



Face au Changement Climatique : Construire l'Agriculture de Solutions

Positiver le lien entre agriculture et climat.

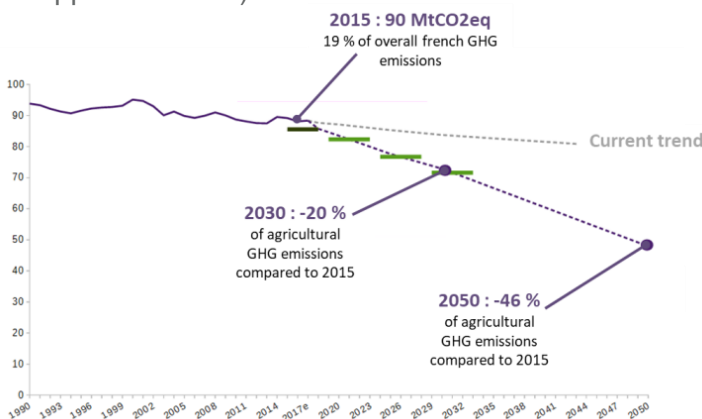
Il est avéré que l'accélération de l'augmentation des températures est due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par les activités humaines (agriculture, bâtiments, déchets, production d'énergie, industrie, transports). L'agriculture a réellement une posture singulière car elle est à la fois victime, coupable et contributrice de solutions. En effet, le « secteur des terres » peut jouer un rôle majeur et pourrait contribuer de 20 à 60% au potentiel d'atténuation des émissions de GES d'ici 2030 grâce au rôle de l'agriculture et de la forêt en tant que pompe à carbone, permettant de **stocker le carbone** et de **compenser les émissions des autres secteurs**, par la production de matériaux et d'énergies renouvelables et par une évolution des modes de production (source 5^{ème} rapport du GIEC).

Pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique, l'agriculture doit s'engager dans une réflexion globale et systémique pour, à terme, réduire les émissions de gaz à effet de serre. Des solutions existent, notamment, le recours préférentiel à l'azote organique et au développement des légumineuses, au développement de l'agroforesterie. Les arbres et les haies assureront la protection et l'enrichissement en carbone des sols, la réduction du risque de stress hydrique, des abris naturels aux animaux d'élevage.

Le rôle de l'agriculture et de la forêt dans la lutte contre le changement climatique est reconnu depuis **la COP21 organisée en 2015**. Elle est inscrite dans les accords de Paris, et a donné une réelle légitimité à l'initiative « 4 pour 1000 » au travers de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC).

La SNBC s'appuie sur un scénario prospectif d'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050, sans faire de paris technologiques. Celui-ci permet de définir un chemin crédible de la transition vers cet objectif, d'identifier les verrous technologiques et d'anticiper les besoins en innovation.

Évolution des émissions et des puits de GES sur le territoire français pour le secteur agricole entre 1990 et 2050 (en MtCO₂eq). Inventaire CITEPA 2018 et scénario SNBC révisée (neutralité carbone)



Les effets du changement climatique se font ressentir depuis plusieurs années. L'agriculture y est particulièrement sensible. Pour rester compétitives les exploitations doivent relever le défi de l'adaptation et de l'atténuation.

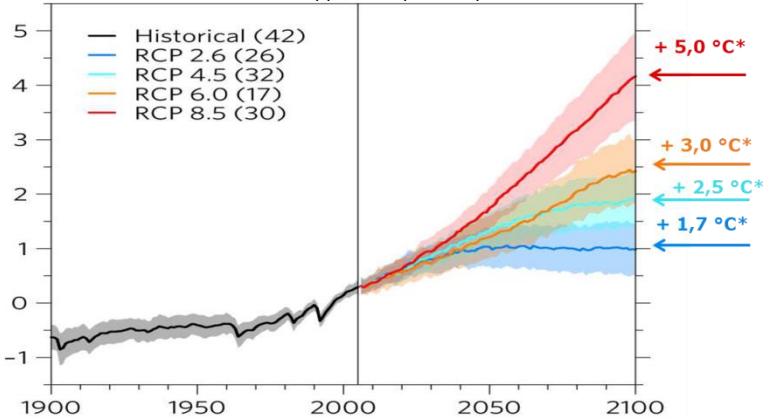
Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) envisage quatre futurs possibles selon des évolutions de contexte socio-économique, des efforts de réduction des GES dans le temps par secteur et par pays et du rôle des différents leviers de changement : politique, technologie, comportemental. Chaque scénario correspond à une concentration atmosphérique en gaz à effet de serre à l'horizon 2100. L'impact de cet effet de serre sur le climat est calculé à l'aide du forçage radiatif (c'est-à-dire la modification du bilan radiatif de la planète). Le bilan radiatif représente la différence entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge réémis par la planète.

Plus cette valeur est élevée, plus le système terre-atmosphère gagne en énergie et se réchauffe.

Evolution de la température moyenne mondiale de 1900 à 2100

(écart à la moyenne 1971-2000). Source : GIEC, 2013.

* Par rapport à la période pré-industrielle



Les scénarios sont ainsi dénommés en fonction des différents forçages:

- RCP 8.5 «pas de changements» - Les émissions continuent d'augmenter à la vitesse actuelle.
- RCP 6.0 «quelques atténuations» - Les émissions augmentent jusqu'en 2080 puis diminuent.
- RCP 4.5 «fortes atténuations» - Les émissions se stabilisent à la moitié du niveau actuel en 2080.
- RCP 2.6« très fortes atténuations » - Les émissions sont divisées par 2 en 2050.



- L'adaptation : « je me sauve moi-même et j'évite l'ingérable »
 - L'atténuation : « je sauve mes enfants et je gère l'inévitable »



Projections Climatiques – Qu'est-ce que c'est ?

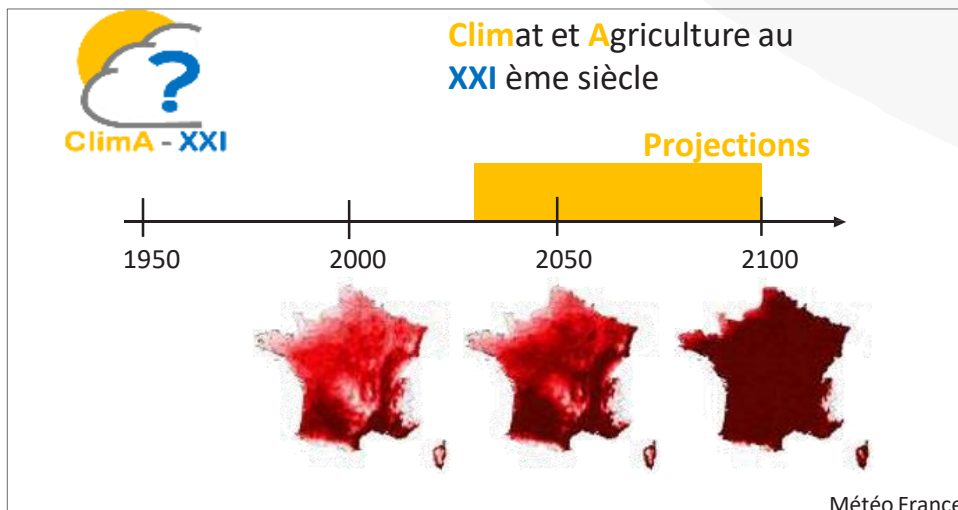
L'outil ClimA XXI vise à produire des éléments chiffrés et d'analyse afin de prendre la mesure du sujet et permettre à l'agriculture de percevoir l'influence du réchauffement climatique sur ses pratiques. Il permet de partager la vision des constats, l'impact des menaces et les solutions possibles.

Les projections climatiques sont réalisées par les climatologues, et utilisées notamment dans les travaux du GIEC. Elles permettent de décrire les évolutions climatiques à venir, pour différentes hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre.

Plusieurs localisations sont analysées, ainsi que plusieurs filières sur un même département. L'étude simule l'évolution d'indicateurs climatiques (descripteurs climatiques comme le cumul des précipitations journalières) ou d'indicateurs agro-climatiques (descripteurs en lien avec l'agriculture comme la date de mise à l'herbe).

Les indicateurs sont calculés à partir de projections climatiques fournies par le portail « DRIAS – les futurs du climat » développé par Météo-France. Un seul modèle climatologique et un seul scénario d'émissions de gaz à effet de serre sont utilisés pour ces études,

- Les comparaisons portent sur 3 périodes de **30 ans, représentant des horizons de temps différents** :
- - Les années **1990** (1976-2005) : **période de référence**
- - Les années **2030** (2021-2050) : **futur proche**
- - Les années **2080** (2071-2100) : **futur lointain**



Il s'agit de données modélisées (passées comme futures). **Ce ne sont pas des prévisions, mais des projections !**

ClimA XXI est un outil éprouvé depuis plusieurs années sur le territoire français.



Territoire Etudié : Plaine du Doubs

Commune de Baume les Dames



Baume-les-Dames (300 m) est situé en zone de plaine entre la vallée de l'Ognon et la vallée du Doubs.

Les terres agricoles s'échelonnent entre 200 et 450 m d'altitude. La surface agricole utile de cette zone est de 60 000 ha. Les exploitations sont majoritairement en polyculture élevage produisant du lait standard au Nord et du lait AOP Comté et Morbier au Sud. Les prairies permanentes représentent environ 52 % de la SAU et les prairies temporaires 9 %. Le climat et les sols souvent profonds sont favorables à la culture des céréales et au maïs qui représentent respectivement 17 et 11 % de la SAU. On trouve également dans ce territoire, de façon plus occasionnelle, des parcelles en colza (3 %) et en soja (2 %).



Quelques soient les projections, les sources et données sont identiques

- Source : DRIAS/CNRM 2020

- Nature : PROJECTIONS CLIMATIQUES - MODELE ALADIN - SCENARIO RCP8.5

- Horizons temporels analysés : référence 1976-2005, Futur proche 2021-2050, Futur lointain 2071-2100



Indicateurs Climatiques et Agroclimatiques

Liste des indicateurs étudiés :

Généraux

- Températures moyennes annuelles (°C)
- Températures moyennes mensuelles (°C)
- Nombre de jours de gel/an
- Cumuls mensuels des précipitations (mm)
- Pluies efficaces du 01/01 au 31/12 (mm)

Prairies

- Nombre de jours chauds où la température maximale est supérieure ou égale à 27°C du 01/05 au 31/10
- Nombre de jours par an où la température maximale est supérieure ou égale à 35°C du 01/05 au 30/09
- Date de franchissement des 200 °J base 0° - initialisé au 01/01 et écrêté à 18 °C
- Date de franchissement des 300 °J base 0° - initialisé au 01/02 et écrêté à 18°C
- Date de franchissement des 800 °J base 0° - initialisé au 01/02

Santé du bétail

- Nombre de jours de stress thermique des animaux (THI)

Blé

- Nombre de jours où la température minimale est inférieure ou égale à - 4°C par décade du 01/02 au 30/04
- Nombre de jours chauds où la température maximale est supérieure ou égale à 25°C du 01/04 au 30/06

Maïs

- Nombre de jours où la température minimale est inférieure ou égale à 0°C du 01/04 au 31/05
- Date de franchissement des 950 °J base 6 - initialisé au 15/04
- Date de franchissement des 1500 °J base 6 - initialisé au 15/04
- Date de franchissement des 1800 °J base 6 - initialisé au 15/04
- Pluies efficaces du 01/06 au 31/08
- Nombre de jours où la température est > à 35°C du 01/05 au 30/09

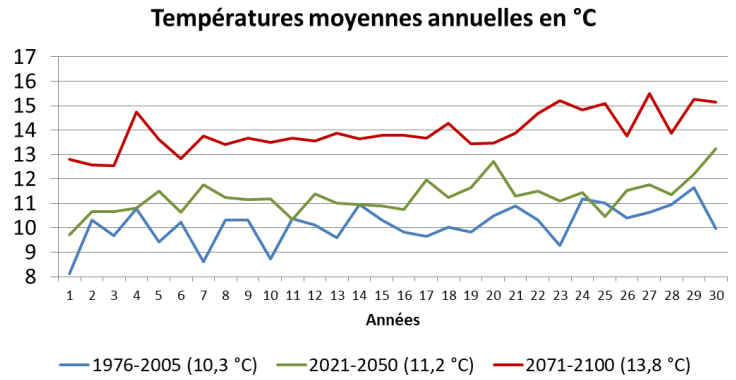




Températures moyennes annuelles (°C)

En valeurs médianes, nous constatons une augmentation moyenne d'environ 1 °C dans les années 2030 et de 3,5 °C dans les années 2080 par rapport à la période de référence (années 1980).

Une année considérée comme chaude, **11,6 °C**, durant les années 1980, est plus fraîche qu'une année considérée comme froide, **12,6 °C**, durant les années 2080.

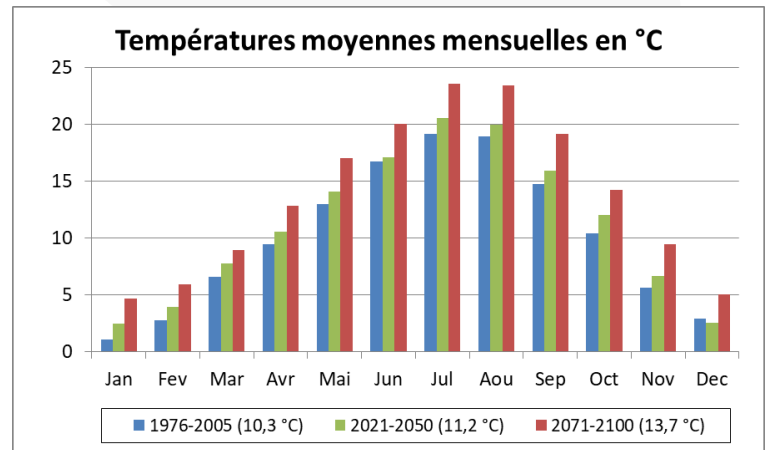


Températures moyennes mensuelles (°C)

Comme dans le reste de la région, à Baume-les-Dames, l'accroissement des températures moyennes mensuelles au cours du XXIème siècle s'observe toute l'année.

Au milieu du XXIème siècle, l'accroissement de température par rapport à la fin du XXème siècle est le plus marqué pour les mois d'octobre (+ 1,6°) et janvier et juillet (+ 1,4°C pour les valeurs médianes).

A la fin du XXIème siècle, l'accroissement de température par rapport à la fin du XXème siècle atteint généralement 3 à 4,5°C selon les mois, sauf pour les mois de mars et de décembre où la hausse des températures est plus limitée (+2,4 et +2,1°C respectivement).

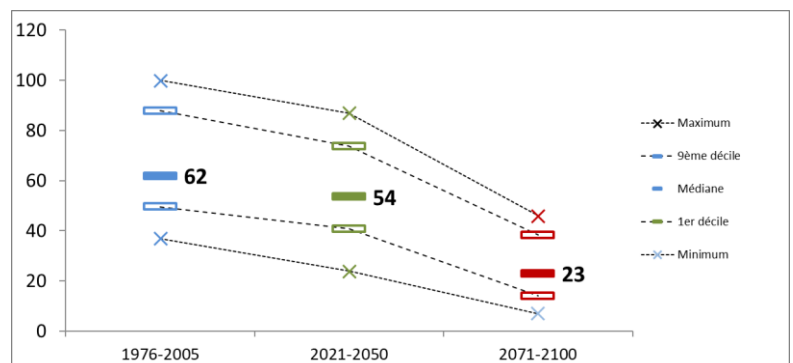


Période	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1976-2005 (10,3°C)	1,1	2,8	6,6	9,4	13,0	16,7	19,2	18,9	14,7	10,4	5,7	2,9
2021-2050 (11,2°C)	1,4	1,2	1,1	1,2	1,1	0,4	1,4	1,1	1,2	1,6	1,0	-0,3
2071-2100 (13,7°C)	3,6	3,2	2,4	3,4	4,1	3,3	4,4	4,5	4,4	3,9	3,8	2,1

Nombre de jours de gel/an

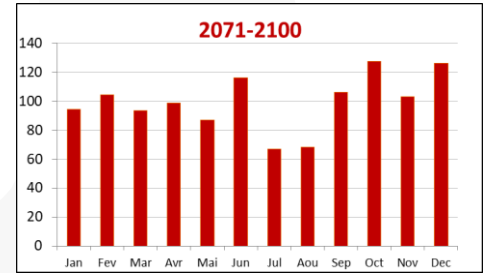
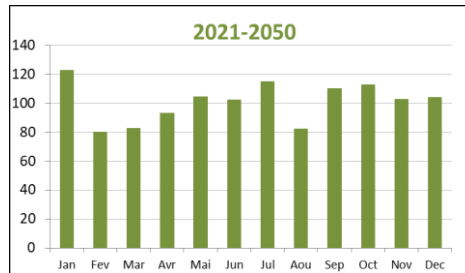
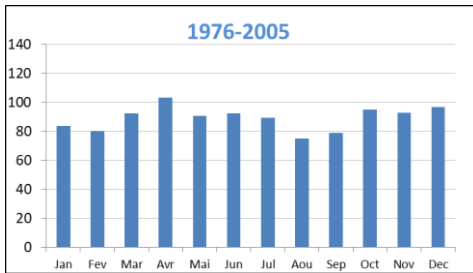
Nous constatons une nette diminution du nombre de jours de gel par an pour tous les critères statistiques étudiés. La variabilité interannuelle du nombre de jours de gel n'évolue pas dans les années 2030 mais se réduit fortement à la fin du XXIème siècle.

Dans les années 1980, nous dénombrons au moins **50 jours** de gel par an neuf années sur dix (1^{er} décile). Dans les années 2080, ce nombre de jours de gel ne se produira qu'une année sur 30 !





Cumul mensuel des pluies (mm) - médianes trentenaires



A Baume-les-Dames, la répartition mensuelle des pluies (médianes) évolue au milieu du XXIème siècle, et cette évolution se poursuit à la fin du XXIème siècle.

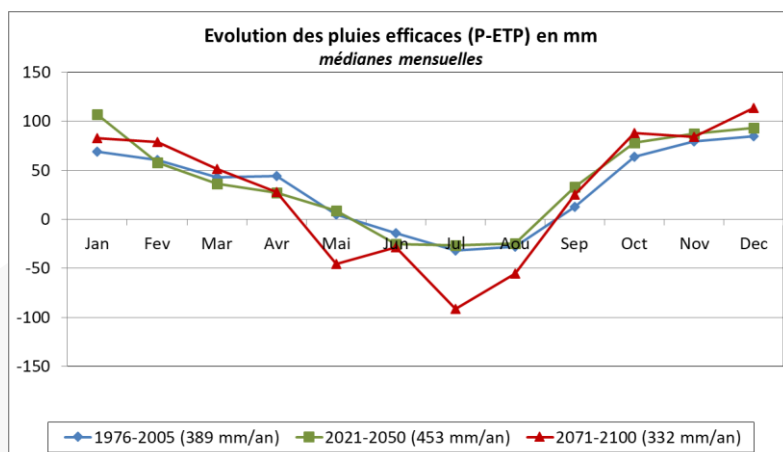
Au milieu du XXIème siècle (par rapport à la fin du XXème siècle), on constate :

- x Une augmentation de la pluviométrie médiane annuelle de 1136 à 1256 mm ;
- x la hausse des précipitations est marquée en septembre et en janvier (+ 30 à 40 mm) ainsi qu'en juillet et en mai (+15 à 25 mm).
- X Il y a une légère diminution des précipitations médianes en avril et décembre uniquement (- 9 mm par mois).

A la fin du XXIème siècle (par rapport à la fin du XXème siècle), on constate :

- x Une augmentation des précipitations médianes annuelles de 1136 mm en début XXème siècle à 1241 mm à la fin du XXIème siècle;
- x la hausse des précipitations est plus visible pour les mois de septembre, octobre et décembre (environ + 30 mm) ainsi qu'en février et en juin (environ + 25 mm).
- x On observe une diminution des précipitations au cours de mois de juillet et d'août (-30 mm par mois).

Pluies efficaces mensuelles du 01/01 au 31/12 (mm)



Définition: Après un épisode pluvieux, une partie de l'eau tombée au sol retourne dans l'atmosphère par évapotranspiration (phénomène cumulant l'évaporation de l'eau et la transpiration des plantes) : elle ne bénéficie donc pas aux nappes souterraines et aux milieux aquatiques de surface. L'autre partie ruisselle - potentiellement vers les milieux - et s'infiltre dans le sol - et recharge potentiellement les nappes : elle constitue la pluie efficace.

Comparé à la période de référence, les données observées pour la 1ère moitié du XXIème siècle y semblent assez proches. A l'inverse, nous observons une baisse significative des pluies efficaces à la fin du XXIème siècle. La période de mai à août sera fortement impactée par cette baisse, -152 mm sur cette période de 4 mois en médiane par rapport aux années 1980.

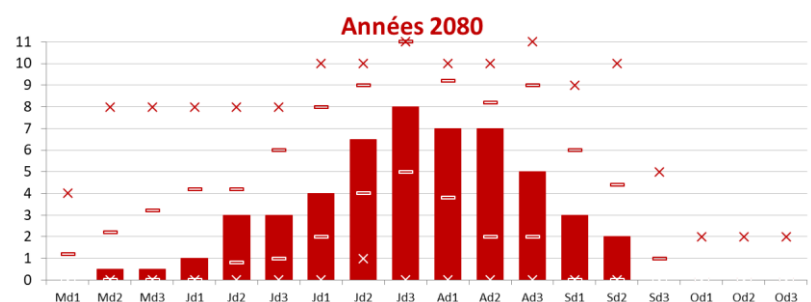
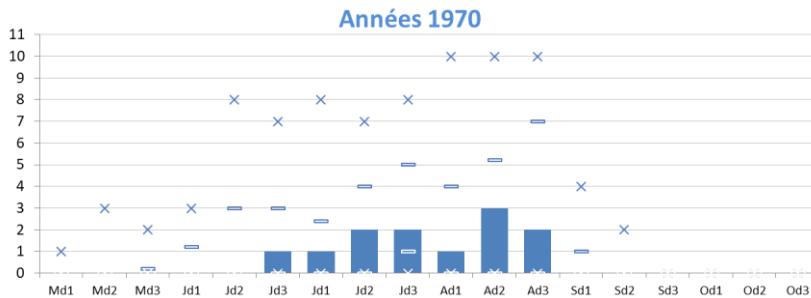
- Cette baisse sera la conséquence d'un assèchement des sols plus important, ce qui impactera négativement les prairies, ainsi que les cultures et les couverts estivaux, surtout en sols séchant et superficiels.



Quel avenir pour les prairies?

Ralentissement de la pousse de l'herbe et début du stress thermique :

Nombre de jours chauds par décade où la température maximale est supérieure ou égale à 27°C du 01/05 au 31/10 :



- A l'avenir, le nombre de jours où la température sera supérieure à 27°C va augmenter. Par conséquent, la pousse de l'herbe sera ralentie.

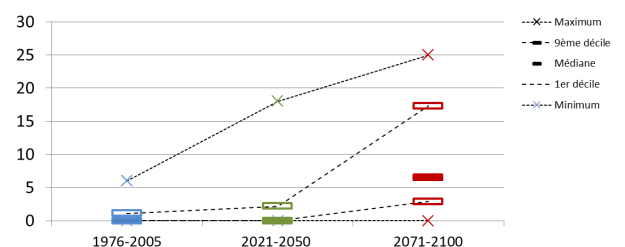
- Comparée à la période de référence, la première moitié du XXIème siècle sera synonyme d'un ralentissement plus fréquent de la pousse de l'herbe de fin juin à fin août. Par ailleurs, le nombre de jours à plus de 27°C va presque doubler en passant de 12 à 20 jours par an en moyenne.

- Par rapport à la période de référence, on observe d'ici la fin du XXIème siècle, une pousse de l'herbe ralentie sur un pas de temps plus long, et ce, de manière régulière. De fait, la période de ralentissement de la pousse de l'herbe sera avancée de 40 jours et même rallongée de 20 jours. De plus, le nombre de jours à plus de 27°C sera multiplié par 4 l'été, passant de 12 à 51 jours, avec des pics importants entre début juillet et mi-septembre. Les valeurs les plus élevées qui arrivaient seulement 1 année sur 10 dans le passé, deviendront la norme d'ici la fin du XXIème siècle.

Autres remarques:

Les jours atteignant une température supérieur ou égale à 35°C correspondent à l'arrêt de la pousse de l'herbe. Ce nombre ne va pas sensiblement bouger d'ici le milieu du XXIème siècle mais va considérablement s'accroître d'ici la fin du XXIème siècle avec 7j en plus que la période de référence (qui était de 0 jours). L'arrêt de la pousse de l'herbe apparaîtra principalement sur la période estivale.

Nombre de jours par an où Tmax >= 35°C du 01/05 au 30/09





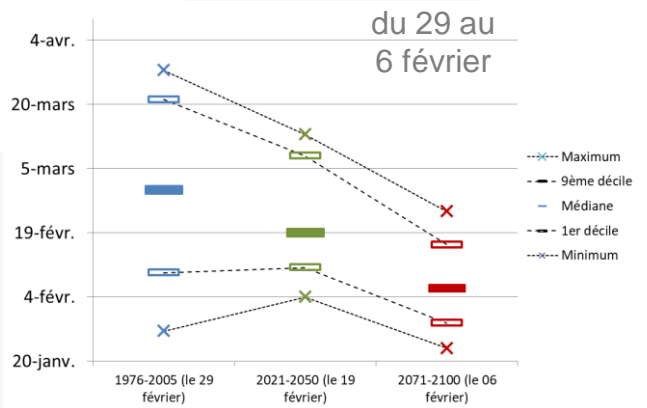
Quel avenir pour les prairies ?

Démarrage de la végétation (épandages en sortie d'hiver) : date de franchissement obtenue à 200 °J (base 0° - initialisé au 01/01 et écrêté à 18°C)

Nous constatons un avancement marqué de la date de franchissement des 200°C, qui correspond à la date de démarrage de la végétation en sortie hiver.

De fait, il y a environ 10 jours de différence entre la période de référence et le milieu du XXIème siècle. Cet avancement est d'autant plus important d'ici la fin du XXIème siècle avec 23 jours d'avance comparé aux années de référence.

Le franchissement précoce des 200°C jours pourrait aussi être synonyme d'un avancement des épandages d'engrais organiques et minéraux. En effet, cette date est le seuil de valorisation pour apporter l'engrais azoté. Cependant, l'avancement des épandages en sortie d'hiver ne sera pas toujours compatible avec les conditions de portance des sols en raison de l'augmentation de la pluviométrie attendue au cours et en sortie d'hiver.

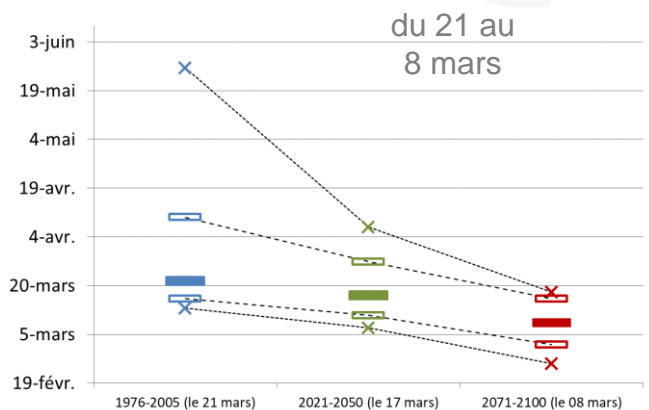


Avancement de la date de mise à l'herbe :

date de franchissement des 300°C (base 0° - initialisé au 01/02 et écrêté à 18°C)

Nous constatons un avancement marqué de la date de franchissement des 300°C, qui correspond à la date de mise à l'herbe. De fait, il y a environ 4 jours de différence entre la période de référence et le milieu du XXIème siècle. Cet avancement est d'autant plus important d'ici la fin du XXIème siècle avec 13 jours d'avance comparé aux années de référence.

Un avancement de la date de franchissement des 300°C jours devraient être synonyme d'un avancement de la date de la mise à l'herbe. Ceci permettrait de compenser le manque d'herbe prévu durant les étés futurs. Néanmoins, la mise en pratique de cette dernière risque de faire face au même problème cité ci-dessus : la portance des sols en sortie hiver.

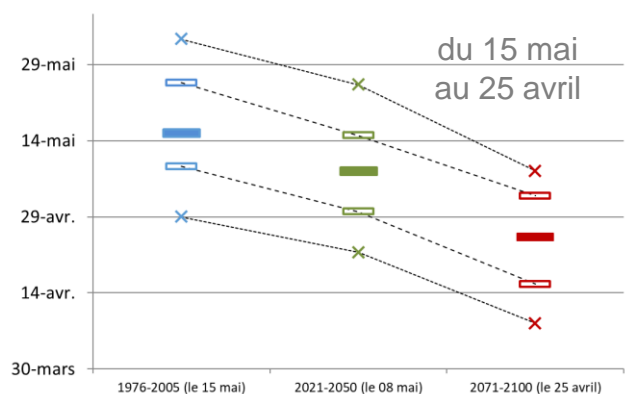


Avancement de la date de fauche des prairies :

date de franchissement des 800 °J (base 0° - initialisé au 01/02 et écrêté à 18°C)

Nous constatons un avancement marqué de la date de franchissement des 800°C, qui correspond à la date de fauche des prairies (foin précoce). De fait, il y a environ 8 jours de différence entre la période de référence et le milieu du XXIème siècle. Cet avancement est d'autant plus important d'ici la fin du XXIème siècle avec 20 jours d'avance comparé aux années de référence.

Le franchissement précoce des 800°C jours pourrait aussi être synonyme d'un avancement de la date de fauches des prairies. Ceci pourrait permettre de compenser le manque de fourrage à prévoir durant les étés. Il faudra aussi sûrement compléter cette pratique avec des fauches de regain qui arriveront plus tardivement dans l'année vers le mois d'octobre au retour des conditions climatiques plus propices à la pousse de l'herbe, sous réserve d'humidité à cette période de l'année. Se pose alors la question de la valorisation de cette herbe (conditions de pâturage, outils de séchage,...).



Quel avenir pour le bétail?

Stress thermique des animaux :

Evolution projetée des classes de THI (Temperature Humidity Index) en nombre de jours par an (médiane) – THI calculé à partir de la température et de l'humidité:

La thermorégulation des bovins est nécessaire dès 15 °C (source INRA 2018) et le stress thermique démarre à 22°C quand il y a 50 % d'humidité. En stress thermique, les vaches boivent plus, mangent moins, ruminent moins... et produisent moins !

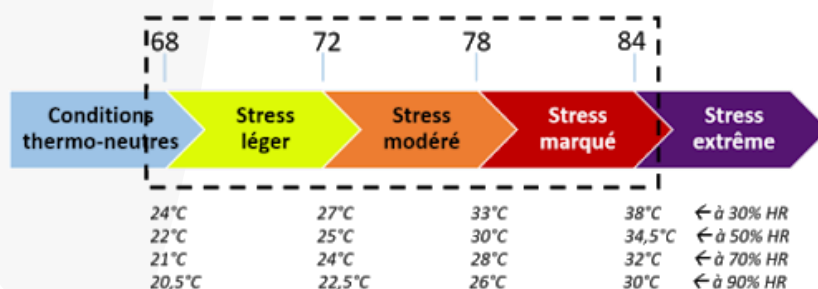
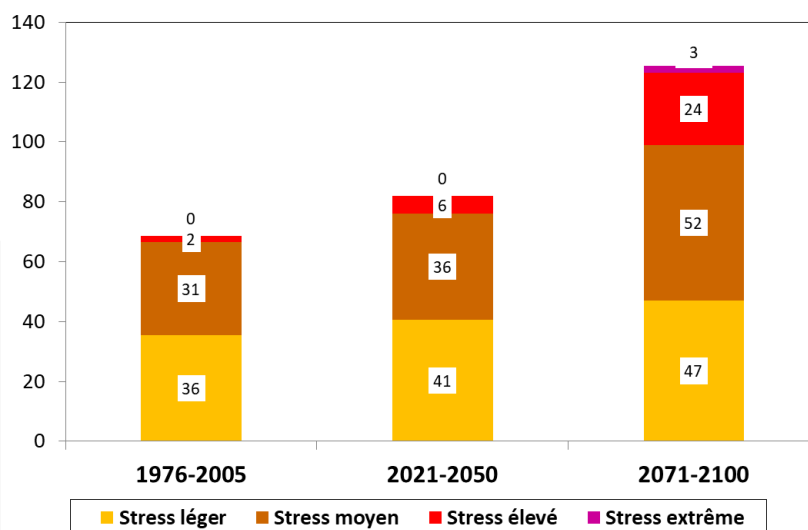
A l'avenir, avec l'augmentation des températures, pour un certain niveau d'humidité, le stress des bovins va augmenter. Nous observons un doublement des périodes de stress chez les bovins au cours du XXI^{ème} siècle, avec notamment une augmentation de la catégorie de « stress moyen ». A la fin du XXI^{ème} siècle, le nombre de jours de stress thermique aura presque doublé, passant de 69 à 126 jours, avec une augmentation considérable du nombre de jours de stress élevé (x12, passant de 2 à 24 jours) et l'apparition du stress extrême (3 jours par an une année sur 2).

L'accroissement du stress thermique dans le futur aura des conséquences non négligeables sur la santé des bovins (voire leur survie) ainsi que leur production. C'est pourquoi, les pratiques actuelles de la gestion du pâturage doivent être adaptées.

- Sur le court terme, des leviers peuvent être mis en place : l'augmentation des zones d'ombrages (abris, haies, bosquets,...etc) et des points d'eau, l'avancement de la mise à l'herbe, le choix des espèces prairiales adaptées,...

- Sur le moyen terme, en plus des leviers cités ci-dessus, la réalisation du pâturage sera compromise en été, avec un mode de conduite du troupeau proche de celui pratiqué en hiver : conduite du troupeau à l'abri (en bâtiment avec installation de confort thermique : isolation, ventilation) pour les périodes les plus sensibles, retour au pâturage à l'automne, ration sèche nécessitant un stock fourrager plus important ou d'envisager une baisse du cheptel.

Evolution des classes de THI en nbre de jours par an
(médiane par période de 30 ans)



Indicateurs Agro Climatiques croisés

Baume les Dames:

légende: **référence 1976-2005** — **2021-2050 (RCP 8.5)** — **2071-2100 (RCP 8.5)**

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
10,3 °C en moyenne par an	1,1 °C	2,8 °C	6,6 °C	9,4 °C	13 °C	16,7 °C	19,2 °C	18,9 °C	14,7 °C	10,4 °C	5,7 °C	2,9 °C
11,2 °C en moyenne par an	+ 1,4°C	+ 1,2°C	+ 1,1°C	+ 1,2°C	+ 1,1°C	+ 0,4°C	+ 1,4°C	+ 1,1°C	+ 1,2°C	+ 1,6°C	+ 1°C	+ -0,3°C
13,8 °C en moyenne par an	+ 3,6°C	+ 3,2°C	+ 2,4°C	+ 3,4°C	+ 4,1°C	+ 3,3°C	+ 4,4°C	+ 4,5°C	+ 4,4°C	+ 3,9°C	+ 3,8°C	+ 2,1°C



Nbre jours >27°C 01/05 au 31/10

12 jours	nombre de jours à plus de 27°C médiane mensuelle du 01/05 au 31/10
19,5 jours	
50,5 jours	



1136 mm de pluie par an
1256 mm de pluie par an
1241 mm de pluie par an

257 mm	625 mm	190 mm
+ 28 mm	+ 94 mm	+ 16 mm
+ 35 mm	+ 44 mm	+ 39 mm

STADES

200°C

300°C

800°C

REPERES



HERBE

29-févr

26-mars

15-mai

19-févr

21-mars

08-mai

06-févr

13-mars

25-avr

Quel avenir pour les prairies fauchées et pâturées ?

En général, l'évolution du climat aboutira à une nette avancée du calendrier phénologique de la prairie. De fait, la pousse de l'herbe démarrera plus tôt en sortie hiver. Cependant, la hausse des températures et la baisse des pluies efficaces principalement durant l'été provoqueront un ralentissement et l'arrêt de la pousse estivale pour le futur lointain. Cette pousse reprendra vers l'automne sous réserve d'une pluviométrie suffisante. La période des semis des prairies temporaires sera retardée ou reportée au printemps suivant. Cet avancement de la pousse de l'herbe et la reprise tardive permettront en partie de compenser les pertes estivales. Il faudra aussi adapter le type d'espèces prairiales à l'avancement de la pousse de l'herbe et aux nouvelles conditions climatiques. Par ailleurs, l'avancement du calendrier phénologique des prairies pourraient aussi être synonyme d'un avancement des épandages d'engrais organiques et minérales, mais tout dépendra de la portance des sols sortie hiver.

- Pour les fauches: il sera important de former des stocks de fourrages pour pouvoir être autosuffisant l'été et même revoir à la baisse son nombre d'UGB sur l'exploitation (amélioration des performances de production pour un nombre réduit d'animaux, réduire les génisses d'élevages destinées à la vente, augmentation de la surface fourragères, réduire les animaux improductifs...). L'avancement des dates de fauches sera nécessaire tant pour la quantité que la qualité des fourrages; avec un arrêt total de la pousse de l'herbe fréquent en été et une seconde fauche possible à l'automne s'il pleut suffisamment. Les journées plus courtes et la rosée en début et en fin de saison rendent cependant le séchage au sol plus difficile, pouvant nécessiter des outils spécifiques.

-Pour la gestion du pâturage

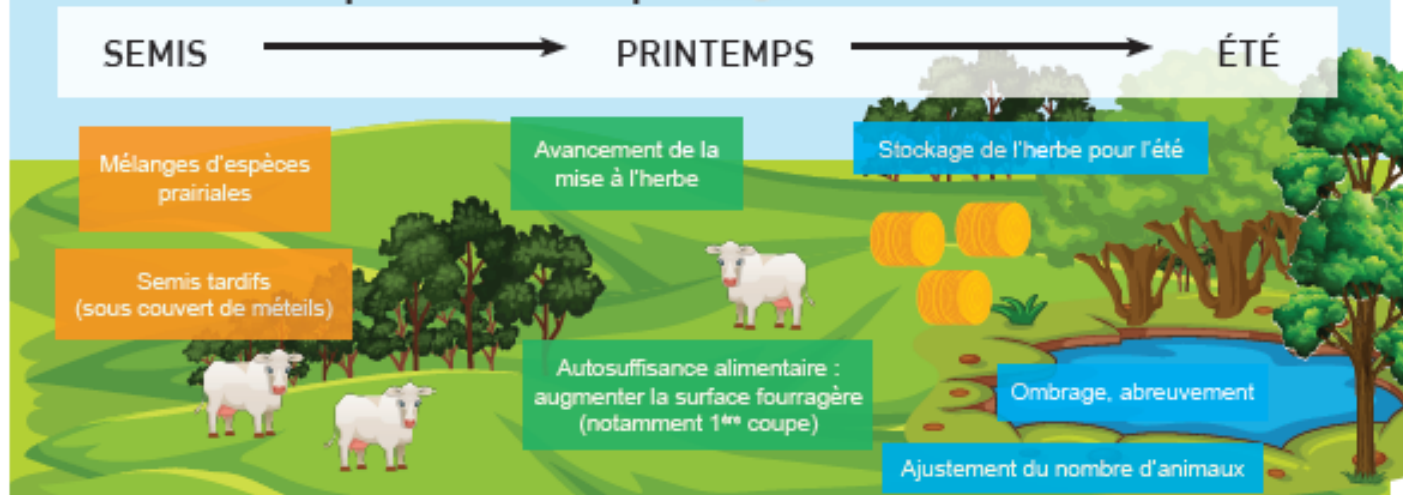
- pour le futur proche, des adaptations de pratiques seront à développer pour profiter au maximum des conditions de pousses et assurer la santé du bétail : augmenter les zones d'ombrage et des points d'eau, avancement de la mise à l'herbe (si possible);

- pour le futur lointain la gestion estivale risque d'être repensée avec des animaux au bâtiment pour éviter le stress du bétail et une adaptation en conséquence des capacités de stockage ou de l'approvisionnement en fourrages (dont les prix augmenteront avec leur raréfaction). Pour optimiser l'utilisation des pâtures, il sera aussi nécessaire d'avancer la date de sortie au pâturage et de valoriser les pousses d'automne; ces leviers d'actions permettront de compenser les périodes d'improductivité estivales (en bâtiment) et d'atténuer les effets du réchauffement climatique. Il est cependant important de noter que l'avancement de la mise au pâturage risque d'entrer en conflit avec des problèmes de portance des sols sortie hiver où le cumul des pluies sera plus important.

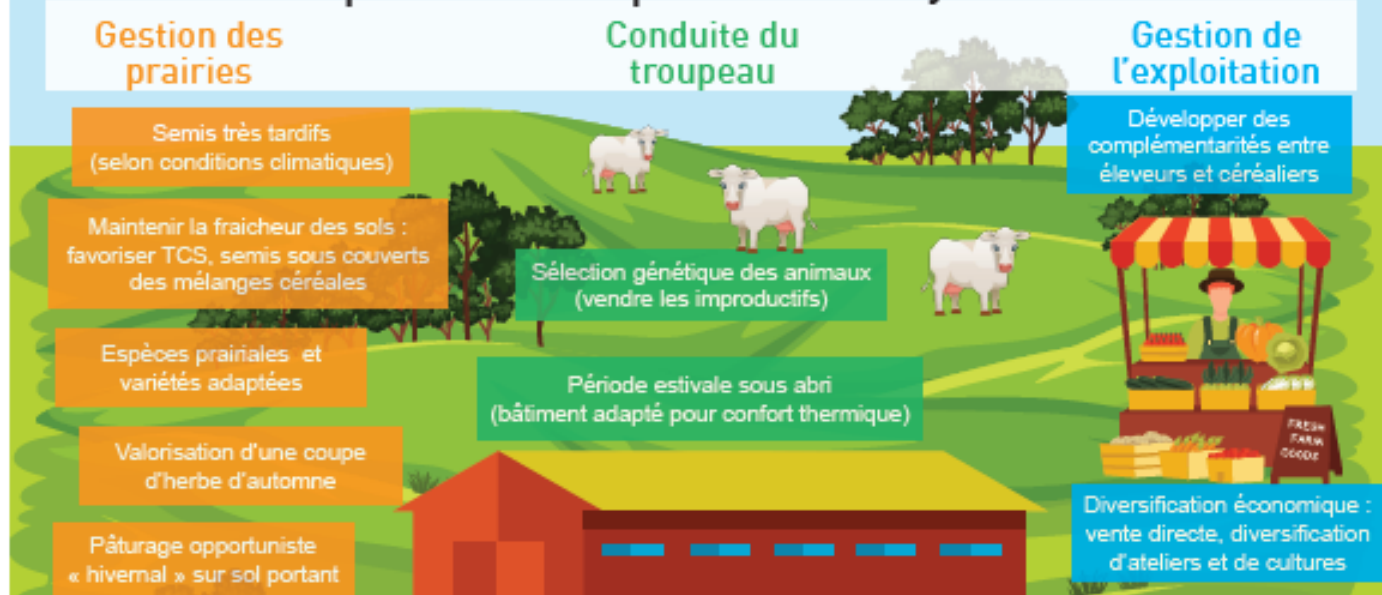


Quel avenir pour les prairies ?

PRAIRIES : pistes d'adaptation à court terme



PRAIRIES : pistes d'adaptation à moyen terme



PRAIRIES : pistes d'atténuation

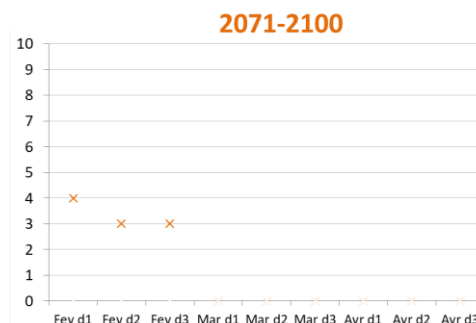
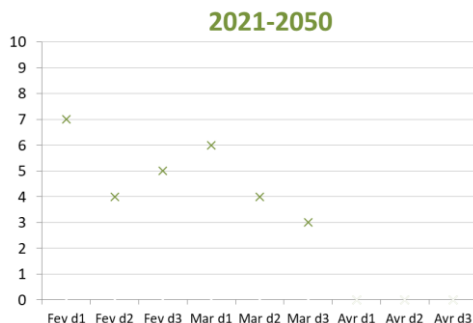
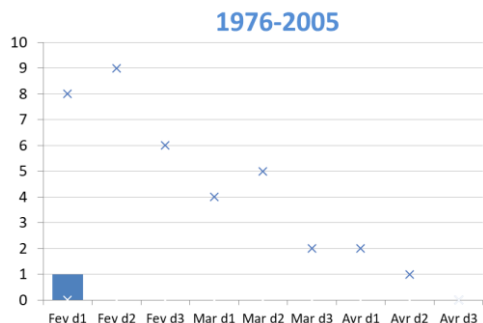




Quel avenir pour le Blé?

Risque de gel sur blé:

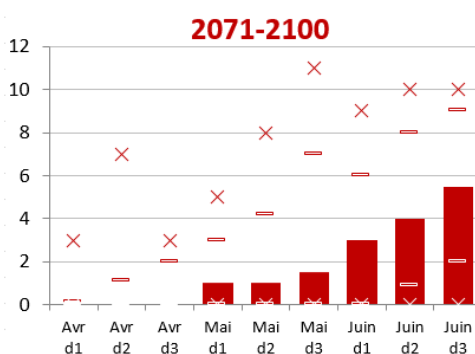
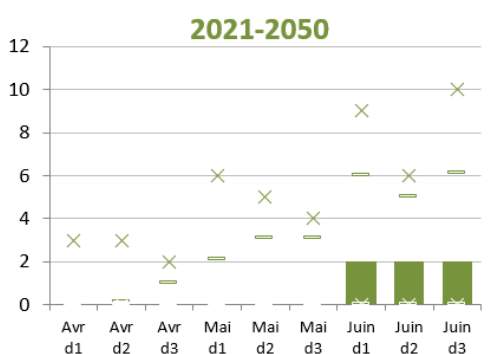
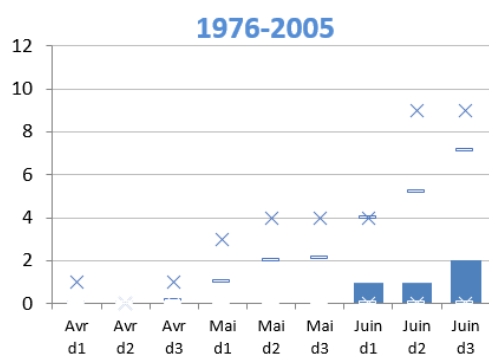
Nombre de jours où la température minimale est inférieure ou égale à -4°C par décennie du 01/02 au 30/04



Comparé à la fin du XXème siècle, le nombre de jours de gel inférieur à -4°C évolue peu d'ici le milieu du XXIème siècle. Les années les plus froides, le nombre de jours de gel à -4°C ne diminue pratiquement pas en février et en mars. Avec l'avancée des stades phénologiques du blé en sortie d'hiver en raison de l'augmentation des températures, on ne devrait donc pas diminuer le risque de gel tardif en sortie d'hiver. La disparition du nombre de jours de gel à -4°C au milieu du XXIème siècle concernera uniquement le mois d'avril. Cet indicateur va néanmoins se réduire de manière drastique d'ici la fin du XXIème siècle, avec une absence presque totale de jours de gel à -4°C en février et une disparition à partir de début mars.

Néanmoins, la réduction du nombre de jours de gel au printemps pourrait réduire les risques de gels d'épi sur blé (sauf si le stade de ce dernier est avancé avec l'augmentation des températures, sans adaptation technique).

Problème de remplissage des grains de blé : nombre de jours chauds où la température maximale est supérieure ou égale à 25°C par décennie du 01/04 au 30/06



A l'avenir, le nombre de jours chauds à plus de 25°C va augmenter durant l'été.

Comparé à la fin du XXème siècle, au milieu de XXIème siècle, le nombre de jours va légèrement augmenter (+2 jours).

Ce chiffre va drastiquement augmenter d'ici la fin du XXIème siècle, en particulier sur le mois de juin (passant de 4 à 12 jours échaudant). Ceci va s'accompagner d'une apparition de jours chauds sur les mois de mai voire fin avril. De plus, les jours chauds obtenus sur le mois de juin dans le passé deviendront la norme sur le mois de mai d'ici la fin du XXIème siècle.

Ces phénomènes auront un impact non négligeable sur le bon développement du blé. De ce fait, une augmentation des températures supérieures à 25°C accroît le risque d'échaudage (problème de remplissage des grains), ce qui impacte négativement les rendements de manière non négligeable.





Quel avenir pour le Blé?

Baume les Dames

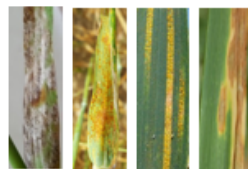


	Pluviométrie mensuelle	1976-2005	92 mm	103 mm	91 mm	93 mm	90 mm	75 mm	79 mm	95 mm	93 mm
		2021-2050	-10 mm	-10 mm	+ 14 mm	+ 9 mm	+ 25 mm	+ 7 mm	+ 31 mm	+ 18 mm	+ 10 mm
		2071-2100	+ 1 mm	-5 mm	-4 mm	+ 23 mm	-23 mm	-7 mm	+ 27 mm	+ 32 mm	+ 10 mm

	Température moyenne mensuelle	1976-2005	6,6 °C	9,4 °C	13 °C	16,7 °C	19,2 °C	18,9 °C	14,7 °C	10,4 °C	5,7 °C
		2021-2050	+ 1,1 °C	+ 1,2 °C	+ 1,1 °C	+ 0,4 °C	+ 1,4 °C	+ 1,1 °C	+ 1,2 °C	+ 1,6 °C	+ 1 °C
		2071-2100	+ 2,4 °C	+ 3,4 °C	+ 4,1 °C	+ 3,3 °C	+ 4,4 °C	+ 4,5 °C	+ 4,4 °C	+ 3,9 °C	+ 3,8 °C



Humidité + températures élevées = risque accru de maladies



Etés secs et chauds, sols plus secs = échec des faux semis, mauvaises levées



Douceur automnale = risque accru de viroses (insectes)



Nombre de jours < - 4°C (gel d'épi)	1976-2005	1 année sur 2 (médiane)		
		Février	Mars	Avril
		1	0	0
		2021-2050	0	0
2071-2100	0	0	0	

Nombre de jours < - 4°C (gel d'épi)	1976-2005	1 année sur 10		
		Février	Mars	Avril
		14,5	4,2	0
		2021-2050	7,2	1,1
2071-2100	1,1	0	0	

Nombre de jours > à 25 °C (échaudage)	1976-2005	Avril	Mai	Juin	
		0	0	4	
		2021-2050	0	0	6
		2071-2100	0	4	13

Nombre de jours > à 25 °C (échaudage)



- A l'avenir, l'augmentation du nombre de jours chauds va accroître le risque d'échaudage sur céréales (problème de remplissage des grains), et donc entraîner une chute des rendements. Par ailleurs, une augmentation des températures sur les différents stades avancés des céréales peut entraîner d'autres problèmes tels que : régression des talles, problèmes de floraison...impactant aussi négativement le rendement.

- Quant à la réduction du nombre de jours de gel au printemps, cette dernière pourrait réduire les risques de gels d'épi sur blé sauf si le stade de ce dernier est avancé avec l'augmentation des températures. De plus, entre la réduction des jours de gel et l'augmentation des pluies d'ici le milieu du XXIème siècle, les problèmes de portance en sortie hiver seront accrus, surtout pour les zones aux sols humides et en zone inondable.

- Pour éviter une perte de rendement trop élevée, plusieurs solutions sont envisageables :

- Semis mi tardif : il faudra avoir des semis mi tardifs avec des variétés précoces à cycle court pour épier avant les périodes de stress. Un semis trop tardif sera aussi risqué en raison d'un risque accru de pluies en fin d'automne début d'hiver pouvant empêcher la réalisation des semis. Néanmoins, il ne faudra pas non plus semer trop tôt au risque d'avoir une pression ravageurs, adventices et maladies trop forte, ainsi que des problèmes de levées face au sec prolongé de la sortie de l'été.

- Garder la fraîcheur des sols (Techniques culturales simplifiées, gestion des résidus et de la matière organique,...etc).

Les pertes de rendements seront néanmoins compensées par des réductions de charges tel que la diminution des fongicides (faible pression maladie), la fertilisation raisonnée, la réduction des besoins en produits phytosanitaires via un allongement des rotations.



Quel avenir pour le Blé ?

BLE : pistes d'adaptation à court terme

Semis

Semis mi-tardifs au 15 octobre avec variété précoce: éviter d'épier en période de stress hydrique (tout en évitant de mauvaises conditions de semis)

Choix des variétés: plus robustes et précoces

Agronomie

Réduire le labour: garder la fraîcheur des sols (si les conditions le permettent: pression ravageurs/adventices, types de sols, niveau de compaction)

Allonger les rotations: diversification de cultures à bas intrants/faibles besoins en eau: chanvre, sorgho (cultures méthanogènes: silphie, sorgho fourrager...etc)

Favoriser les parcelles en limons profonds/hydromorphes

BLE : pistes d'adaptation à moyen terme

Azote: favoriser les apports précoces et fractionnés (car l'azote sera moins valorisé)

Baisser les charges opérationnelles pour compenser les pertes de rendement:
-Engrais: outils d'aides à la décisions: PPF, RSH...etc
-Fongicide: choix variété tolérante maladie + sécheresse
-Insecticide/Herbicide: semis mi-tardif: éviter pression ravageurs/adventices

BLE : pistes d'atténuation

Limiter les émissions de GES

Bonnes pratiques d'épandage d'engrais: fractionnement, respect du PPF, CIPAN, conditions climatiques (pluie, vent, hygrométrie...)

Moins de carburants: conduite éco, éteindre à l'arrêt, puissance adaptée aux besoins, interventions regroupées et réduites au strict nécessaire

Moins d'engrais de synthèse

Produire de l'énergie verte

Méthanisation

Photovoltaïque

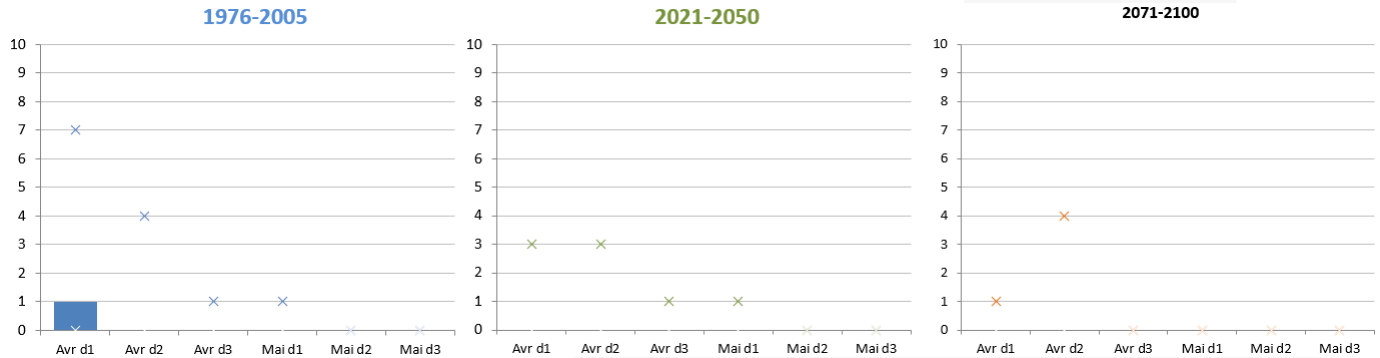
Stocker du carbone

Implantation de haies, bandes tampon...



Quel avenir pour le Maïs?

Avancement de la date de semis : nombre de jours par décade où la température minimale est inférieure ou égale à 0°C du 01/04 au 31/05



- Le nombre de jours de gel sur les mois d'avril et mai sera diminué d'ici le milieu du XXIème siècle et sera presque inexistant pour la 2^{ème} moitié du XXIème siècle.

- Ces jours de gel permettent de déterminer la date de semis du maïs car l'apparition d'une période de gel après le stade 6 feuilles du maïs lui est très préjudiciable. C'est pourquoi, il était important de ne pas semer trop tôt.

En conséquence, à l'avenir, au vu du recul des jours des gels, les semis pourront donc être avancés. Cela sera d'autant plus avantageux pour éviter les périodes de stress durant l'été qui sera plus chaud et sec.

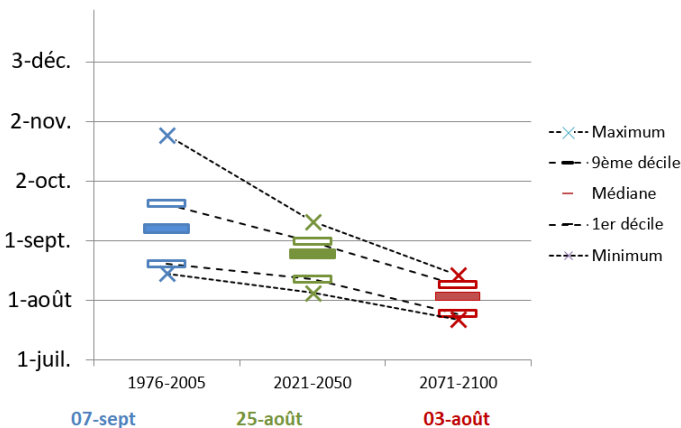
Avancement de la date de floraison du maïs ensilage indice ½ précoce, date de franchissement des 950 °J base 0 °C initialisée au 15/04

La date de franchissement des 950°C jours correspond à la période de floraison du maïs fourrage. L'augmentation des températures sur le futur va être visible et se faire sentir sur les stades des cultures. De fait, comparé au passé où la date de floraison survenait une année sur deux le 24 juillet, la date de floraison du maïs sera atteinte environ 1 semaine plus tôt d'ici le milieu du XXIème siècle (16 juillet) et environ 3 semaines plus tôt d'ici la fin du XXIème siècle (3 juillet).

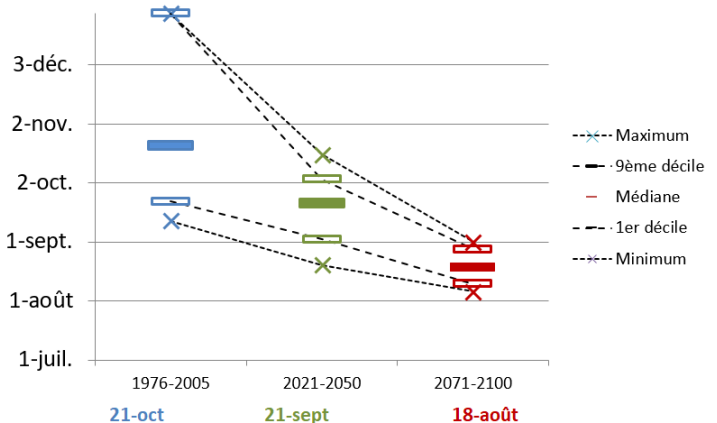
Avancement de la date de récolte du maïs ensilage indice ½ précoce, date de franchissement de 1500°C (base 6 °C) initialisée au 15 avril

Avancement de la date de récolte du maïs grain, indice tardif, date de franchissement de 1800 °C (base 6 °C) initialisée au 15 avril

Date de franchissement du seuil des 1500°C base 6 depuis le 15 avril



Date de franchissement du seuil des 1800°C base 6 depuis le 15 avril



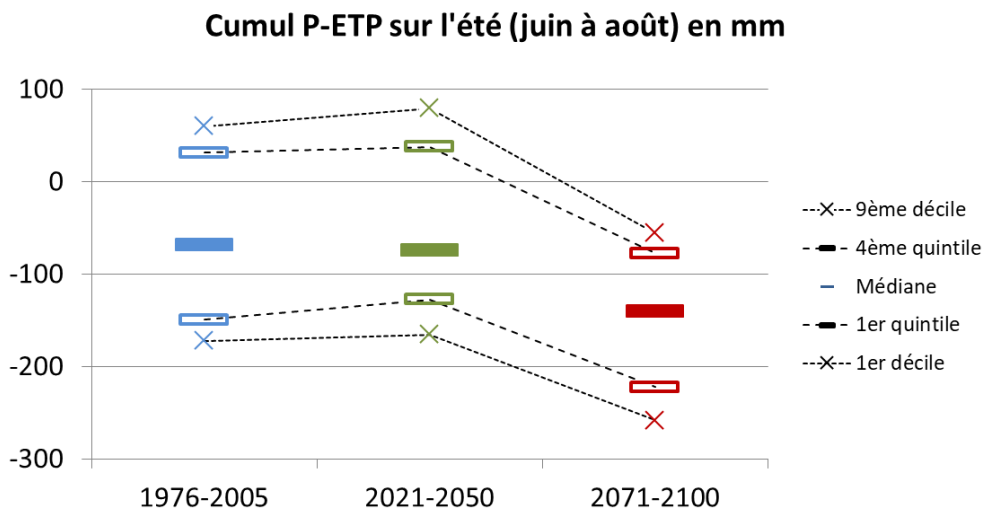
Nous observons une date de franchissement des seuils de récolte du maïs plus avancée, que ce soit d'ici le milieu ou la fin du XXIème siècle. Plus précisément, pour le maïs ensilage, les dates de récolte interviendront environ 14 jours plus tôt d'ici 2050 et environ 1 mois plus tôt d'ici la fin du XXIème siècle. Le gain pour l'avancée du stade de récolte du maïs grain est encore plus important. Alors que le seuil des 1800°C n'était atteint que fin octobre une année sur deux à la fin du XXème siècle, la récolte du maïs grain se réalisera courant août à la fin du XXIème siècle.





Quel avenir pour le Maïs?

Stress hydrique l'été : pluies efficaces P-ETP du 01/06 au 31/08

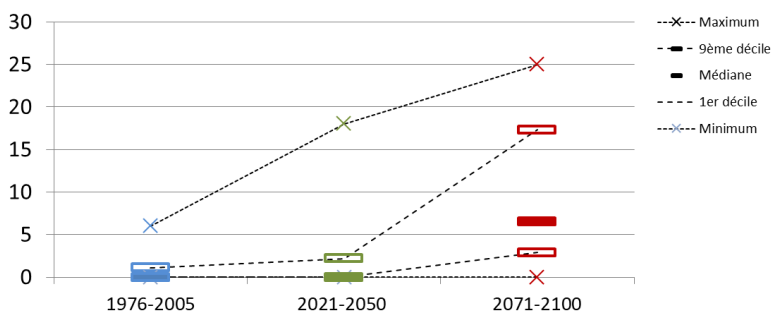


Comparé au passé, la pluie efficace sera réduite fortement à l'horizon 2080 et engendrera un stress hydrique plus important sur les cultures. De juin à août le bilan déficitaire entre la pluie et l'évapotranspiration se situe à - 69 mm (fin du XIXème siècle) et à - 74 mm (début du XIXème siècle). A partir de la fin du XXIème siècle, la pluie efficace sera encore plus réduite dans le futur et engendrera un stress hydrique sur les cultures (déficit de 140 mm).

La conséquence directe de la réduction des pluies efficaces, est un assèchement des sols plus rapide. Ce problème sera amplifié pour les sols superficiels très nombreux sur le massif du Jura. Le maïs subira alors un stress hydrique prononcé pouvant impacter négativement les rendements.

Stress : nombre de jours où la T°C est > à 35°C (du 01/05 au 30/09)

Nombre de jours par an où Tmax >= 35°C du 01/05 au 30/09



Le nombre de jours supérieurs à 35°C durant l'été sera en sensible augmentation d'ici le milieu du XXIème siècle et nettement plus élevé d'ici la fin du XXIème siècle (+ 6 jours). Le nombre le plus élevé de jour à + de 35°C arrivait 1 année sur 10 dans le passé et sera la norme d'ici la fin du XXIème siècle.

Durant cette période de chaleur intense entre mai et septembre, le maïs peut subir plusieurs stress tel que la perturbation dans la multiplication des cellules (cas d'un stress précoce, avant grain laiteux) ou un ralentissement brutal du remplissage des grains (cas d'un stress thermique plus tardif, vers grain laiteux-pâteux). Dans tous les cas, le rendement sera négativement impacté de manière non négligeable.





Quel avenir pour le maïs grain et le maïs fourrage ?

Baume les Dames



1976-2005	194 mm	257 mm	174 mm
2021-2050	+ 3 mm	+ 42 mm	+ 49 mm
2071-2100	-9 mm	-6 mm	+ 4 mm

P-ETP de juin à août inclu → -73 mm -76 mm -140 mm

	Dernier jour de gel			
	1976-2005	2021-2050	2071-2100	
	Maximum	7-mai	30-avr.	14-avr.
	9ème décile	15-avr.	11-avr.	28-mars
Médiane	4-avr.	27-mars	10-mars	

	Nombre de jours > à 35 °C			
	1976-2005	2021-2050	2071-2100	
	Maximum	6	18	25
	9ème décile	1	2	17
Médiane	0	0	7	

variété 1/2 précoce	Dates repères floraison et récolte maïs (semis du 15 avril)			Sommes de températures (base 6) du 15 avril au 15 octobre
	Floraison =950°C	Ensilage (32 % MS) = 1500°C	Grain (32 % hum.) = 1800 °C	
1976-2005	24-juil.	7-sept.	21-oct.	1773
2021-2050	16-juil.	25-août	21-sept.	1990
2071-2100	3-juil.	3-août	18-août	2482

L'évolution du climat va amener à une nette avancée du calendrier phénologique du maïs grain et du maïs fourrage.

- Avec une période de gel avancée, l'augmentation des températures et un temps plus secs l'été, un avancement des semis de maïs sera fortement envisagé (avec des variétés tardives pour allonger le cycle et avoir un gain de rendement), principalement sur la 2^{ème} moitié du XXI^{ème} siècle. En effet, pour éviter un stress hydrique lors des périodes à risque (levée, floraison, remplissage du grain,...), la date de semis pourra être avancée d'une dizaine de jours. Il est à noter qu'il ne sera pas souvent possible de semer très tôt en raison de problèmes de préparation des terres pour les semis (nombre de jours de gel réduit, réduction des phénomènes de gel/dégel, cumul de pluviométrie important en début d'année, portance du sol limitée,...). Un semis précoce permettra aussi d'augmenter la probabilité de valoriser l'azote en l'apportant plus tôt pour profiter des pluies plus précoces. Cependant, avec l'augmentation du nombre d'année sans jours de pluie, ou encore la remise en question de l'utilisation des engrais minéraux dans la lutte contre les GES, la valorisation d'effluents organiques est plus envisageable pour l'apport de l'azote.

- La hausse des températures va aussi engendrer une favorisation des ravageurs (taupins, corvidés,...).

- Le manque d'eau sera aussi synonyme d'une baisse d'efficacité des désherbants chimiques : se pose alors la question du désherbage mécanique.

- Dans le futur, en raison de l'augmentation des températures et des périodes sèches, le point sensible concernera les apports en eau, qui sont déterminant dans l'élaboration du rendement. L'irrigation du maïs sera d'autant plus délicate à l'avenir que les conflits liés à l'accessibilité de la ressource en eau risquent de se multiplier. Par temps secs et chauds, avec une irrigation limitée ou sans irrigation, l'avenir du maïs sera compromis. Il faudra peut être le remplacer par des cultures plus résistantes au sec et moins exigeantes en eau tel que le sorgho par exemple.

-Les pertes de rendements seront peut être néanmoins en partie limitée par une réduction des charges : réduction de l'irrigation, pas de frais de séchage, implanter un précédent PT (rupture de rotation, pour valoriser la MO et l'azote...etc). Pour maintenir le niveau de rendement du maïs, il sera aussi possible de mettre en place d'autres leviers (au-delà du recours à des semis précoces avec variétés tardives) tels que le maintien de la fraîcheur des sols : Techniques culturales simplifiées, gestion des résidus et de la matière organique, couverts estivaux,...etc).

-Il est aussi à noter qu'un avancement des dates de récolte permettra de pouvoir implanter des céréales d'hiver (orge d'hiver favorisée) plus facilement derrière maïs grain.



Quel avenir pour le Maïs ?

MAÏS : pistes d'adaptation à court terme

Semis

Léger avancement de la date de semis: allongement du cycle + éviter période de stress (pas trop tôt pour cause de gel ou problème de portance)

Récolte

Irrigation raisonnée

Agronomie

Planter le maïs après une prairie temporaire : meilleur rendement

Diversifier sa rotation
« pas tous les œufs dans le même panier » :
- Cultures à bas intrants pour garder une marge ou plus résistantes au sec : sorgho, chanvre
- Cultures méthanogènes

Conserver la fraîcheur des sols :
TCS, CIPAN, MO

Privilégier les parcelles en limons profonds / hydromorphes

MAÏS : pistes d'adaptation à moyen terme

Semis

Avancement de la date de semis : éviter les périodes de stress => épiéer avant la sécheresse

Choix de la variété: robuste, tardive

Apports d'azote organique plutôt que minéral
Apport minéral précoce

Récolte

Remplacement par du sorgho fourrager (besoins en eau très faible) – le maïs pourrait se retrouver dans des conflits d'eau

MAÏS : pistes d'atténuation

Limiter les émissions de GES

Réduire la volatilisation de l'azote : incorporation rapide d'effluents (dans la semaine), épandeur à lisier type pendillard plutôt que buse

Moins de carburants : conduite éco, éteindre à l'arrêt, puissance adaptée aux besoins, interventions regroupées et réduites au strict nécessaire

Moins d'engrais de synthèse

Bonnes pratiques d'épandage d'engrais : fractionnement, respect du PPF, CIPAN, conditions climatiques (pluie, vent, hygrométrie...)

Produire de l'énergie verte

Méthanisation

Photovoltaïque

Stocker du carbone

Implantation de haies, bandes tampon...

Contacts et rédaction :

Didier Tourenne - Chambre Interdépartementale d'agriculture Doubs Territoire de Belfort

03 81 65 52 93 - dtourenne@agridoubs.com

Réalisation graphique : Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne Franche-Comté

Crédits photos : Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne Franche-Comté, Chambre Interdépartementale d'agriculture 25/90 et www.pixabay.com

Imprimé par nos soins.

