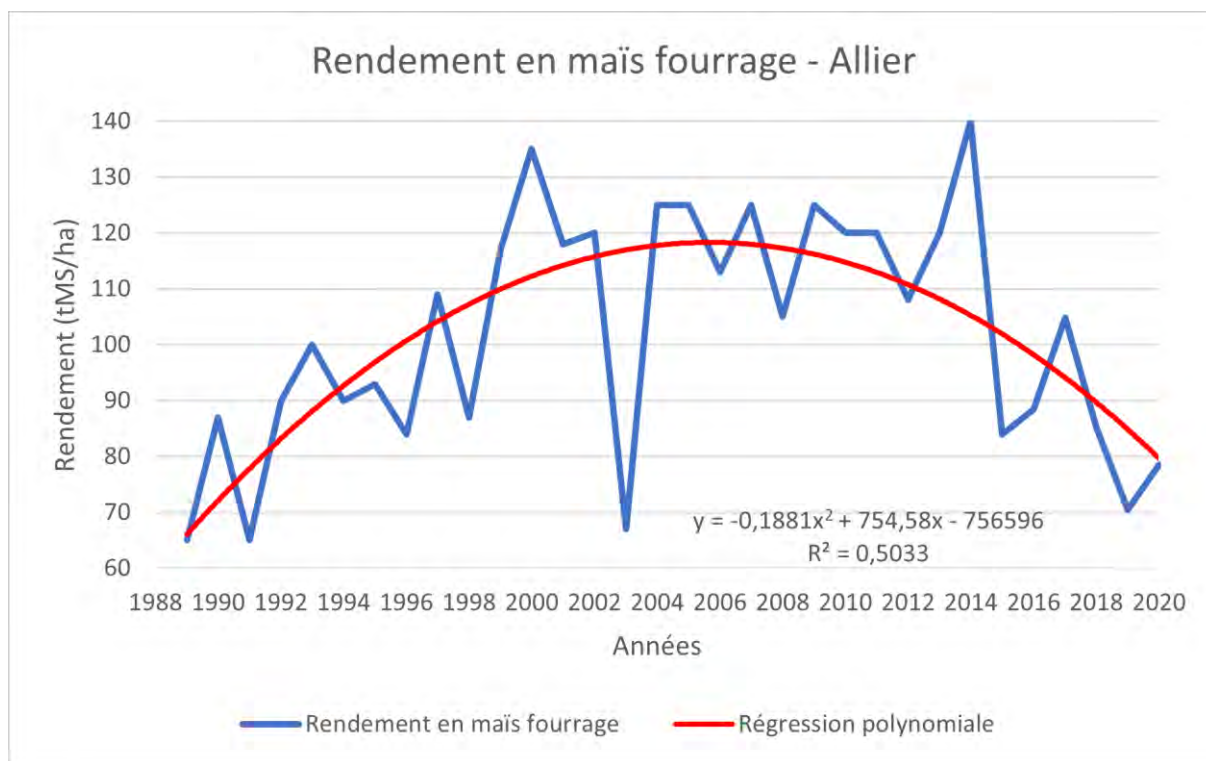
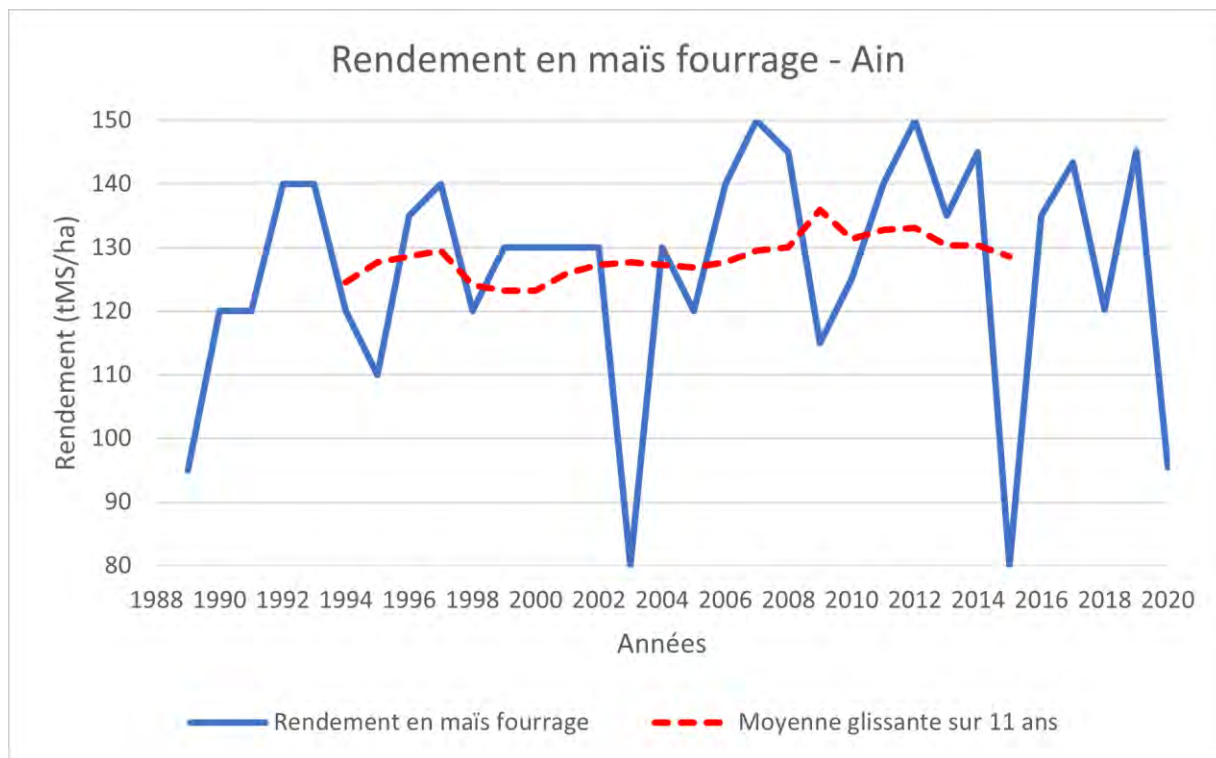
Moyenne glissante sur 11 ans : pour l'année N, il s'agit de la moyenne des années N-5 à N+5.

📈 Évolution observée



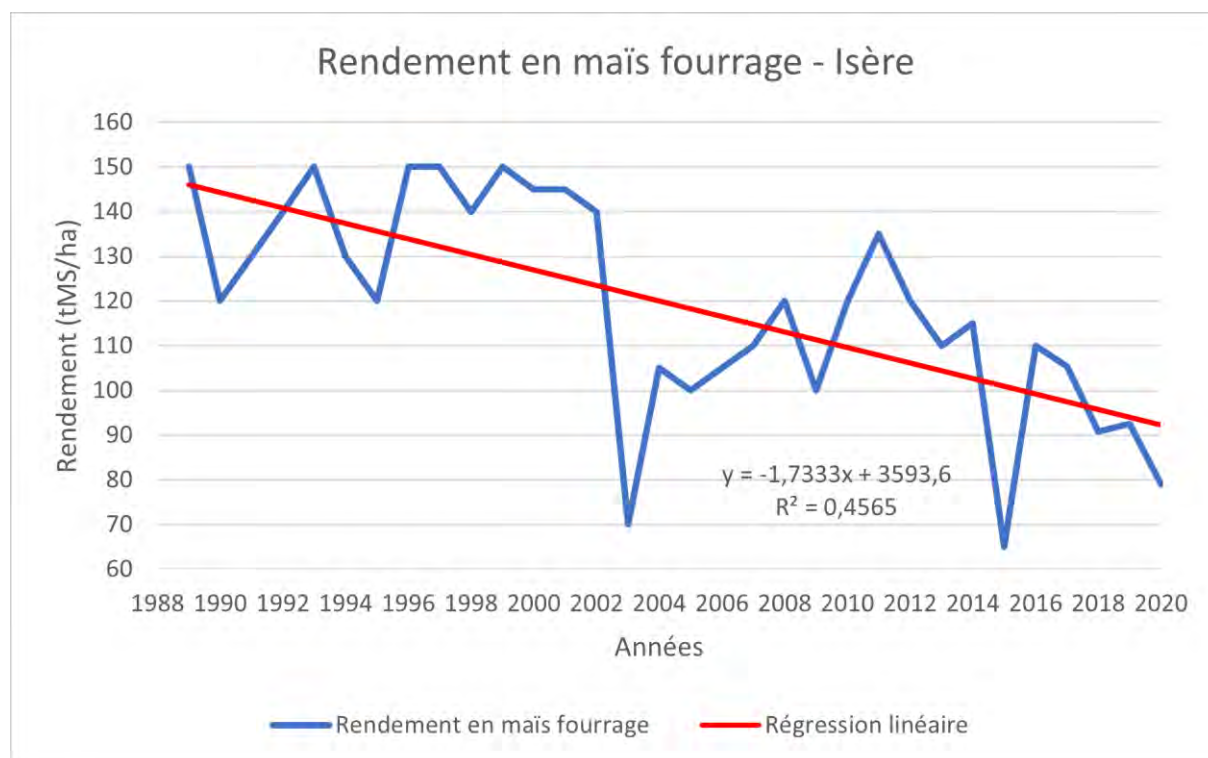
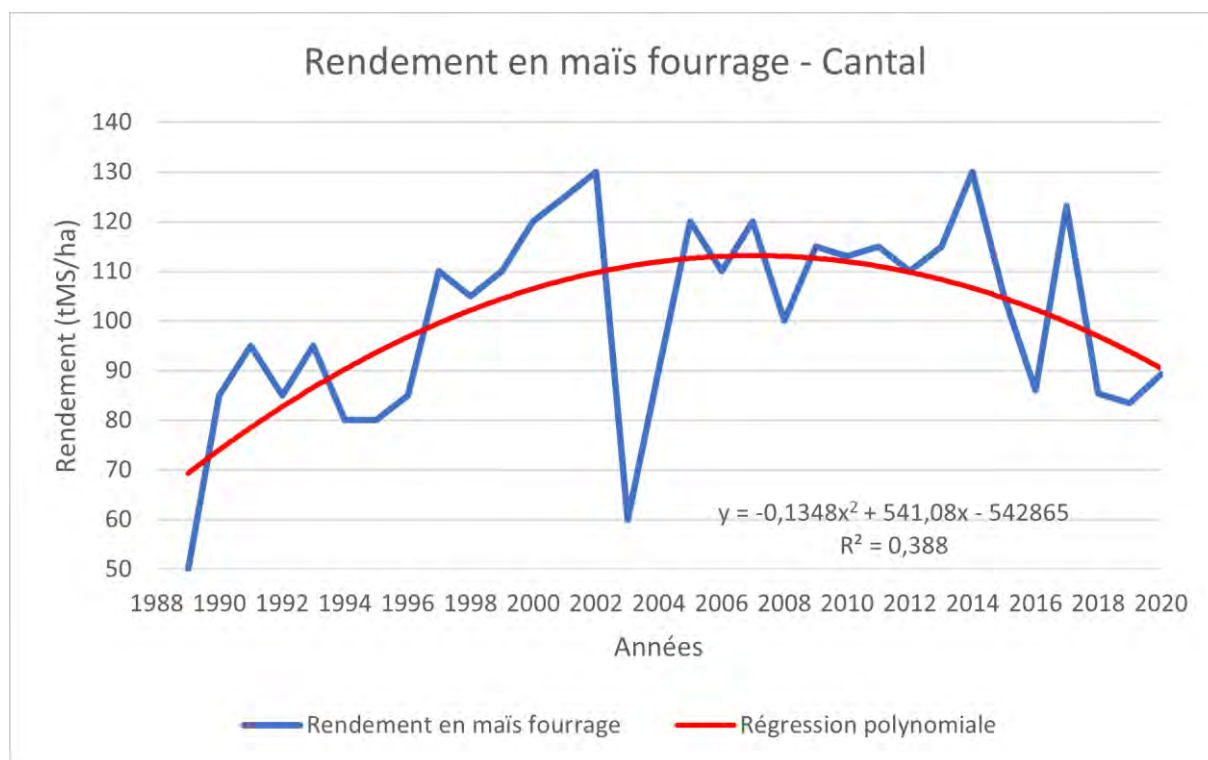


Rendement du maïs fourrage



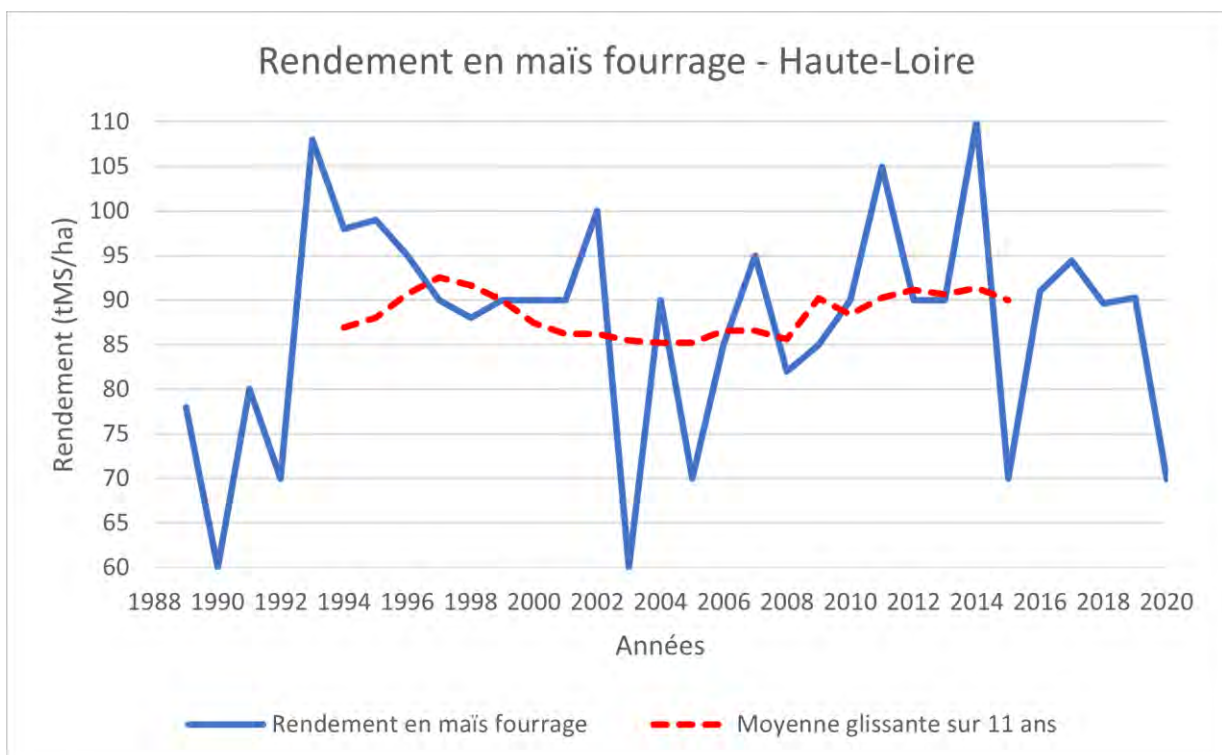
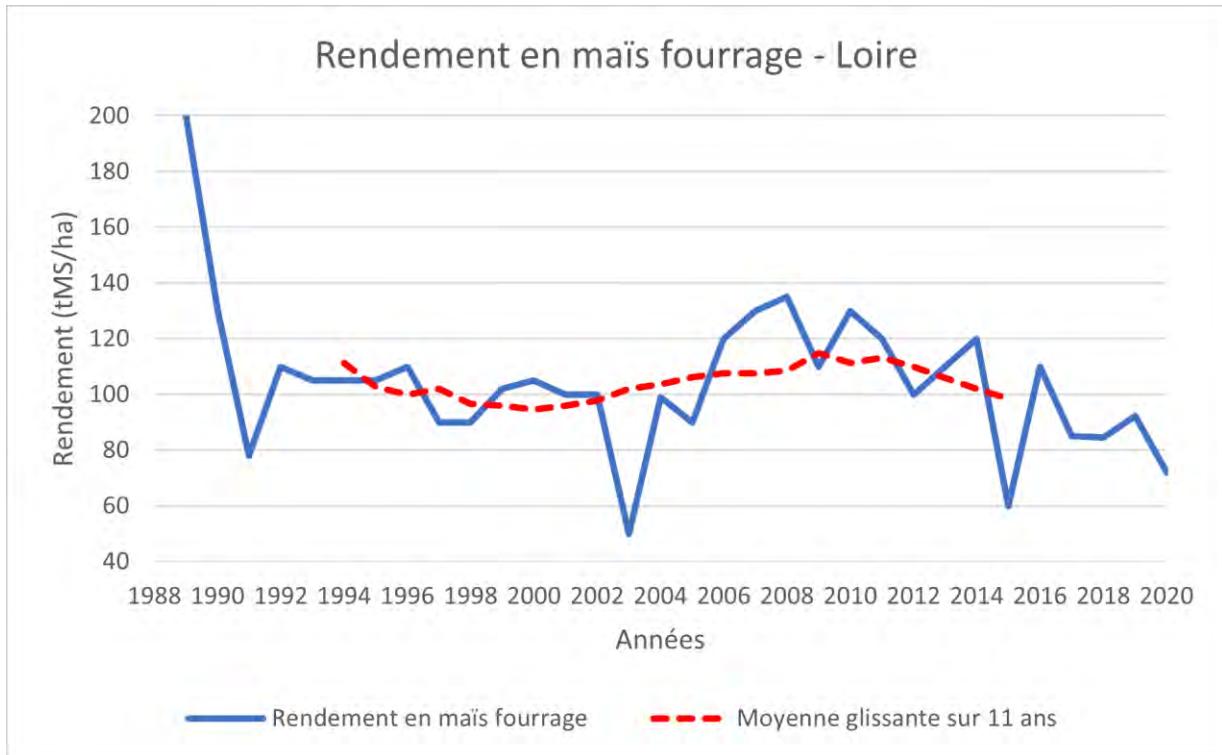


Rendement du maïs fourrage



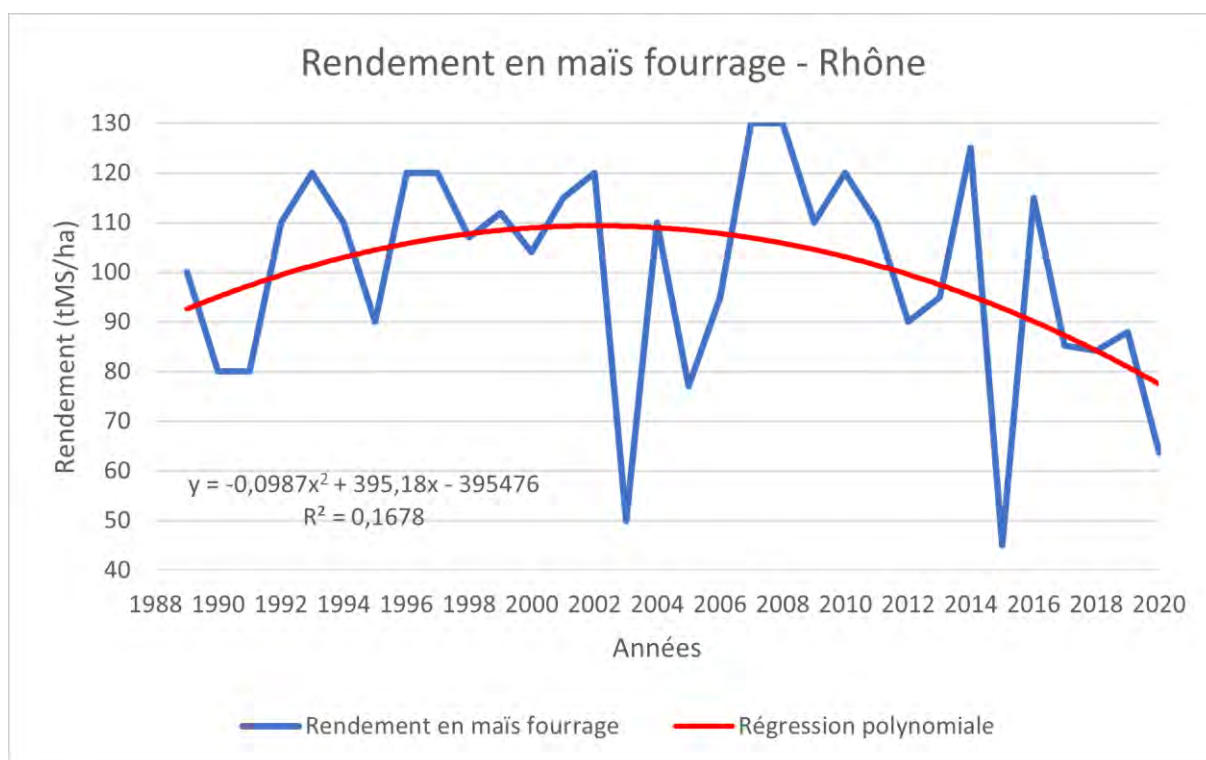
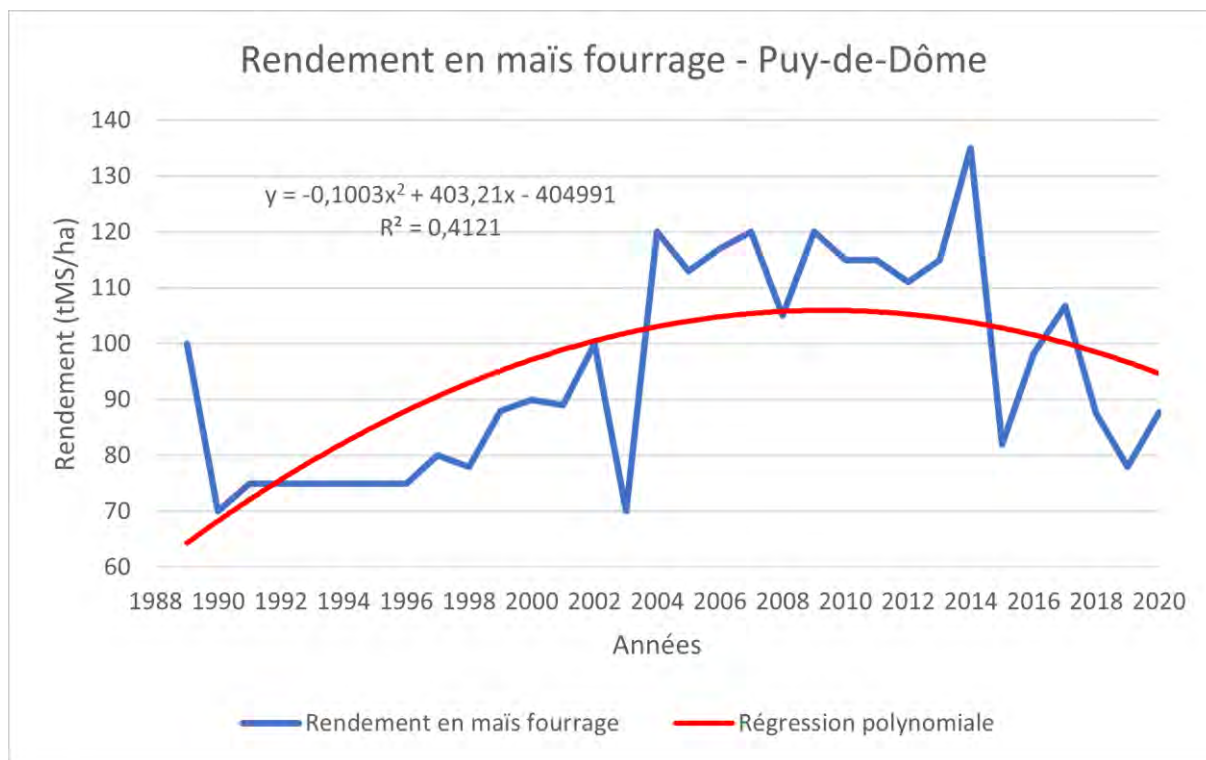


Rendement du maïs fourrage





Rendement du maïs fourrage





Rendement du maïs fourrage

Analyse

L'évolution des rendements en maïs fourrage observée en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1989 montre des tendances significatives pour la majorité des territoires étudiés. Le tableau ci-dessous présente les évolutions (par ajustement linéaire) :

Territoire	Evolution du rendement en maïs fourrage (tMS/ha/décennie)	Significativité de la tendance
AURA	-2,58	ns
Ain	2,09	X
Allier	/	*** (binomial)
Cantal	/	** (binomial)
Isère	-17,33	***
Loire	-0,51	X
Haute-Loire	1,45	ns
Puy-de-Dôme	/	** (binomial)
Rhône	/	* (binomial)

Note : X = pas de conclusion statistique, ns = non significatif ; * = significatif avec un risque d'erreur < 5% ; ** = significatif avec un risque d'erreur < 1% ; *** = significatif avec un risque d'erreur < 0,1%.

L'évolution du rendement du maïs fourrage ne montre pas de tendance significative pour la région Auvergne-Rhône-Alpes et pour le département de la Haute-Loire. Aucune conclusion statistique ne peut être tirée pour l'évolution du rendement en maïs fourrage pour les départements de l'Ain et de la Loire puisque les conditions d'application du test ne sont pas respectées (cf. « Méthodologie statistique »). En revanche, une tendance très significative à la diminution linéaire du rendement de maïs fourrage est observée en Isère. Pour les départements de l'Allier, du Cantal, du Puy-de-Dôme et du Rhône, ce sont des tendances significatives à un plafonnement des rendements qui sont démontrées. En effet, l'ajustement le plus adapté est binomial. Par conséquent, deux périodes se distinguent :

- Une période de forte augmentation du rendement avant les années 2000
- Une période de stagnation des rendements à partir des années 2000 avec une diminution plus ou moins forte en fonction des départements ces dernières années

Le rôle du changement climatique dans l'évolution des rendements en maïs fourrage n'a pas encore été prouvé de façon précise. Cependant, plusieurs travaux d'études montrent que les stades phénologiques arrivent de plus en plus précocement et donc que la durée des phases culturales est raccourcie, en raison de l'augmentation des températures. Il en résulte une durée de remplissage des grains amoindrie, accentué par le fait que le raccourcissement des stades fait glisser la phase de remplissage vers les mois les plus chauds (cf. « Choix variétaux du maïs »).

Les causes de la stagnation des rendements du maïs fourrage et plus globalement des céréales à paille ne résultent pas uniquement de la chaleur et de la sécheresse : les excès d'eau, les ensoleillements trop faibles peuvent également être très extrêmes et fortement pénalisants. Des trop fortes précipitations au moment de l'implantation de la culture freinent le développement des racines et rendent la culture plus sensible à la sécheresse en fin de cycle. Celle-ci empêche également une croissance normale des tiges (Jouzel *et al.*, 2021).

Les impacts proviennent également des ravageurs. Leur cycle étant lié aux températures, ils sont amenés à développer une génération additionnelle au cours de l'année, à étendre leur aire géographique vers le nord ou arriver de manière plus hâtive en saison. La Pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, en est un exemple (Debailleul, 2013).



Rendement du maïs fourrage



Analyse

Cette stagnation des rendements peut s'accompagner d'une grande variabilité de production d'une année à l'autre (Jouzel *et al.*, 2021). Par exemple, en 2014, les rendements en maïs fourrage ont été en forte hausse puisqu'ils ont bénéficié d'une bonne implantation et de pluies estivales suffisantes (AGRESTE, 2014). En revanche, en 2015, les rendements ont fortement chuté. Le manque de pluie et la chaleur estivale ont pénalisé la production (AGRESTE, 2015). Ces grandes variations dans les volumes collectés entraînent des répercussions sur les prix des produits agricoles, dans un contexte de marché mondialisé comme celui des céréales. Le marché de l'offre et de la demande ainsi que le marché spéculatif peuvent amplifier ce phénomène et parfois fragiliser la filière (Jouzel *et al.*, 2021).

Toutefois, d'autres facteurs influencent les rendements du maïs fourrage. L'intensification ou au contraire l'extensification des pratiques peut jouer un rôle. Il s'agirait d'étudier l'évolution des surfaces en Agriculture Biologique (AB), en Agriculture de Conservation des Sols (ACS) ou encore l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT). La diversification des rotations, la localisation de la production, l'altitude ou encore la réglementation (interdiction de certains produits phytosanitaires ou arrêtés cadre sécheresse par exemple) sont également des facteurs à prendre en compte.

A RETENIR

L'évolution du rendement du maïs fourrage ne montre pas de tendance significative pour la région Auvergne-Rhône-Alpes et pour le département de la Haute-Loire. Aucune conclusion statistique ne peut être tirée pour l'évolution du rendement en maïs fourrage pour les départements de l'Ain et de la Loire. En revanche, une tendance très significative à la diminution linéaire du rendement de maïs fourrage est observée en Isère. Pour les départements de l'Allier, du Cantal, du Puy-de-Dôme et du Rhône, ce sont des tendances significatives à un plafonnement des rendements qui sont démontrées.

Les changements climatiques, mêlés à d'autres facteurs, sont responsables de ce phénomène. La modification des calendriers agricoles, des dynamiques de populations de ravageurs ainsi que les événements climatiques extrêmes ont, entre autres, des impacts négatifs sur la production. La période optimale de récolte de la plante au bon taux de matière sèche est également réduite. Les progrès génétiques, techniques et technologiques ne suffisent plus à conserver une augmentation du rendement en maïs fourrage.



Pour en savoir plus

AGRESTE, 2014. En 2014, les prix des principales productions végétales et animales sont en recul sur un an. In : *Agreste Conjoncture*. N°6. Octobre-Novembre 2014.

AGRESTE, 2015. En 2015, des marchés agricoles sous la pression des excédents mondiaux et communautaires. In : *Agreste Conjoncture*. N°8. Décembre 2015.

Debailleul, G., 2013. Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques. In : *Consortium Ouranos*. Mars 2013.

Jouzel, J., Jézéquel, S., Dubief, P., Loiseau, J-F., 2021. Changement climatique : les transitions à l'œuvre dans la filière céréalière. In : *Céréales & Climat*. Dossier de presse. 7 avril 2021



Leviers d'adaptation : Cultures de blé

Analyse

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

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

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

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

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

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



Leviers d'adaptation : Culture de blé

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

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

A RETENIR

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

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



Pour en savoir plus :

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

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

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

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

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

RENOUX J. P.; 2015. Les experts maïs. Episode 2. L'irrigation : une chance pour l'agriculture française.

ORACLE Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine.



Leviers d'adaptation : Prairies

Analyse

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

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

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

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

4 ADAPTATIONS AGRICOLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Leviers d'adaptation : Prairies

Tableau – Pistes d'adaptation au changement climatique pour les prairies

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

A RETENIR

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

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



Leviers d'adaptation : Prairies



Pour en savoir plus :

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

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

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

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

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

ORACLE Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine.



Leviers d'adaptation : Cultures de maïs

Analyse

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

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

Dans le cas de culture non irriguée, il faut alors favoriser une stratégie d'esquive pour éviter que les périodes les plus sèches coïncident avec les phases les plus sensibles de la culture, principalement la floraison et le remplissage des grains. Cela se fait par l'utilisation combinée de variétés plus précoces (cycle court) et de semis précoces (dès que la portance des sols le permet).

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

La substitution du maïs fourrage par le sorgho grain ou le sorgho sucrier est une alternative intéressante lorsque l'eau est la ressource limitante. Le sorgho permet des rendements supérieurs au maïs ensilage dans des conditions de forte sécheresse, car il valorise mieux l'eau disponible. Le sorgho est par contre moins efficace pour la production de viande bovine, ne possédant pas une valeur alimentaire compatible avec des performances élevées (Le Pichon, 2011).



Leviers d'adaptation : Culture de maïs

Tableau – Pistes d'adaptation au changement climatique pour la culture du maïs

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

A RETENIR

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

- irriguer permet de garantir des rendements stables ;
- mettre en place une stratégie d'esquive (semis et variétés précoces) pour éviter de faire coïncider les phases sensibles avec les phases les plus stressantes ;
- favoriser les variétés les plus tolérantes à la sécheresse.



Pour en savoir plus :

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

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

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

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

https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjv4-s5fnMAhWEPRoKHYY9DTkQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agpm.com%2Fiso_album%2Fexpertsmais_episode_2_irrigation_bd.pdf&usq=AFQjCNHfvKOSKP38dSPhKeNBwj9-qsYWKg&sig2=c38r.

ORACLE Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine.



Cette famille d'indicateurs « d'atténuation » rend compte des leviers actionnés en Auvergne-Rhône-Alpes pour contribuer à diminuer l'impact de l'agriculture sur le changement climatique et à stocker du carbone sur les exploitations.

Occupation des sols par l'agriculture

Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF : Agreste enquête TERRUTI.

Indicateurs

- Évolution de l'occupation des sols agricoles, naturels et artificiels de la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1982.
- Évolution de l'occupation des différents types de sols agricoles de la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1982.

Calcul de l'indicateur

Les données sont exprimées en hectare, et correspondent à la moyenne triennale de 3 enquêtes TERRUTI successives. L'année de référence est l'année médiane de 3 années successives.

- Les sols artificiels comprennent :
 - Les sols bâtis
 - Les sols revêtus ou stabilisés
 - Les autres sols artificialisés
 -
- Les sols naturels comprennent :
 - Les forêts
 - Les landes, friches, maquis, garrigues et savanes
 - Les sols nus naturels
 - Sous les eaux
 - Les autres sols boisés
- Les sols agricoles comprennent :
 - Les cultures annuelles, légumes
 - Les cultures permanentes
 - Les jachères et prairies temporaires
 - Les surfaces toujours en herbe
 - Les autres sols agricoles

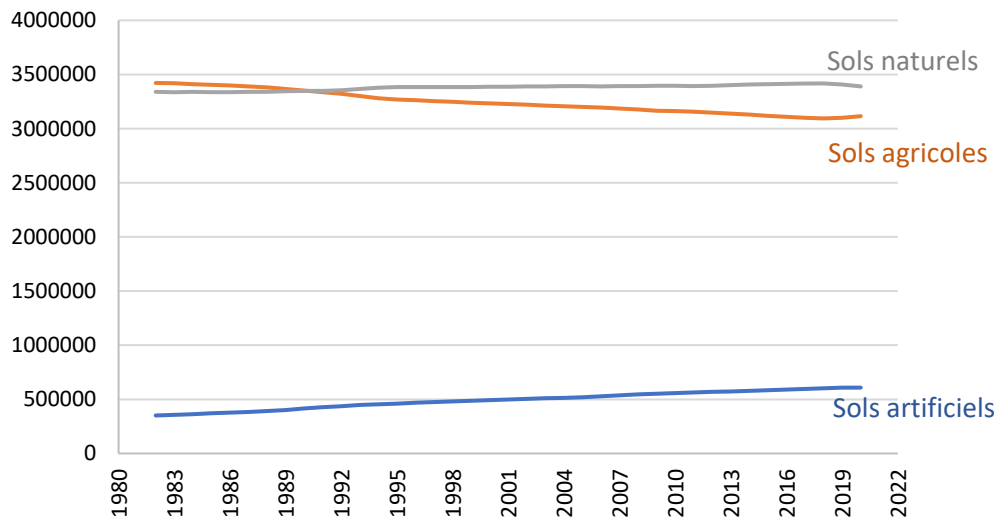


Occupation des sols par l'agriculture



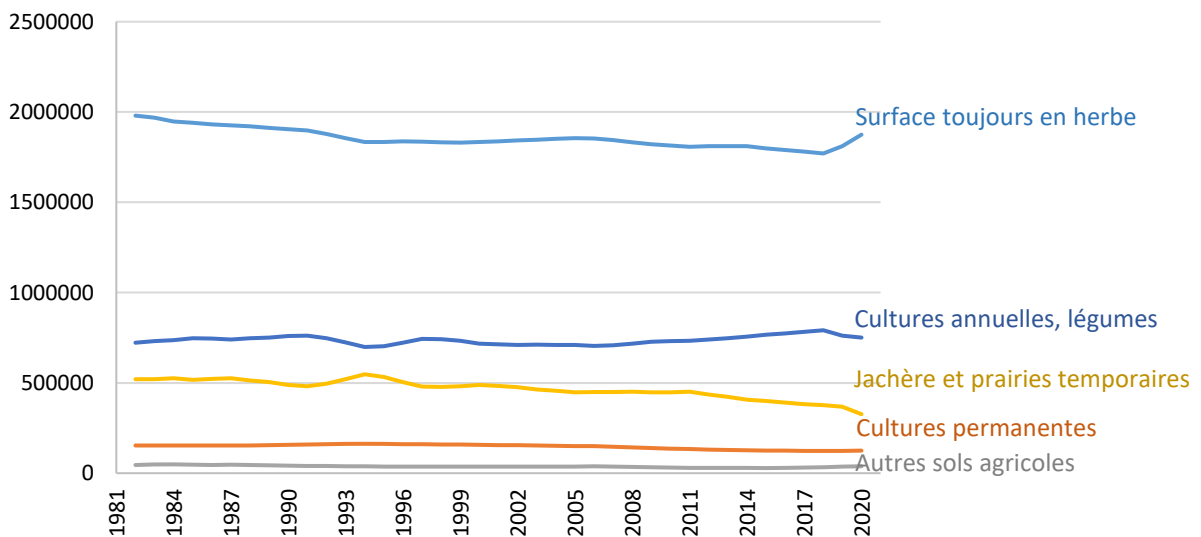
Évolution observée

Évolution de la surface en hectare des sols agricoles, artificiels et naturels de la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1982.



DRAAF : Agreste enquête TERRUTI

Évolution de l'occupation en hectare des différents types de sols agricoles de la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 1982.



DRAAF : Agreste enquête TERRUTI



Occupation des sols par l'agriculture

Analyse

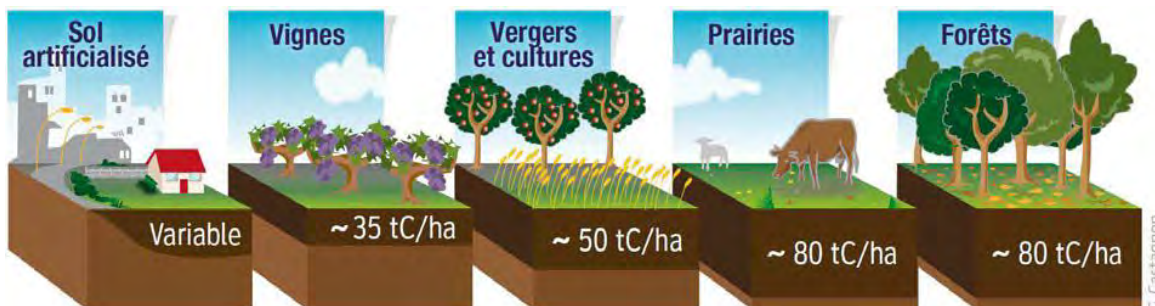
La région Auvergne-Rhône-Alpes a une superficie de 68 711 km². Elle est principalement constituée de terres naturelles (forêts) et de terres agricoles (prairies permanentes). En 2020 elle est occupée par :

- 44 % de terres agricoles
- 48 % de sols naturels
- 8 % de sols artificiels

La surface des sols agricoles diminue légèrement depuis les années 80. Leur surface est passée de 3 421 930 ha en 1982 à 3 114 222 ha en 2020. A l'inverse, la surface des sols artificiels a fortement augmenté et est passée de 351 029 ha en 1982 à 608 352 ha en 2020. Les sols naturels ont légèrement augmenté, ils sont reconnus pour leur forte capacité stockante de carbone. Ils sont passés de 3 340 636 ha à 3 391 021 ha.

Les sols agricoles régionaux sont principalement constitués de surfaces toujours en herbe (60%) et dont la surface a augmenté depuis 2018. Elle est passée de 1 770 316 ha en 2018 à 1 874 566 ha en 2020. Au contraire les jachères et prairies temporaires ont vu leur surface baisser depuis 2018 et passer de 377 219 ha en 2018 à 326 804 ha en 2020. Les cultures annuelles, qui occupent 24% des sols de la région, subissent elles aussi une diminution depuis 2018. Elles sont passées de 791 469 ha en 2018 à 750 238 ha en 2020. Les autres surfaces agricoles (cultures permanentes et autres sols agricoles) n'évoluent pas depuis ces 40 dernières années.

Les surfaces agricoles, notamment les prairies, stockent le carbone à raison de 80 tonnes de carbone par hectare. Les vignes stockent environ 35 t de carbone par hectare, et les vergers et cultures sont capables de stocker 50 tonnes de carbone par hectare. Cependant, il est difficile de quantifier les stocks en zone urbaine, bien qu'il puisse en exister dans les sols des espaces verts (ADEME, 2014).



Estimation du stock de carbone dans les trente premiers centimètres du sol (source : ADEME, 2014).

A RETENIR

En Auvergne-Rhône-Alpes, la surface des sols agricoles diminue légèrement depuis quelques années en raison de l'augmentation des sols artificialisés.

Les surfaces toujours en herbe ont vu leur surface augmenter rapidement depuis 2018, et passer de 1 770 316 ha en 2018 à 1 874 566 ha en 2020. Au contraire, les jachères et prairies temporaires ont vu leur surface diminuer rapidement et passer de 377 219 ha en 2018 à 326 804 ha en 2020.

Pour en savoir plus

ADEME (2014). Carbone organique des sols – l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. @ademe éditions, juin 2014. Isbn : 978-2-358-447-6.



Occupation des sols par l'agriculture

Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes : Agreste – Statistique Agricole Annuelle (SAA).

Indicateur

Évolution de la surface des prairies permanentes ou de plus de 5 ans, des prairies artificielles et temporaires en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2000.

Calcul de l'indicateur

Les surfaces sont exprimées en hectares.
La SAA est une opération de synthèse à partir de sources multiples.

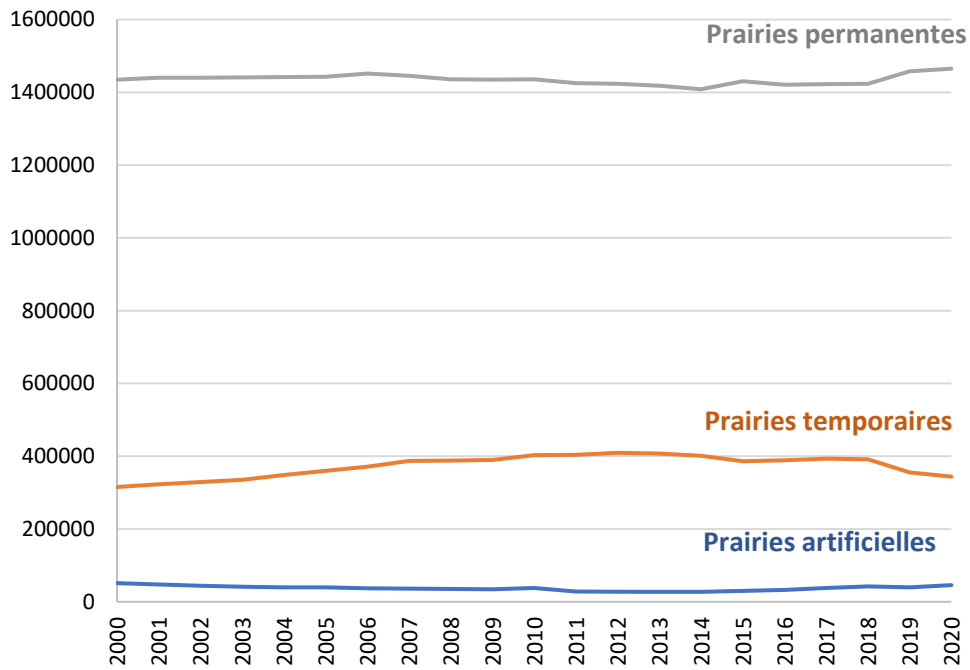


Occupation des sols par l'agriculture



Évolution observée

Évolution de la surface des prairies permanentes ou de plus de 5 ans, des prairies artificielles et temporaires en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2000.



Données fournies par la DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes : Agreste – Statistique Agricole Annuelle (SAA).



Occupation des sols par l'agriculture

Analyse

Depuis 2018, la surface en prairies naturelles ou de plus de 5 ans est en légère augmentation, et passe de 1 423 220 ha en 2018 à 1 465 160 ha en 2020. Au contraire, la surface des prairies temporaires subit une légère diminution et passe de 392 010 ha en 2018 à 343 810 ha en 2020. Cette évolution est un artefact du changement de définition PAC des prairies permanentes en 2018. Une prairie permanente est donc une surface :

- de production d'herbe,
- de mélange de graminées et de légumineuses (majoritaires ou minoritaires en mélange)
- d'autres plantes fourragères herbacées
- de jachères

Depuis plus de 5 années consécutives (soit à compter de la sixième déclaration PAC) et ce, même si la surface est labourée et /ou réensemencée durant cette période.

Comme il a été mentionné dans la partie précédente (occupation des sols par l'agriculture), les prairies ont un fort pouvoir de stockage du carbone dans les trente premiers centimètres de leur sol. En effet, les plantes synthétisent leur matière organique en prélevant le CO₂ dans l'atmosphère. Le carbone est alors stocké sous forme organique et sera transféré dans le sol à la mort de la plante. Lors de la dégradation de la plante, celle-ci va subir une minéralisation. Le carbone sera alors restitué à l'atmosphère en CO₂.

Le stockage du carbone est un phénomène temporaire dont la durée peut varier en fonction de la gestion du sol (INRAE, 2013).

Le stockage du carbone est influencé par deux principaux facteurs : 1) abiotiques agissant sur le long terme : tels que le type de sol et le climat (effets à long terme) 2) biotiques et de gestion : tels que les pratiques agricoles et la biodiversité (effets à moyen et court terme).

1) La composition du sol permet de déterminer sa capacité à stocker le carbone. En effet un sol contenant de l'argile va structurer le sol et favoriser sa capacité de rétention (eau et carbone).

Le climat joue un rôle quant aux propriétés physico-chimiques du sol pour la captation du carbone. Il joue également un rôle lors de la sélection des végétaux par l'agriculteur qui choisira alors des plantes adaptées au climat.

2) Certaines pratiques agricoles permettent d'augmenter les apports de matière organique dans le sol, ce qui a pour conséquence de favoriser le stockage du carbone. Il en est de même pour les facteurs biotiques. En effet, plus un sol sera diversifié en termes d'espèces végétales et de micro et macro-organismes, plus ses capacités de stockage seront importantes (De Deyn *et al.* 2011 et Filser *et al.* 2016).

Le stockage de carbone sous les prairies peut être favorisé/augmenté par :

- Une gestion modérée de la biomasse (fauche, pâturage)
- Une implantation d'espèces favorables telles que les légumineuses
- Une irrigation et fertilisation adaptées
- La restauration des prairies dégradées

Des méta-analyses ont démontré que la fertilisation, l'irrigation, le travail du sol et le chaulage avaient un impact sur le stockage du carbone. En effet, l'augmentation des apports d'azote (via la fertilisation ou la culture de légumineuses) complétée par des amendements organiques permet d'augmenter les entrées de carbone. Il a été également démontré que la sécheresse et l'irrigation avaient un impact sur le stockage du carbone.



Occupation des sols par l'agriculture

Un sol soumis à la sécheresse favorisera des plantes avec un système racinaire plus développé alors qu'un sol irrigué comportera des entrées de biomasse plus élevées (Zhou et al. 2016). Le travail du sol, quant à lui, entraîne des pertes de carbone dû à la décomposition accélérée de la matière organique. Une étude a estimé que le stockage du carbone serait favorisé en absence de labour car la minéralisation de la matière organique serait réduite (Chenu *et al*, 2014).

La biodiversité végétale, telle que l'introduction de légumineuse joue également un rôle dans le piégeage du carbone. (Cf. « Surfaces en légumineuses à graines »).

La biodiversité animale (macro et micro-organismes) influence la dynamique de la matière organique grâce à la décomposition de la litière et donc de la minéralisation du carbone dans les sols (Amdouni-Boursier et Goffaux, 2019).

A RETENIR

Les prairies permanentes ont vu leur surface augmenter depuis 2018. Leur surface est passée de 1 423 220 ha en 2018 à 1 465 160 ha en 2020.

En parallèle, les prairies temporaires ont vu leur surface décliner depuis 2018, passant de 392 010 ha en 2018 à 343 810 ha en 2020.

Cette évolution peut s'expliquer par le changement de définition des prairies permanentes par la PAC.



Pour en savoir plus

ADEME (2014). Carbone organique des sols – l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. @ademe éditions, juin 2014. Isbn : 978-2-358-447-6.

Chenu, c., Klumpp, k., & Bispo, a. (2014). Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers D'action pour la France. Innovations agronomiques 37 (2014), 23-37.

Derrien, D., Dignac, M. F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G. T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P. A., Nunan, N. Roumet, C., & Baré, P. (2016). Stocker du C dans les sols : quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? Etude et Gestion des Sols 33.

De Deyn, G. B., Shiel, R.S., Ostle, N.J. McNamara, N.P. Oakley, S. Young, I. Freeman, C. Fenner, N. Quirk, H., & Bardgett R. (2010). Additional carbon sequestration benefits of grassland diversity restoration. Journal of Applied Ecology, Volume 48, Issue 3, June 2011, Pages 600-608

Filser, J., Faber, J. H., Tiunov, A. V., Brussaard, L., Frouz, J., De Deyn, G., Uvarov, A. V., Berg, M. P., Lavelle, P., Loreau, M., Wall, D.H., Querner, P., Eijsackers, H., & J. J Jiménez. 2016. Soil fauna: key to new carbon models. Soil, 2, 565-582, 2016.

INRA. (Juillet 2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Synthèse du rapport de l'étude réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME, du MAAF ET DU MEDDE.

Zhou, X., Zhou, L., Nie, Y., Fu, Y., Du, Z., Shao, J., Zheng, Z., & Wang, X. (2016). Similar responses of soil carbon storage to drought and irrigation in terrestrial ecosystems but with contrasting mechanisms: A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 228:70-81



Livraisons régionales d'engrais azotés

Nature et source des données

Données fournies par l'UNIFA (2023).

Indicateur

Évolution des livraisons d'engrais minéraux azotés et évolution des livraisons azotées par sous-catégorie en région Auvergne-Rhône-Alpes entre 1995-1996 et 2021-2022.

Calcul de l'indicateur

La période de collecte est une année de campagne (\neq année civile) soit :

- Produits azotés : de juin N-1 à juillet N
- Produits non azotés : mai N-1 à avril N

• Les données collectées sont exprimées en tonne de produit et se font par régions de la France métropolitaine uniquement :

- Avant 2017/2018 : anciennes répartitions régionales - 22 régions
- Après 2017/2018 : nouvelles répartitions régionales – 12 régions (Un traitement d'homogénéisation des séries de données a été effectué)

Les données collectées représentent des livraisons et ne s'apparentent donc pas directement à l'usage et l'épandage sur la région.

• Les sous catégories d'engrais azotés sont : l'ammonitrate (dosage $<$ et $=$ à 28% et $>$ à 28%), les solutions azotées et l'urée.

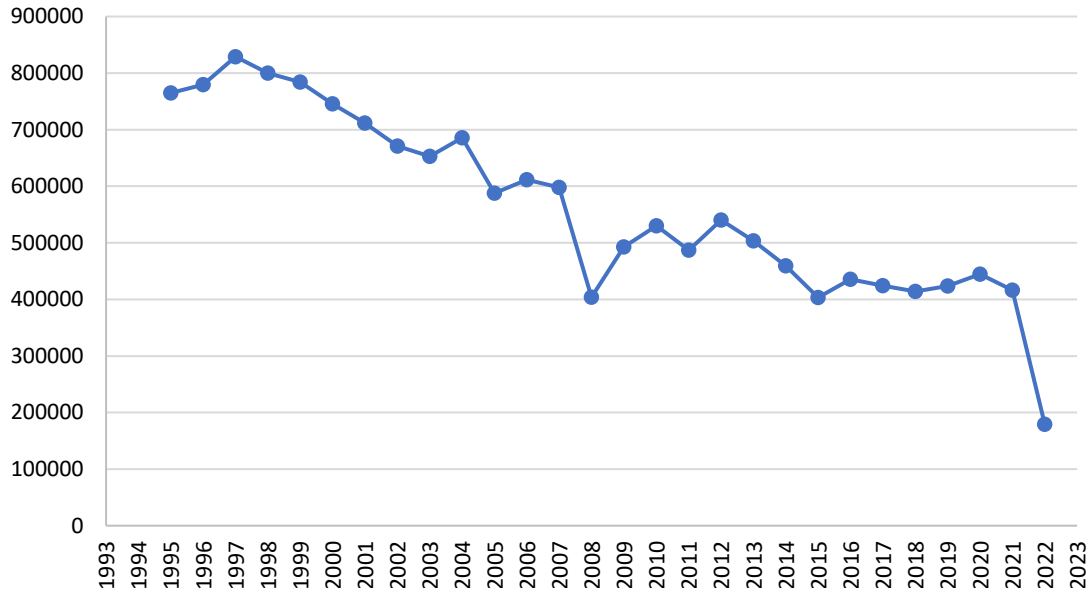


Livraisons régionales d'engrais azotés



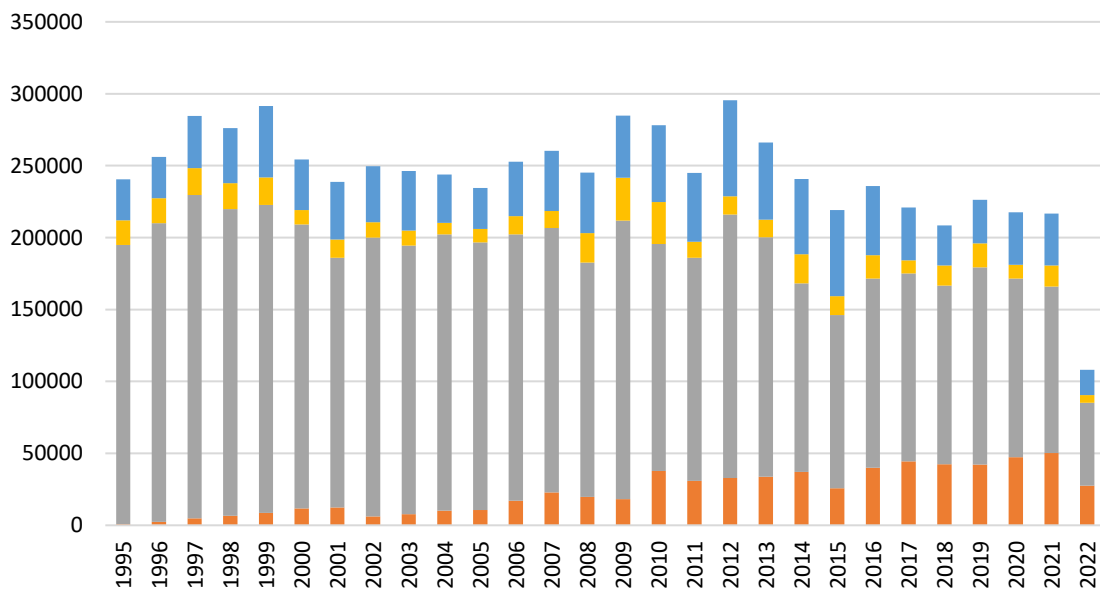
Évolution observée

Évolution des livraisons en tonnes d'engrais minéraux en région Auvergne-Rhône-Alpes entre 1995-1996 et 2021-2022



UNIFA (2023)

Évolution des livraisons azotées en tonnes par sous-catégorie en région Auvergne-Rhône-Alpes entre 1995-1996 et 2021-2022.



AMMONITRATE Dosage < et = 28 % AMMONITRATE Dosage > 28 % SOLUTIONS AZOTEES Urée

UNIFA (2023).



Livraisons régionales d'engrais azotés

Analyse

Les livraisons d'engrais azotés accusent une diminution importante depuis la fin des années 90. La mise en place de la directive nitrate en 1991, et la PAC de 1992 expliquent en partie cette diminution.

Une chute drastique des livraisons a eu lieu entre 2021 et 2022. Cet événement peut être expliqué par des épisodes majeurs que la France a subi ces dernières années : la crise sanitaire due au Covid-19, la guerre en Ukraine et l'augmentation des cours du gaz naturel, ce qui a eu pour conséquence d'augmenter les tarifs des fertilisants.

A RETENIR

Les livraisons d'engrais azotés ne cessent de diminuer depuis les années 90.

Une diminution très importante est observée en 2022 en lien avec la conjoncture.



Surfaces en légumineuse à graine

Nature et source des données

Données fournies par la DRAAF : Agreste – Statistique Agricole Annuelle (SAA).

Indicateur

Évolution de la surface en légumineuse à graine en Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2010.

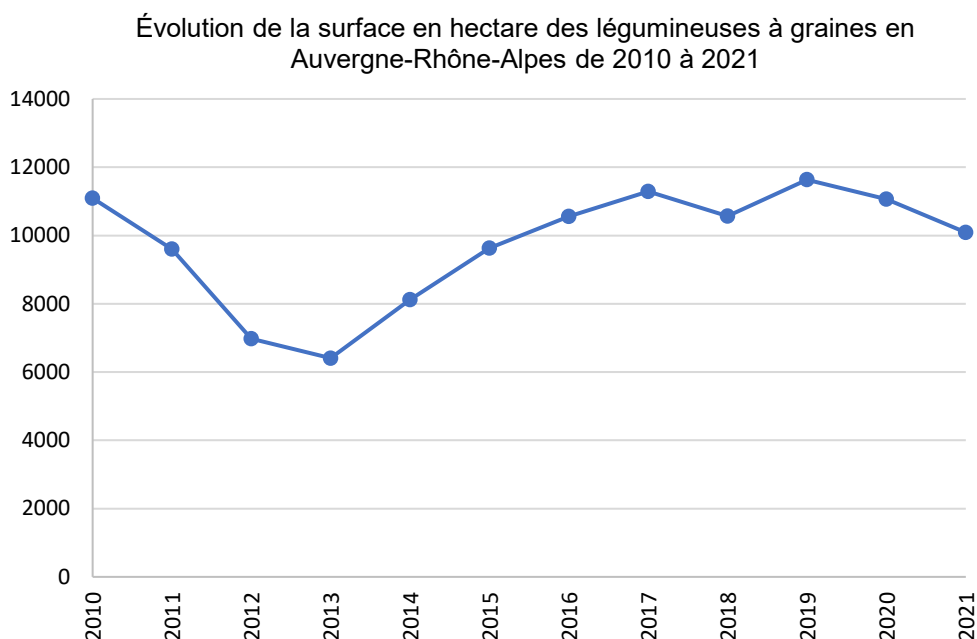
Calcul de l'indicateur

Cumul des surfaces en hectares des légumineuses cultivées en région. Parmi les légumineuses, on retrouve : féverole et fève, haricot sec, lentille, pois protéagineux, mélange de pois, pois chiche, lupin doux.



Surfaces en légumineuse à graine

Évolution observée



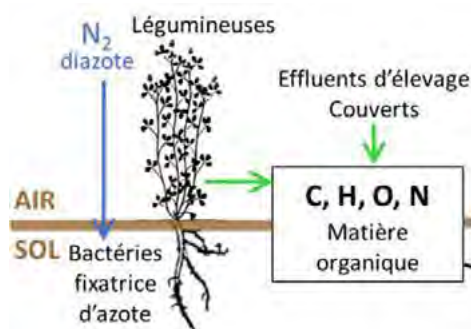
DRAAF : Agreste – Statistique Agricole Annuelle (SAA).

Analyse

Après une chute des surfaces en légumineuses jusqu'en 2013, celle-ci s'est vue augmenter jusqu'en 2017 et passer de 6 408 ha à 11 289 ha. Cette augmentation peut potentiellement s'expliquer par un soutien économique de 2014 (PAC).

Depuis 2019 la surface en légumineuse tend à diminuer malgré un plan de relance lancé en 2020. En effet, en 2020 la surface cultivée en légumineuse en région est descendue à 10 089 ha. Ce plan a pour but d'apporter un soutien financier pour encourager la production de légumineuse.

Les légumineuses ont un rôle à jouer dans la réduction des GES. En effet, elles sont capables de fixer l'azote atmosphérique via une symbiose avec des bactéries (genre Rhizobium) présentes au niveau de leurs racines dans le sol (schéma ci-après). Les légumineuses n'ont donc pas besoin d'apports en engrais azotés. Leur deuxième particularité est qu'elles fournissent une partie de l'azote nécessaire au développement des cultures suivantes, ce qui permet de réduire les apports en engrais azotés. Elles sont alors utilisées dans le cadre de rotation de cultures.





Surfaces en légumineuse à graine

A RETENIR

De nombreuses aides financières ont permis de favoriser la culture de légumineuses mais depuis quelques années, les surfaces ont tendance à décliner.



Émissions agricoles de gaz à effet de serre

Nature et source des données

Données fournies par ORCAE (Observatoire Régional Climat-Air-Énergie). Analyses thématiques « Émissions de gaz à effet de serre en Auvergne-Rhône-Alpes » et « Puits de carbone en Auvergne-Rhône-Alpes » à consulter sur le site de l'ORCAE.

Indicateur

Évolution des émissions annuelles de gaz à effet de serre (GES) en région Auvergne-Rhône-Alpes par l'agriculture en comparaison aux autres secteurs depuis 1990.

Calcul de l'indicateur

Ces émissions comprennent tous les types de GES émis par les activités humaines : CO₂, N₂O, CH₄ et les composés fluorés. Leur pouvoir de réchauffement global (PRG) est pris en compte. On aura donc : PRG CO₂=1, PRG CH₄=28, PRG N₂O=265 ; ce qui signifie que sur un horizon de 100 ans, le CH₄ aura un impact vingt-huit fois plus important sur le réchauffement climatique que le CO₂ (et 265 fois pour le N₂O). Ces valeurs sont issues du 5ème rapport d'évaluation du GIEC (2013).

Les données sont exprimées en kteqCO₂ (équivalent CO₂) et à climat normal, c'est-à-dire que les données sont corrigées au niveau des variations climatiques annuelles.

Les autres secteurs d'activités sont :

- la branche énergie
- la gestion des déchets
- l'industrie hors branche énergie
- le résidentiel
- le tertiaire
- les transports routiers
- les autres transports

Les données pour l'année 2021 sont estimées.

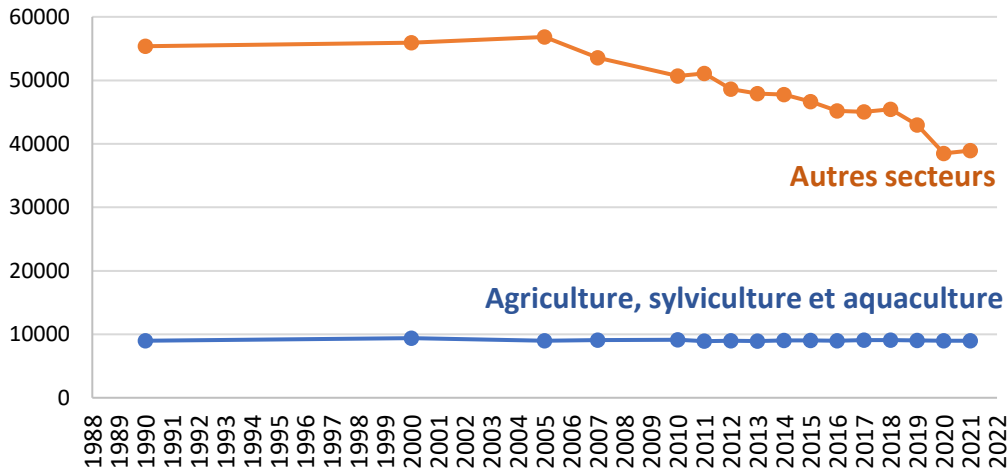


Émissions agricoles de gaz à effet de serre



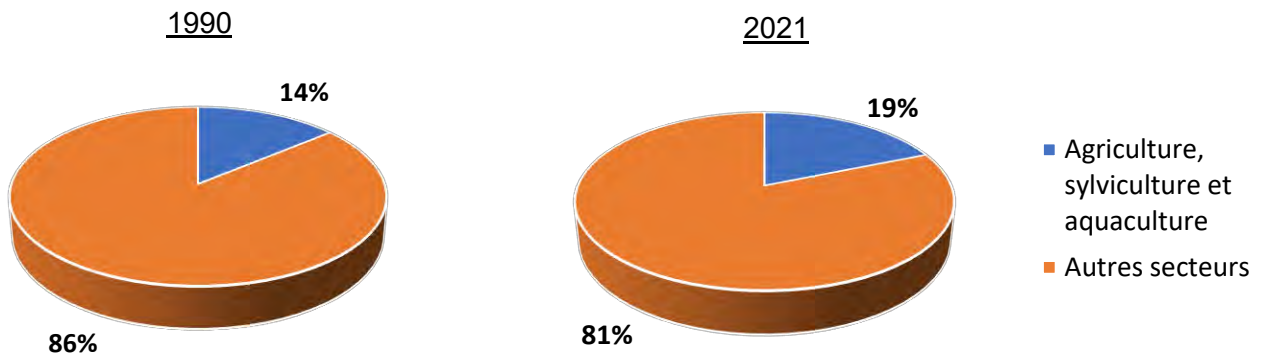
Évolution observée

Évolution des émissions de GES (incluant les GES fluorés) en agriculture et dans les autres secteurs de 1990 à 2021



Source : ORCAE

Part des émissions de GES (incluant les GES fluorés) en agriculture et dans les autres secteurs pour les années 1990 et 2021 :

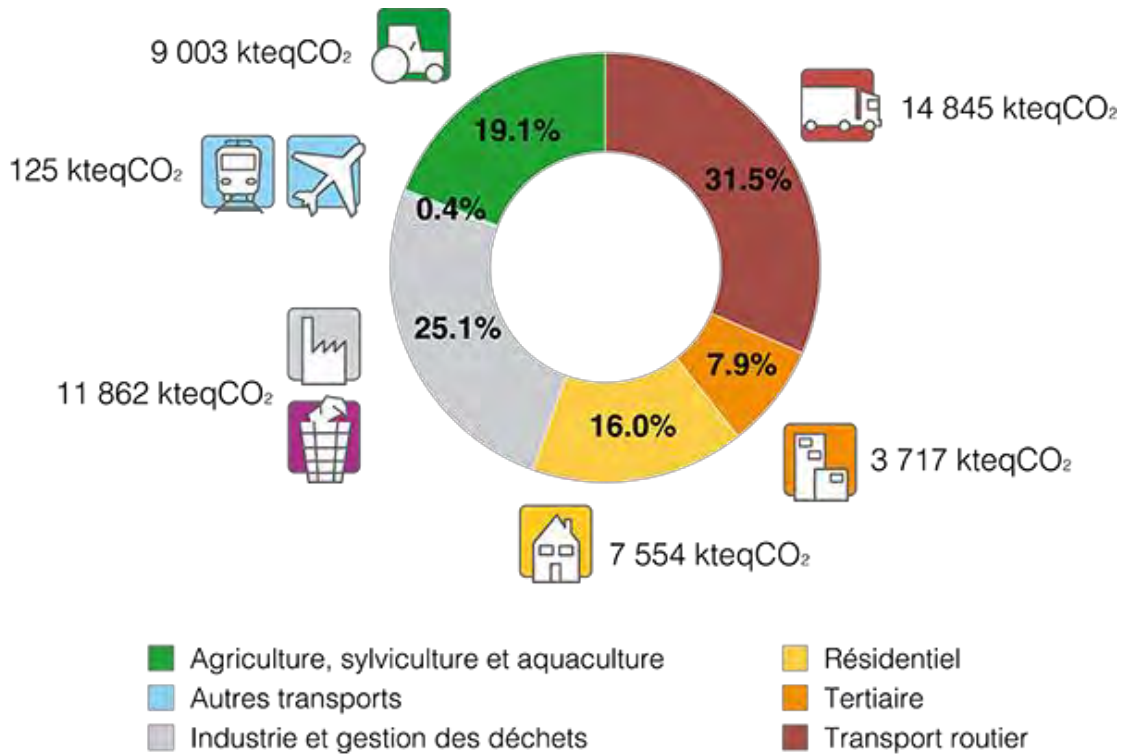


Source : ORCAE



Émissions agricoles de gaz à effet de serre

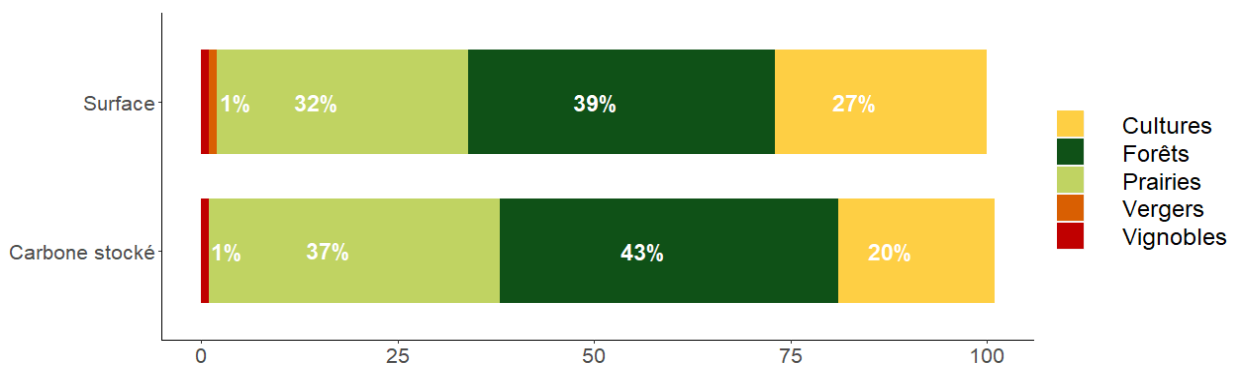
Émissions de GES par secteurs (hors branche énergie) en Auvergne-Rhône-Alpes en 2021 :



Source : ORCAE

<https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/analyses-thematiques/climat/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre>

Stockage du carbone en Auvergne-Rhône-Alpes en 2021 :



Source : ORCAE

<https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/analyses-thematiques/climat/absorption-de-carbone>



Émissions agricoles de gaz à effet de serre



Analyse

Les émissions de GES agricoles restent relativement stables depuis les années 90 malgré une légère diminution de la surface des sols agricoles.

Les émissions de GES des autres secteurs tendent à une diminution depuis 2004.

En 2021, les transports (32%) et le secteur industrie et gestion des déchets (25%) sont les secteurs émettant le plus de GES en région Auvergne-Rhône-Alpes. Le secteur agricole pèse pour 19% dans les émissions de GES alors qu'il représente moins de 2% des consommations énergétiques.

Par ses surfaces naturelles et ses surfaces agricoles, la région Auvergne-Rhône-Alpes possède une superficie de stockage de carbone de 61 217 km². Le stock de carbone sur le territoire régional est estimé à 1 592 MteqCO₂ (en 2018). Il est en progression de +0,3% par rapport à 2012. 80% du carbone est stocké par les forêts et les prairies permanentes (ORCAE).

A RETENIR

L'agriculture contribue à hauteur de 19% des émissions de GES en Auvergne-Rhône-Alpes en 2021, ses émissions sont stables mais sa part est en augmentation.

Le stock de carbone sur la région est estimé à 1 592 MteqCO₂ (en 2018) et la surface de stockage totale occupe 87% (principalement par les forêts et prairies) de la surface régionale.



Pour en savoir plus :

<https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/analyses-thematiques/climat/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre>

<https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/analyses-thematiques/climat/absorption-de-carbone>



Émissions agricoles de gaz à effet de serre

Nature et source des données

Sources des données : Inventaire régional spatialisé version 2022 - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Indicateur

- Émissions de GES par type de GES (CO₂, N₂O, CH₄ et autres formes), par le secteur agricole et par les autres secteurs en millions de tonnes équivalent CO₂ en 2019.
- Émissions séparées de CO₂ et de N₂O par type d'usage agricole en 2019.

Calcul de l'indicateur

Les usages agricoles comprennent :

- Les engins agricoles
- Le brûlage agricole
- Les cheptels
- Les cultures
- Le chauffage
- L'industrie
- Les élevages de vaches laitières (dont chauffe-eau, pompe à eau, tanks, électricité)

Les autres secteurs comprennent

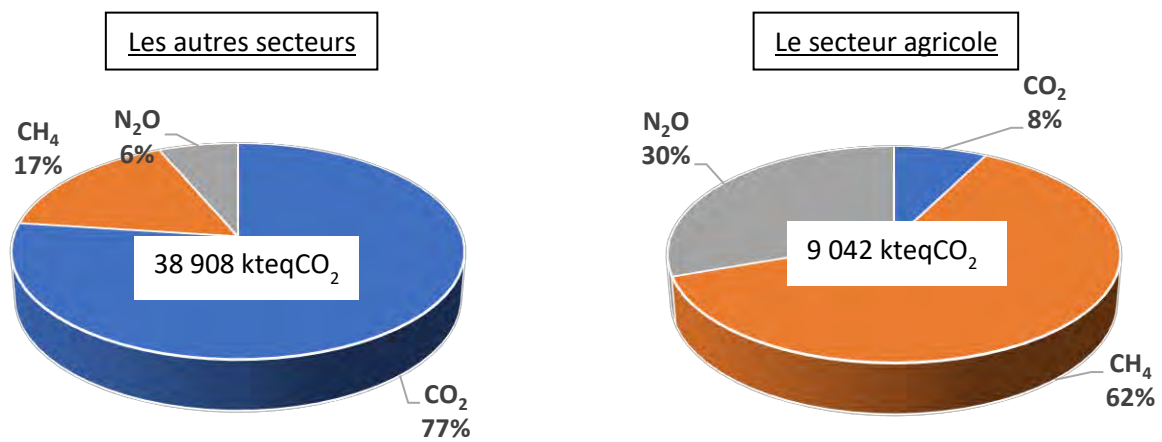
- La branche énergie
- La gestion des déchets
- L'industrie hors branche énergie
- Le résidentiel
- Le tertiaire
- Les transports routiers
- Les autres transports



Émissions agricoles de gaz à effet de serre

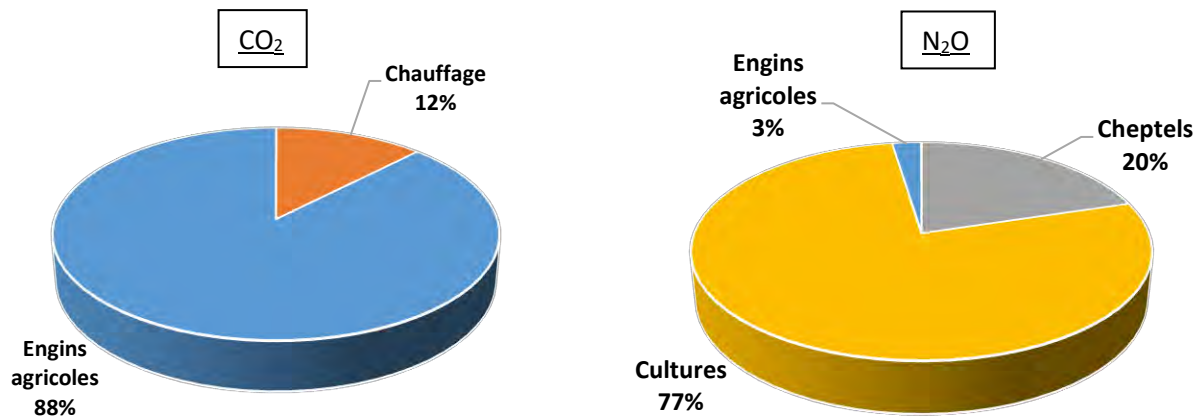
Évolution observée

Type de GES émis en région Auvergne-Rhône-Alpes en 2019 par :



Inventaire régional spatialisé version 2022 - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

Émissions séparées de CO₂ et de N₂O par type d'usage agricole en 2019 :



Inventaire régional spatialisé version 2022 - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes



Émissions agricoles de gaz à effet de serre



Les émissions de CO₂ sont principalement dues aux autres secteurs (Transport, industrie, gestion des déchets...) : 77% des GES émis sont du CO₂. Cependant, c'est le secteur agricole qui émet le plus de CH₄ et de N₂O par ses activités. En effet, 62% des émissions de GES agricoles sont dues au méthane (CH₄) et 30% au protoxyde d'azote (N₂O).

Le méthane (CH₄) est principalement émis par les cheptels : 5 608 kteqCO₂ émis par cette filière pour 5 612 kteqCO₂ émis au total pour le secteur agricole. La principale source d'émissions de CO₂ en agriculture est à 80% provoquée par l'utilisation d'engins agricoles. Le protoxyde d'azote (N₂O) est à 77% émis par le secteur des cultures via l'épandage d'engrais azotés.

La réduction/limitation des émissions dans le secteur agricole passe notamment par une adaptation des pratiques.

A RETENIR

En 2019, 63% des émissions de GES agricoles proviennent du méthane (CH₄) et sont dues aux activités liées au cheptel (principalement la fermentation entérique).
30% des émissions de GES agricoles proviennent du protoxyde d'azote (N₂O) et sont dues à l'épandage d'engrais azotés en grandes cultures.

L'agriculture émet peu de CO₂ (8%) et son origine provient de l'utilisation d'engins agricoles.



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation

Nature et source des données

Données : Suivi annuel DREAL / Région Auvergne-Rhône-Alpes / Direction régionale ADEME opéré par la DREAL et Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement (AURA EE) dans le cadre de la charte régionale Ambitions biogaz.

Indicateur

- Évolution du nombre de méthaniseurs en agriculture et pour les autres secteurs en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2008.
- Évolution du nombre de méthaniseurs agricoles par type (cogénération et injection) mis en service en Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2009.

Calcul de l'indicateur

Cumul du nombre de méthaniseurs installés en agriculture en région Auvergne Rhône Alpes de 2008 à 2022.

Les autres secteurs comprennent :

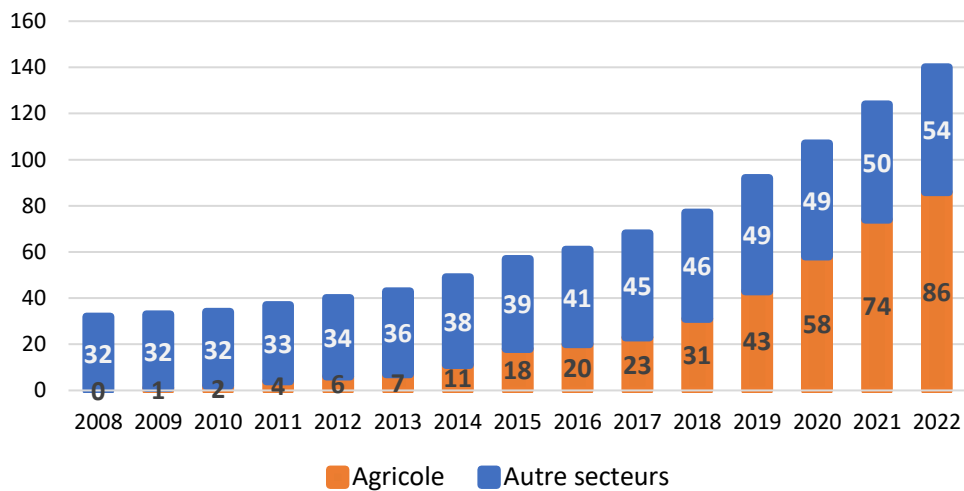
- Station d'épuration (STEP)
- Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND)
- Industrie
- Biodéchets
- Territorial non agricole



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation

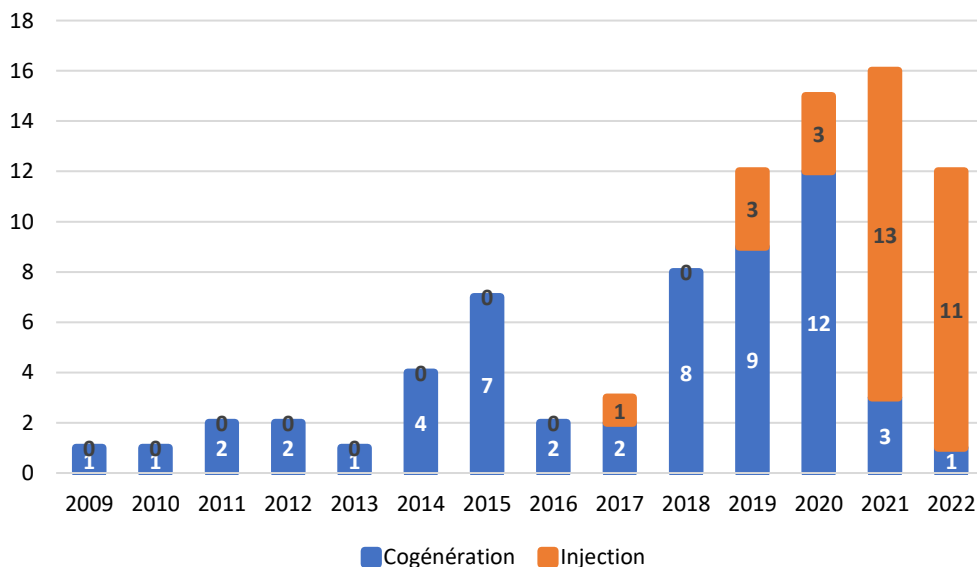
Évolution observée

Évolution du nombre d'unités de méthanisation pour le secteur agricole et les autres secteurs en région Auvergne-Rhône-Alpes.



Enquête DREAL et Auvergne Rhône-Alpes Énergie Environnement (AURA EE) dans le cadre de la charte ambition biogaz.

Nombre de méthaniseurs agricole en cogénération et en injection mis en service en Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2009



Enquête DREAL et Auvergne Rhône-Alpes Énergie Environnement (AURA EE) dans le cadre de la charte ambition biogaz.



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation

Analyse

La méthanisation est un procédé de digestion anaérobie permettant de transformer la biomasse (matière organique) en énergie : le biogaz, et en fertilisant : le digestat. Le biogaz est constitué principalement de méthane (CH₄) et dans une moindre mesure de dioxyde de carbone (CO₂). Sa valorisation permet d'éviter l'utilisation d'énergie fossile et de réduire les émissions de méthane dans l'atmosphère lors du stockage de la biomasse à l'air libre. Par ailleurs la méthanisation permet de diminuer la consommation d'engrais de synthèse. Il existe deux voies de valorisation énergétique du biogaz :

- La cogénération : le biogaz est envoyé dans un moteur de cogénération ou une turbine et est transformé en chaleur et électricité. Cette électricité peut être injectée sur le réseau électrique. La puissance électrique générée par ce type d'unité est exprimée en kiloWatt électrique (kWé).
- L'épuration : le biogaz est épuré pour devenir du biométhane et atteindre un taux de méthane de 97% ou plus. Il est alors possible de l'injecter dans les réseaux de gaz naturel. Il peut être utilisé dans les process industriels, pour le chauffage des habitations ou servir de carburant aux véhicules roulant au gaz naturel (GNV). La puissance générée est exprimée en Normo-mètres-cube par heure (Nm³/h).

D'autres applications existent : combustion directe du biogaz dans une chaudière, valorisation mixte du biogaz en cogénération et en bioGNV directement sans injection dans les réseaux.

Le digestat, quant à lui, représente environ 90% du substrat entrant. C'est un fertilisant organique contenant l'ensemble des éléments entrants (azote, phosphore et potassium - N,P,K). Son épandage peut nécessiter des adaptations de pratiques dû à sa texture et les formes chimiques de N, P, K qu'il contient.

62% des méthaniseurs d'Auvergne-Rhône-Alpes proviennent du secteur agricole. Le nombre de méthaniseurs agricoles ne cesse d'augmenter et est passé de 20 en 2015 à 86 en 2022. Un inventaire quantifié des ressources en biomasse utilisables, à horizon 2035, a été réalisé et rapporté dans le schéma national biomasse (SNB) qui a été décliné par région (SRB). Ce schéma a vocation à promouvoir et favoriser le développement de nouveaux méthaniseurs notamment en injection. L'injection est plus intéressante en termes de rendement énergétique que la cogénération ce qui explique que la majorité des nouveaux projets sont en injection.

En Auvergne-Rhône-Alpes les différentes sources de biomasse sont :

- Les effluents d'élevage, représentent 65% des intrants.
- Les ensilages de végétaux, sont principalement constitués de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVes) et représentent 14% des intrants incorporés en méthanisation agricole
- Les cultures dédiées, représentent 1% des apports d'intrants. Leur apport est réglementé, il ne doit pas dépasser 15% des apports totaux des intrants d'une installation (SRB).
- Les biodéchets et déchets d'industrie agro-alimentaire (IAA) représentent 20% des apports d'intrants.



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation

En 2019, les principaux acteurs de la filière ont signé la charte Ambitions biogaz 2023 qui a pour but d'accompagner et accélérer le développement de la méthanisation sur le territoire régional et de contribuer à l'atteinte des objectifs du Schéma Régional Biomasse (SRB). Ses objectifs sont les suivants :

- améliorer les connaissances sur les gisements de biomasse renouvelable
- mobiliser plus et mieux la biomasse pour la production d'énergie
- avoir 180 unités de méthanisation en service d'ici 2023
- produire 1 075 GWh injectés dans le réseau de gaz et 480 GWh valorisés par cogénération d'ici 2023.

A RETENIR

62% des méthaniseurs d'Auvergne-Rhône-Alpes proviennent du secteur agricole. Le nombre de méthaniseurs en fin 2022 s'élevait à 140 unités (tous types).

C'est depuis 2015 que le monde agricole voit son nombre de méthaniseurs augmenter grâce aux aides financières.

Depuis 2021 ce sont les méthaniseurs en injection qui sont le plus installés car ils présentent un rendement de production d'énergie supérieur aux méthaniseurs en cogénération. Cependant, la méthanisation en cogénération reste intéressante si la chaleur produite peut être valorisée efficacement et que le raccordement au réseau de gaz est impossible.



Pour en savoir plus

Présentation synthétique de la méthanisation, réalisée par Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement (AURA-EE), en partenariat avec la Chambre d'agriculture d'Auvergne-Rhône-Alpes : https://www.biogazaura.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/enr/Documents/Biogaz/RESSOURCES/Presentation_methanisation.pdf

Panorama méthanisation AURA : <https://lookerstudio.google.com/reporting/55f32fab-f58a-4f17-8d8c-9c498e85eaef/page/EHdpB>

DREAL, mars 2023, Auvergne-Rhône-Alpes, Synthèse régionale du fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne-Rhône-Alpes- année 2021. https://www.biogaz-aura.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/enr/Documents/Biogaz/Observatoire/2021-BilanMethanisationARA-Vdif1.pdf

AURA-EE, La méthanisation : l'énergie par le territoire pour le territoire https://www.biogaz-aura.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/enr/Documents/Biogaz/RESSOURCES/Presentation_methanisation.pdf

Chambre d'agriculture de l'ISERE, 2022 Guide cultures intermédiaires à vocation énergétique : https://extranet-isere.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Auvergne-Rhone-Alpes/38_Guide_PEPIT_AURA-CIVE_2020-2022V2_compressed.pdf



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation

Nature et source des données

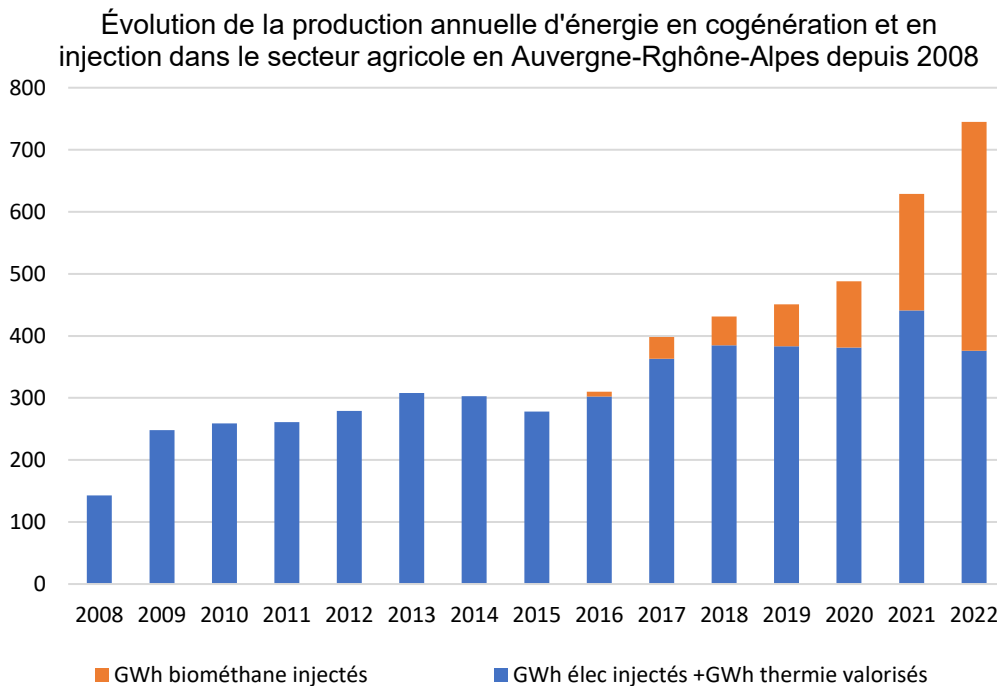
Données : Suivi annuel DREAL / Région Auvergne-Rhône-Alpes / Direction régionale ADEME opéré par la DREAL et Auvergne-Rhône-Alpes Énergie Environnement (AURA-EE).

Indicateur

Évolution de la production annuelle d'énergie en cogénération (GWh électrique et thermique max) et en injection biométhane (GWh biométhane max) dans le secteur agricole en région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2008.



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation



Enquête DREAL et Auvergne Rhône-Alpes Énergie Environnement (AURA EE) dans le cadre de la charte ambition biogaz.

Analyse

La méthanisation permet de produire : de l'électricité, de la chaleur et du biogaz injecté au réseau de gaz. Elle est considérée comme une énergie renouvelable. Dans les scénarios Transitions 2050 de l'ADEME, la méthanisation pourrait injecter jusqu'à 110 TWh /an dans les réseaux et assurer ainsi 70 % du niveau de consommation de gaz, sous condition d'une réduction de la consommation globale de gaz. Dans ce cadre, les gisements agricoles seraient à l'origine de 90 % du biogaz produit (ADEME).

Depuis 2016, l'injection de biométhane est passée de 8 GWh en 2016 à 369 GWh en 2022. L'électricité et la chaleur produite sont également en augmentation depuis 2010.

Les objectifs de la charte régionale Ambition biogaz pour la fin 2023 sont : 1) 1 550 GWh d'énergie, valorisés à partir du biogaz (420 GWh au 1er janvier 2019), dont 70% sous forme de biométhane injecté dans les réseaux de gaz et 2) 180 unités de méthanisation en fonctionnement (soit le double d'unités par rapport au 1er janvier 2019).

Une enquête de l'INRAE a démontré que la méthanisation sur les effluents d'élevage permet de mieux gérer les stocks d'effluents, d'économiser en engrais azotés et de produire du gaz de substitution à l'énergie fossile (INRAE transfert, 2021).



Production d'énergies renouvelables : Méthanisation

A RETENIR

La production de biométhane ne cesse d'augmenter depuis 2016.

L'énergie produite en cogénération reste stable au fil des années alors que le nombre de méthaniseur en injection se développe plus fortement.



Pour en savoir plus

INRAE transfert, 2021, Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles.

https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Rapport%20ACV_Biomethane%20issu%20de%20ressources%20agricoles_INRAE%20Transfert_GRDF....pdf

ADEME, 2023, Énergies renouvelables : la méthanisation réussir la transition énergétique de mon territoire.

<https://librairie.ademe.fr/cadic/8006/Methanisation-20230711-012221-9.pdf>



Ressources complémentaires

[Parcours Climat](#) (2021, Youtube)

[Varenne Agricole](#) (2021, Opéra Connaissance).....

[Projet Moin2Risq](#) (2021, Opéra Connaissance).....

[Projet AP3C](#).....

[Projet ClimEnvi](#) en Centre-Val-de-Loire.....

[Projet Laccave](#).....

[Plan Régional Ozone](#) (DREAL).....

[Climat HD](#).....

.....



Lexique simplifié

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

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

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

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

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

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

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

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



QU'est-ce qu'ORACLE Auvergne-Rhône-Alpes ?

ORACLE_{Auvergne-Rhône-Alpes} (**O**bservatoire **R**égional sur l'**A**griculture et le **C**hangement **c**limatique**E**) établit un constat objectif du changement climatique en région auvergne-Rhône-Alpes et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale. Il s'appuie principalement sur des observations qui sont mises à jour régulièrement.

ORACLE_{Auvergne-Rhône-Alpes} est organisé en 5 thèmes, signalés en tête de chaque fiche.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

2 AGRO CLIMAT

3 IMPACTS AGRICOLES

4 ADAPTATION

5 ATTENUATION

ORACLE_{Auvergne-Rhône-Alpes} 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.

Contact :

Thomas PACAUD et Clémence SIGAUD - Chambre Régionale d'agriculture Auvergne-Rhône-Alpes

thomas.pacaud@aura.chambagri.fr – clemence.sigaud@aura.chambagri.fr
