

Comprendre les impacts climatiques grâce aux indicateurs agro et éco-climatiques

A propos

Les indicateurs climatiques et agro-climatiques servent à analyser et comparer les évolutions du climat et leurs impacts potentiels sur les systèmes agricoles, selon différents territoires et horizons temporels. Ils permettent de situer les conditions futures par rapport à une référence climatique passée et connue. Les indicateurs climatiques décrivent l'évolution des variables météorologiques (température, précipitations, etc.), tandis que les indicateurs agro-climatiques traduisent ces changements en effets sur les cultures. Ces derniers synthétisent les interactions entre le climat et le fonctionnement des plantes, en se focalisant sur les stades phénologiques clés et les périodes les plus sensibles aux stress climatiques.

Les indicateurs sont construits à partir de projections climatiques issues des travaux du GIEC confrontant le climat futur aux différentes problématiques agronomiques décrit par la littérature scientifique ou les experts des cultures. Le décalage des cycles des cultures induit par le changement climatique est pris en compte dans la mesure du possible (via une méthode « éco-climatique »). Les effets du climat sont caractérisés à partir de l'occurrence du stress (fréquence et durée) ainsi que des situations de surplus/déficit en ressources en eau.



Attention : ces indicateurs agro-climatiques prennent uniquement en compte les effets directs de l'évolution du climat. Ils n'intègrent pas les stress indirects (bioagresseurs, azote...), ne permettent pas d'évaluer les mécanismes de compensation entre effets positifs et négatifs, et ne constitue pas un outil d'estimation quantitative des impacts du climat sur les performances des cultures (rendement, qualité...)

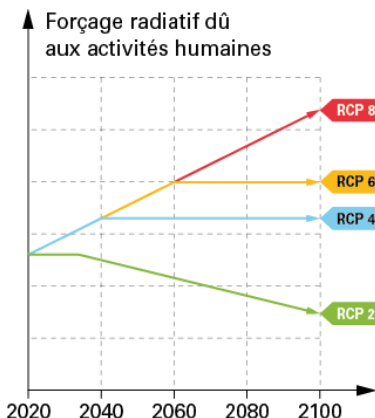
Sur quoi reposent les projections climatiques utilisées ?

Les données climatiques projetées

dépendent de

Des scénarios d'émissions

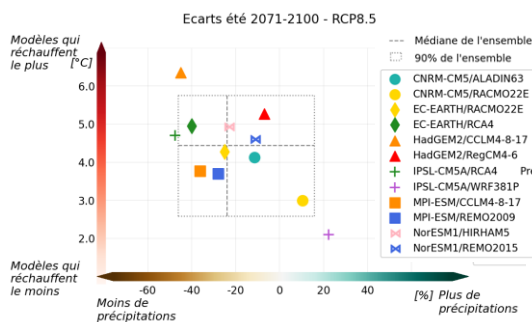
Il est possible de simuler différents scénarios selon la quantité d'émissions de CO₂ émise dans le futur par les activités humaines. Les scénarios faisant références sont ceux définis par le GIEC (RCP). Nous avons fait le choix de faire ses projections avec le scénario dit pessimiste (RCP 8.5).



Des modèles climatiques

Une quinzaine de modèles régionalisés existent avec des hypothèses de calculs différentes mais qui utilisent les mêmes hypothèses RCP. Le modèle choisi est un modèle dit médian* nommé CRNM-CM5/Aladin63.

*Un modèle médian est un modèle dont la prévision de réchauffement se situe au centre des prévisions des autres modèles disponibles.
Plus d'info sur drias-climat.fr

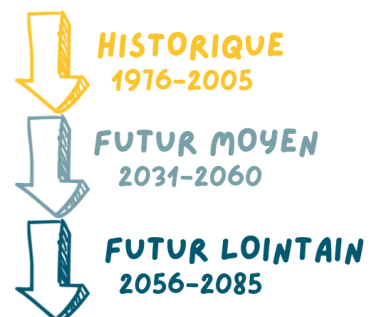


Des horizons de temps

Les analyses sont réalisées sur des périodes de minimum 30 ans pour obtenir des chiffres robustes statistiquement.

On définit une période passée qui sera la référence de comparaison avec le futur. On définit ensuite deux horizons de temps futur.

Le futur moyen sert à faciliter les acteurs économiques à se projeter et le futur lointain permet d'observer plus clairement les tendances d'évolution du climat.



Pourquoi nos résultats sont principalement présentés dans le futur lointain (plutôt que le futur moyen) ?



Présenter des résultats à un horizon lointain permet de mieux tenir compte de ces délais et d'orienter les décisions vers des trajectoires d'adaptation progressives, plutôt que vers des réponses d'urgence souvent plus coûteuses. Agir trop tard peut en effet entraîner des surcoûts importants et des dommages irréversibles. Enfin, en raison de l'inertie du climat, les tendances sont plus lisibles sur le long terme, ce qui offre un cadre plus robuste pour identifier les évolutions structurelles et éclairer les choix stratégiques du secteur agricole.

L'adaptation au changement climatique repose sur l'anticipation, car de nombreuses stratégies agricoles produisent leurs effets à long terme ou nécessitent des périodes de transition de plusieurs années, voire décennies, comme l'agroforesterie ou la réorganisation des filières.

L'agriculture étant très sensible au climat, ses évolutions peuvent fortement affecter les systèmes de production. **Choisir un scénario d'émissions élevées relève d'une approche prudente : cela permet d'anticiper les impacts les plus sévères et de tester la résilience des filières agricoles.** Se préparer à un scénario pessimiste sécurise les décisions à long terme en évitant de sous-estimer les risques. De plus, les tendances climatiques récentes semblent déjà s'aligner sur des trajectoires d'émissions élevées, rendant ce choix à la fois cohérent et réaliste.

Pourquoi nos résultats sont présentés pour le scénario d'émissions pessimistes ?



Pourquoi parle-t-on de méthodes éco-climatiques pour calculer certains indicateurs ?



Les indicateurs mobilisés reposent sur différentes approches méthodologiques, selon le niveau de précision recherché et les informations disponibles pour décrire les effets du climat. On distingue ainsi trois grands types d'indicateurs.

3 TYPES D'INDICATEURS

CLIMATIQUES

Décrivent les conditions climatiques à l'échelle d'une année, d'une saison ou d'une période calendaire donnée, indépendamment du fonctionnement des cultures.

AGRO-CLIMATIQUES

Traduisent les effets du climat sur les cultures, généralement sur une période calendaire définie, en lien avec leurs besoins et leurs sensibilités aux stress climatiques.

ECO-CLIMATIQUES

Décrivent les effets du climat en lien direct avec les stades de développement des plantes. Cette approche tient compte de l'influence du climat sur l'évolution du cycle des cultures.

Niveau de précision de l'effet du climat sur les cultures

Les méthodes éco-climatiques offrent ainsi une lecture plus précise et plus dynamique des impacts du climat sur les cultures, en intégrant à la fois les conditions climatiques et la réponse biologique des plantes.

Description des méthodes utilisées dans nos calculs

Le calcul des indicateurs agro et éco-climatiques nécessite de définir, pour chaque culture étudiée, les périodes du cycle cultural ou les stades de développement sur lesquels les effets du climat sont analysés. Selon les cultures et les données disponibles, deux méthodes de calcul sont mobilisées : une méthode agro-climatique et une méthode éco-climatique.

Méthode Agroclimatique

Méthode Ecoclimatique

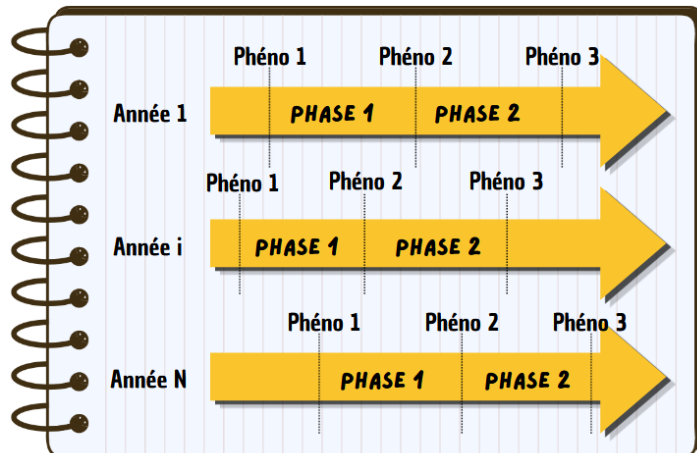
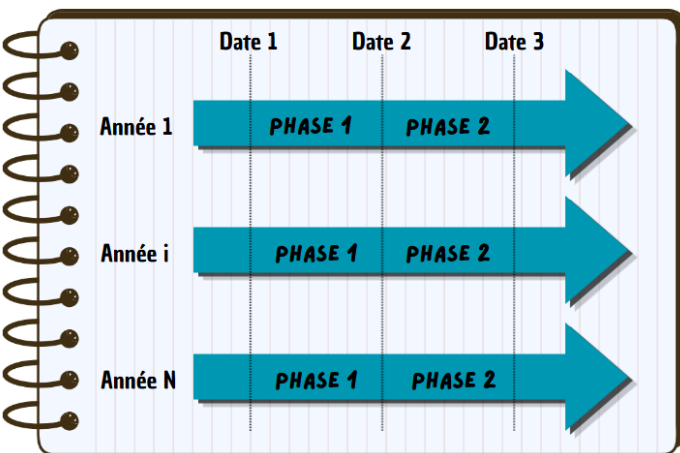


Schéma SICLIMA © AgroClim

Principe

Définition, par expertise agronomique, d'une période calendaire englobant les stades de développement les plus sensibles de la culture aux stress climatique

Avantages

Méthode applicable à des cultures pour lesquelles l'évolution du cycle ne peut pas être décrite de manière fiable à l'aide d'un modèle thermique (somme de température)

Limites

Ne prend pas en compte l'évolution du climat sur le décalage des stades phénologiques et suppose que les périodes sensibles restent fixes d'une année à une autre.

Cultures concernées

Blé, Colza, Pomme de terre

Principe

Définition, par expertise, d'une date de semis, puis modélisation du développement de la culture à partir d'un cumul de degrés-jours*. Les stades phénologiques sont ainsi déterminés de manière dynamique en fonction des conditions climatiques.

Avantages

Prend en compte les évolutions du climat sur le déroulement du cycle de la plante, la durée des stades et leur décalage dans le temps.

Limites

Méthode non applicable sur certaines cultures, notamment les cultures d'hiver, dont le développement dépend fortement d'autres facteurs que la température (photopériode, vernalisation, etc.).

Cultures concernées

Toutes les cultures à l'exception de celles citées dans la méthode agro-climatique

*Méthode de calcul du cumul des degrés jours :

Pour 1 journée : $Degré\ jour = \left(\frac{T_{min} + T_{max}}{2}\right) - T_{bmin}$

Si Degré jour < T_{bmin} alors Degré jour = 0

Si Degré jour > T_{bmax} alors Degré jour = T_{bmax}

Pour le cycle : $cumul\ degrés\ jour = \sum (degré\ jour)$

La somme à réaliser pour n jours est la somme entre la date de semis et le n -ième jour après le semis

Avec :

T_{min} : température minimale journalière

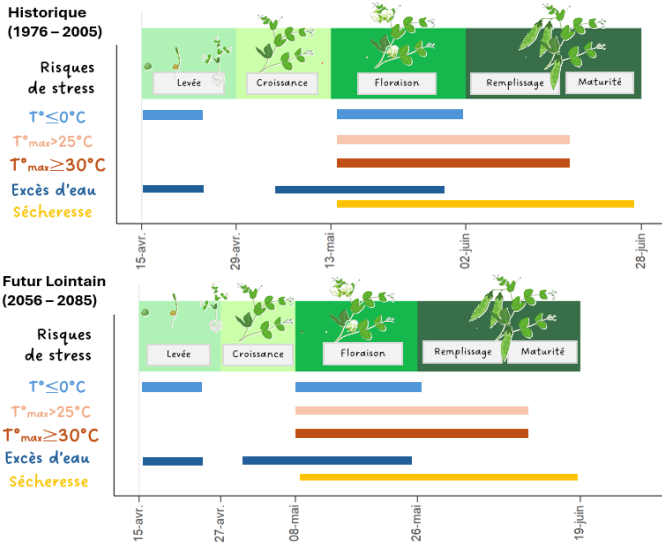
T_{max} : température maximale journalière

T_{bmin} : température minimale de croissance de la culture

T_{bmax} : température maximale de croissance de la culture



Les types d'indicateurs utilisés



Les indicateurs de durée des cycles et de positionnement des stades

Ces indicateurs illustrent l'impact du réchauffement climatique à la fois sur la durée du cycle cultural et sur le décalage des stades phénologiques.

Le graphique présente, pour chaque stade, les dates moyennes de début et de fin calculées sur une période de 30 ans. Cette représentation permet de comparer l'évolution du calendrier cultural entre différentes périodes (passée et future).

Sous les stades figurent les principaux stress climatiques, ainsi que les périodes durant lesquelles la culture y est la plus sensible.

Les indicateurs d'occurrence d'un stress

Exemple : stress gélifs et thermiques

$T^{\circ}_{max} \geq 30^{\circ}C$

Ces indicateurs permettent d'évaluer, sur une période climatique donnée, la fréquence à laquelle une variable climatique dépasse un certain seuil.

On peut notamment :

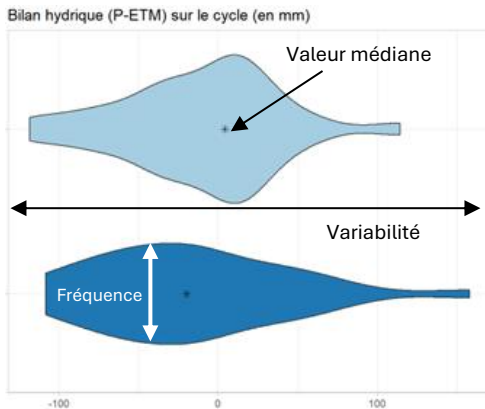
- compter le nombre d'années où ce seuil est franchi (fréquence)
- calculer, parmi les années présentant au moins un dépassement du seuil, le nombre médian de jours par an concernés (durée).

Ces mesures permettent ensuite de comparer la fréquence et la durée des événements entre la période historique et les projections futures.

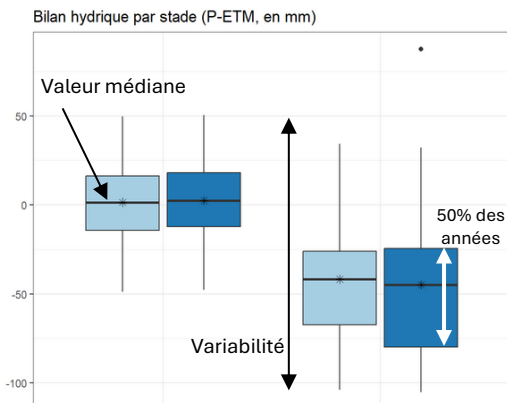
	Chaleur au remplissage	Semis 05/03	Semis 15/04
Fréquence (nb années sur 30 ans)	Historique	0/30 ans	3/30 ans
	Futur lointain	5/30 ans	6/30 ans
Durée (durée du stress en jours)	Historique	0 jour	2 jours
	Futur lointain	1,4 jours	2,2 jours

Exemple : La variable climatique est la température maximale journalière durant le remplissage du pois et le seuil est fixé à 30°C

Graphique en violon



Boîtes à moustaches



Les indicateurs de cumul

Exemple : bilan hydrique, rayonnement solaire

Ces indicateurs correspondent à une quantité cumulée sur une période donnée (exprimée, par exemple, en millimètres d'eau pour le bilan hydrique).

Les bilans hydriques (P-ETM) sont représentés sous forme de graphiques en « violon » et parfois de « boîtes à moustaches ».

Ces deux types de graphiques permettent de visualiser :

- la valeur médiane (50 % des années présentent un cumul inférieur à cette valeur et 50 % un cumul supérieur);
- la variabilité interannuelle (degré d'homogénéité ou de dispersion entre les années);
- les valeurs les plus fréquentes, représentées par l'épaisseur du diagramme violon (spécifique à ce type de graphique)

Zoom sur le bilan hydrique (P-ETM)

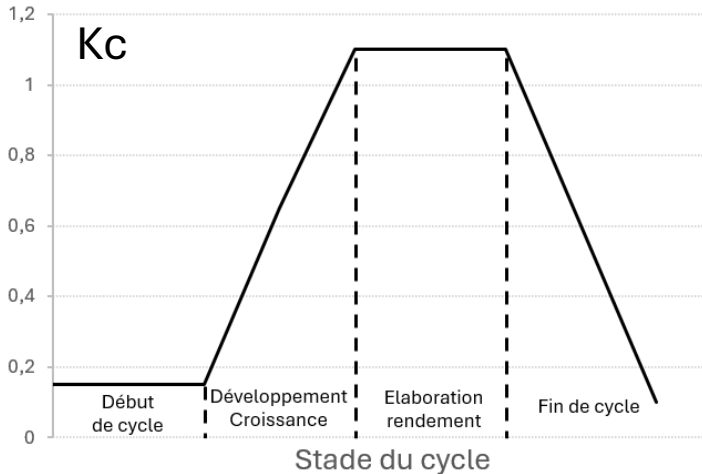
Il est courant de calculer un **bilan hydrique** en soustrayant l'**évapotranspiration potentielle (ETP)** aux précipitations. L'ETP représente la demande en eau théorique d'une surface de référence, correspondant à la combinaison de la transpiration d'un couvert végétal de référence (une pelouse rase et homogène et bien alimentée en eau) et de l'évaporation du sol, dans des conditions non limitantes en eau.

Cependant, l'ETP ne reflète pas nécessairement les besoins spécifiques d'une culture donnée. Afin d'obtenir une estimation plus représentative, nous utilisons l'**évapotranspiration maximale (ETM)**, qui correspond à la demande en eau maximale d'une culture considérée, lorsqu'elle ne subit aucune contrainte hydrique.

L'ETM est calculée à partir de l'ETP en appliquant un coefficient cultural (K_c), selon la relation :

$$ETM = ETP \times K_c$$

Schéma de l'évolution du K_c au cours d'un cycle cultural classique



*schéma adapté d'après la FAO

**les valeurs ont valeurs d'exemple et varient selon la culture

La valeur du coefficient K_c dépend :

- de la culture considérée (les cultures ayant des besoins en eau élevés présentent une ETM plus importante)
- du stade développement de cette culture : les besoins en eau sont généralement plus faibles en début de cycle et augmentent lors des phases de croissance active et d'élaboration du rendement (voir figure ci-dessous).

Le bilan hydrique calculé à partir de l'ETM ($P - ETM$) permet ainsi de mieux représenter les besoins optimaux en eau de la culture et d'approcher plus fidèlement les conditions de satisfaction hydrique de la plante.

Quelques mots de vocabulaires

Bilan hydrique : Calcul de la quantité d'eau entrant et sortant d'un système

ETP : évapotranspiration potentielle qui représente la demande en eau théorique combinant la transpiration d'un couvert végétal de référence et de l'évaporation du sol dans des conditions non limitantes en eau.

ETM : évapotranspiration maximale qui représente la demande en eau maximale d'une culture donnée bien alimentée en eau.

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat.

K_c : coefficient cultural d'une culture. Il permet de corriger l'ETP suivant une culture donnée et son stade de développement.

Médiane : la médiane est une valeur qui sépare la moitié inférieure et la moitié supérieure d'un ensemble de valeurs.

RCP : scénarios d'émission de gaz à effet de serre (Anglais : *Representative Concentration Pathway*)

Stade phénologique : Phase de développement spécifique d'une plante, caractérisée par des événements tels que la levée, la montaison, la floraison...

Somme degrés Jour : Mesure d'une accumulation de chaleur qui sert à estimer la durée et les stades de développement d'une culture.

Météorologie : l'étude des phénomènes atmosphériques pour prévoir le temps. Echelle de temps : Semaine
« C'est le temps qu'il fait à un moment et un endroit donné, susceptible de changer d'une heure ou d'un jour à l'autre »

Climatologie : l'étude des statistiques de variables atmosphériques sur une longue période de temps (30 ans par convention). Echelle de temps : Décennie, voir siècle
« C'est le climat auquel on peut s'attendre en tendance globale et à long terme, pour une région donnée »

Les fiches cultures produites dans le cadre du projet **Rés'eau** relèvent d'un travail de **climatologie** et non de **météorologie** !