



**CLIMALAIT**

## POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

- Comment le climat va-t-il évoluer ?
- Avec quelles conséquences sur les cultures fourragères, sur l'alimentation des animaux ?
- Comment s'adapter à ces évolutions ?

Le 5<sup>e</sup> rapport du GIEC établit que le changement climatique est dorénavant sans équivoque. Dans cette perspective, il convient donc d'anticiper les changements et de proposer des pistes d'adaptation.

Les instances dirigeantes du CNIEL ont demandé un programme d'accompagnement de la filière laitière pour s'adapter aux évolutions climatiques. En réponse, l'Institut de l'Élevage, en partenariat avec Arvalis, le BTPL, les Chambres d'agriculture, l'Inra et Météo France, a proposé un programme sur cette thématique essentielle pour l'avenir de la production laitière.

L'objectif de CLIMALAIT est d'évaluer les impacts du changement climatique, à moyen et/ou long terme, sur les différents systèmes d'élevages laitiers français et de fournir aux éleveurs et aux conseillers des pistes d'adaptation. Le principe de l'étude est de travailler sur un nombre limité d'Unités Laitières, représentant les principales zones de production laitière en France, d'y décrire les évolutions du climat dans le passé récent et dans le futur (à l'aide de sorties de modèles climatiques), puis d'évaluer les impacts du changement climatique sur les cultures et de proposer des adaptations.

La méthodologie détaillée est décrite en annexe.

### Les attendus peuvent se résumer ainsi :

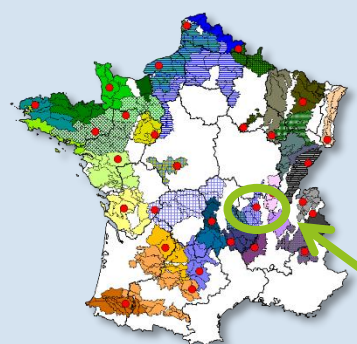
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des systèmes d'élevage de chacune de ces zones,
- ✓ Des pistes d'adaptation possibles pour les différents systèmes d'élevage.

Les travaux ont été menés en partenariat étroit avec des conseillers et des éleveurs de chacune des Unités Laitières Agroclimatiques.

Ici, vous trouverez les résultats pour la zone du Haut Beaujolais (69)

## DES RÉSULTATS

### pour les monts du Haut Beaujolais



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

### Au sommaire :

|   |    |
|---|----|
| La Région Agricole du Haut Beaujolais .....   | 2  |
| Climat de la zone .....   | 3  |
| L'évolution prévue des rendements des cultures fourragères (et de la saisonnalité de la production pour les prairies) ..... | 6  |
| Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles .....  | 9  |
| Conclusions .....   | 12 |
| Annexes .....   | 13 |

### Glossaire

|  |
|--|
| ETP : Évapotranspiration   |
| GES : Gaz à Effet de Serre   |
| MCPI : Mélanges Céréales Protéagineux Immatures                    |
| RA : Région Agricole   |
| RGA : Recensement Général Agricole                                 |
| SAU : Surface Agricole Utile / SFP : Surface Fourragère Principale |
| THI : <i>Temperature Humidity Index</i>                            |
| UGB : Unité Gros Bétail  |
| UTA : Unité de Travail Annuel                                      |
| VA : Vache Allaitante / VL : Vache Laitière                        |

## La Région Agricole du Haut Beaujolais

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 36 % entre 2000 et 2010, ce qui est légèrement supérieur à l'évolution observée en moyenne sur les 29 zones d'études), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 2 % entre 2000 et 2010). Cela condamne les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité au plan du travail.

|  | UTA | SAU (ha) | Grandes cultures (ha) | SFP (ha) | Dont maïs fourrage (ha) | Nb total d'UGB | Nb de VL |
|--|-----|----------|-----------------------|----------|-------------------------|----------------|----------|
| En 2010                                  | 1,8 | 50       | 5,5                   | 44,5     | 7,5                     | 56             | 34       |
| Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000) | +2% | +36%     | +32%                  | +37%     | +50%                    | +39%           | +33%     |

Caractéristiques structurelles moyennes des exploitations laitières de la zone (d'après RGA SSP, traitement Idele, C. Perrot).

Le nombre d'animaux par exploitation suit la même tendance : les troupeaux laitiers comme allaitants se sont agrandis entre 2000 et 2010. La SFP a elle aussi augmenté, à un rythme semblable à celui des effectifs de bovins. De ce fait, le chargement apparent est resté aux alentours de 1,2 UGB/ha de SFP.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 206 700 litres par exploitation, soit environ 6 000 L/VL et 5 000 L/ha SFP.

Avec près de 90 % de la SAU occupée par les prairies et cultures fourragères, le Haut Beaujolais est une zone herbagère. Les prairies naturelles occupent une place importante, environ 60 % de la SAU. Le reste de la SFP est occupé par des prairies temporaires et du maïs fourrage. Quelques hectares de grandes cultures viennent compléter l'ensemble.

Le Haut Beaujolais n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution, bien que restant de taille limitée. Les systèmes laitiers sont majoritairement herbagers dans cette zone de montagne, d'altitude comprise entre 500 et 800 m, où la culture du maïs ensilage est encore possible.

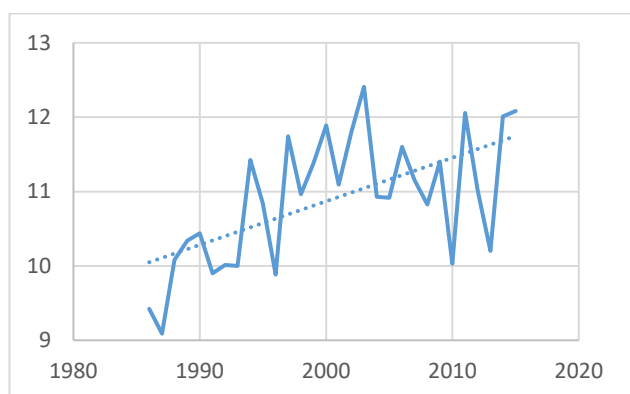
## Climat de la zone

### Le climat actuel de la zone (voir cartes en annexe 2)

Le climat des monts du Haut Beaujolais est de type semi-continentale (carte a) avec des températures froides en moyenne annuelle (carte b) entraînant une longue période de repos hivernal de la végétation (carte f) et une date théorique de mise à l'herbe à la fin du mois de mars (carte d). Le cumul annuel des précipitations est relativement faible (carte c) et la sécheresse agronomique estivale est plus marquée que dans d'autres zones de montagne (carte e).

### Évolution récente du climat

Les données présentées ci-dessous correspondent à la commune de Saint-Jean-la-Bussière, à l'Ouest du département du Rhône. Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 1,7°C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps (+ 2,8 °C) et à l'automne (+ 1,8 °C).

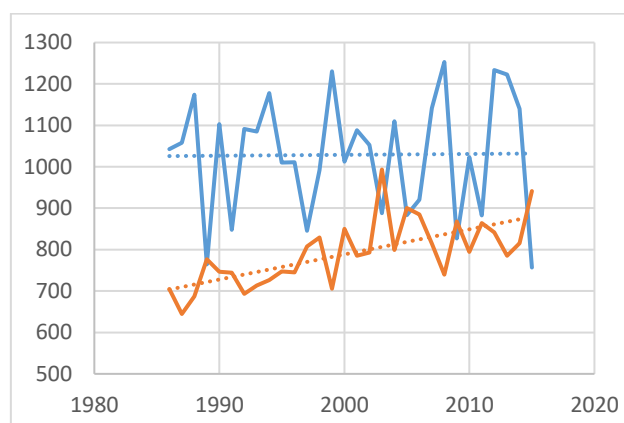


Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

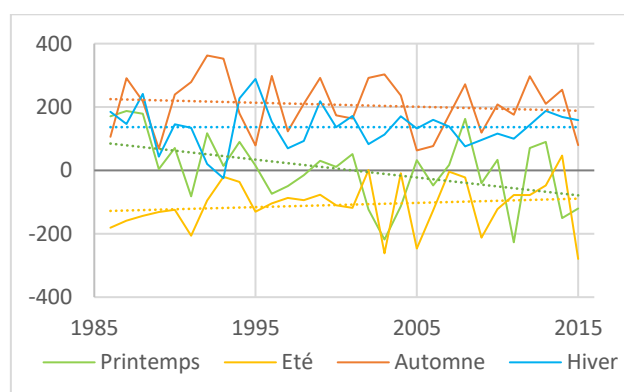
Conséquence de cette augmentation notable des températures, l'évapotranspiration augmente elle aussi (+ 175 mm en 30 ans), tandis que le cumul annuel des précipitations reste très variable, entre 750 et 1 250 mm/an.

À l'échelle saisonnière, on retrouve une importante variabilité des précipitations, et une ETP à la hausse, notamment au printemps. De ce fait, le bilan hydrique saisonnier est variable d'une année sur l'autre, et en baisse tendancielle au printemps.

Le jeu de données utilisé s'arrête en 2015, mais les années suivantes s'inscrivent dans les mêmes tendances.



Évolution de l'ETP et des précipitations en cumul annuel (mm) de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

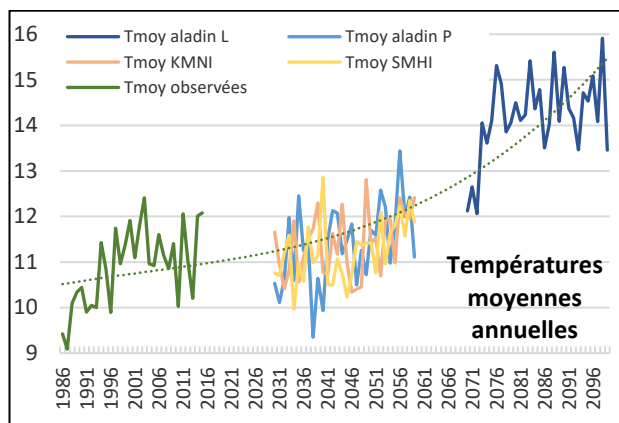


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

## Évolutions futures du climat

Le futur climatique peut être estimé soit en prolongeant les tendances constatées, soit **par simulation**. Ce sont les grands laboratoires de recherche climatique du monde qui mettent au point les simulateurs de climat. Avec le soutien de Météo-France, nous avons mobilisé 3 d'entre eux : un français (le CNRM), et c'est ce qui correspond aux données **Aladin**, un Suédois (données **SMHI**), et un Néerlandais (**KMNI**). Nous présentons des calculs faits sur les **périodes 1986-2015** (sert de base de comparaison), **2030-2059** (**futur proche = P**), et **2070-2099** (**futur lointain = L**) pour **Aladin** seulement). Tous les modèles n'indiquent pas exactement la même chose, mais tous vont dans le même sens et prédisent un réchauffement dans le cadre du **RCP 8.5**, un scénario dans lequel les concentrations en gaz à effet de serre feraient plus que doubler d'ici la fin du siècle, ce qui est assez probable si des mesures draconiennes de limitation des émissions ne sont pas prises immédiatement. Ces données simulées sont comparées à des données issues d'observations (désignées par « **obs** ») : il s'agit des données du modèle **SAFRAN**.

### Évolution des températures moyennes annuelles



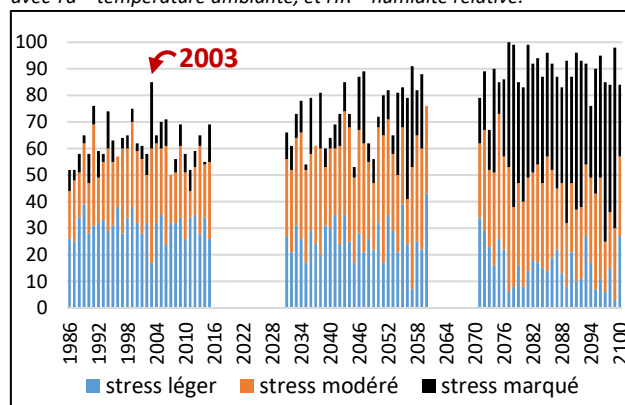
Quel que soit le modèle, il prédit une augmentation de température encore modérée (de l'ordre de 1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérerait rapidement pour atteindre + 4 °C par rapport au niveau actuel.

L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 6 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient légèrement plus vite que les minimales. Il continuera à geler, mais moins souvent, et le nombre de jours caniculaires sera en forte hausse (cf. annexe 3).

Ces excès de température ont des conséquences sur les cultures mais aussi sur les animaux. On peut les approcher par le calcul d'un indicateur, le THI (pour *Temperature Humidity Index*). Le graphique ci-dessous indique le nombre de jours où les animaux pourraient être en stress thermique léger, modéré ou marqué dans le futur, en comparaison à ce qui a pu être observé : le nombre de jours de stress et l'intensité de celui-ci augmenteraient dans le futur proche, et plus encore vers la fin du siècle.

Pour chaque année, nombre de jours pour chaque niveau de stress estimé avec le THI, de 1986 à 2015 (sur données observées) et sur le futur (modèle Aladin).

$THI$  (Temperature Humidity Index) =  $1,8 * Ta - (1 - HR) * (Ta - 14,3) + 32$   
avec  $Ta$  = température ambiante, et  $HR$  = humidité relative.



L'augmentation des températures n'aura pas que des effets négatifs : l'une de ses conséquences peut être la possibilité de mettre à l'herbe plus tôt. Ainsi, si la date à laquelle on atteint une somme de températures de 300 °C se situe actuellement aux alentours du 27 mars (une année sur deux entre le 21 mars et le 3 avril), elle pourrait passer aux alentours du 20 mars dans le futur proche (entre le 14 et le 27 mars selon les modèles), et du 9 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

|   | Obs<br>30 ans | 1986-<br>2000 | 2001-<br>2015 | Aladin<br>2030-<br>2059 | KMNI<br>2030-<br>2059 | SMHI<br>2030-<br>2059 | Aladin<br>2070-<br>2099 |
|---|---------------|---------------|---------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 année sur 2<br>entre le...<br>et le ... | 21/3<br>3/4   | 21/3<br>8/4   | 20/3<br>1/4   | 15/3<br>1/4             | 14/3<br>2/4           | 9/3<br>23/3           | 2/3<br>15/3             |
| Médiane                                   | 27/3          | 26/3          | 28/3          | 21/3                    | 27/3                  | 14/3                  | 9/3                     |

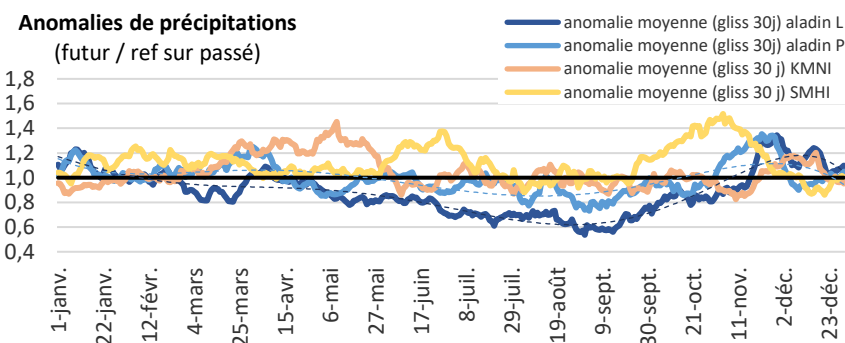
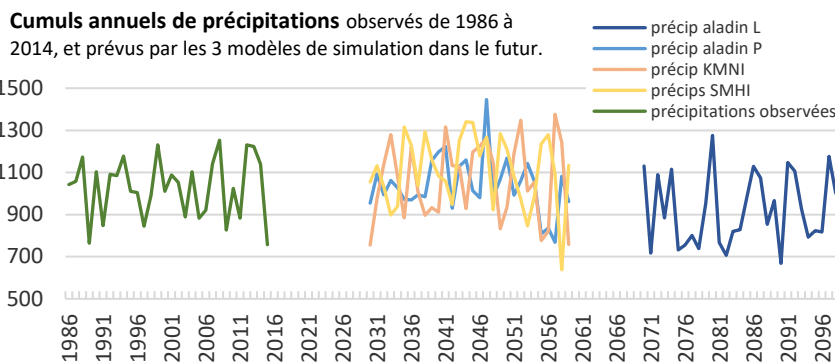
Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1<sup>er</sup> février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.



## Évolution des précipitations

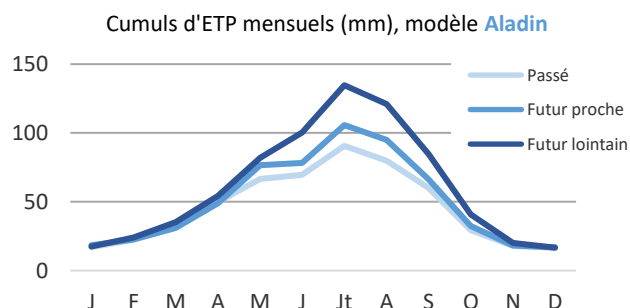
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte variabilité inter-annuelle, réelle dans le passé et qui se poursuit de la même façon dans le futur.

Il faut analyser les simulations plus en détail au travers du second graphique qui représente le rapport entre ce qui est simulé sur le futur et ce qui a été simulé par chaque modèle sur le passé. Ce rapport a été calculé chaque jour pour capter d'éventuelles différences saisonnières dans l'évolution des précipitations. Les données ont été moyennées chaque jour par périodes de 30 ans (2030-2059 ou 2070-2099), la base de comparaison étant 1986-2015. Quand ce rapport est supérieur à 1, il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1. Ainsi dans le futur proche, le modèle **SMHI** prévoit globalement plus de précipitations, notamment en automne, et peu d'évolution en été. Le modèle **KMNI** prédit plus de précipitations au printemps et peu d'évolution en été. Pour le modèle **Aladin** il pleuvrait plus en fin d'automne et moins en été-début d'automne. Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations en fin de printemps et sur toute la durée de l'été et de l'automne. On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales, voire printanières, plus ou moins fréquentes. Le tableau ci-dessous indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur, selon le modèle climatique.



|   | Obs<br>30 ans | 1986-<br>2000 | 2001-<br>2015 | Aladin<br>2030-<br>2059 | KMNI<br>2030-<br>2059 | SMHI<br>2030-<br>2059 | Aladin<br>2070-<br>2099 |
|---|---------------|---------------|---------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| au moins 15 jours<br>sans pluie entre le<br>20/04 et le 10/06 | 4/10          | 4/10          | 5/10          | +20%                    | -10%                  | +10%                  | +3%                     |
| au moins 20 jours<br>sans pluie entre le<br>01/07 et le 01/09 | 2/10          | 1/10          | 2/10          | -3%                     | +0%                   | +10%                  | +43%                    |

Pour chacune des deux périodes considérées, fréquence d'apparition d'au moins un épisode de sécheresse (en nb années /10) sur les 30 (ou 15) dernières années observées, et évolution possible (futur / passé) dans différentes simulations (modèles **Aladin**, **KMNI** et **SMHI**).



La sécheresse agronomique est le résultat d'un manque de précipitations et/ou d'une ETP intense. Le graphique ci-contre indique pour le modèle climatique **Aladin** comment évoluerait l'ETP au cours de l'année. En augmentant plus fortement et plus tôt, l'ETP créera un état de sécheresse non seulement plus fréquent et plus prononcé, mais aussi plus précoce.

Le modèle **Aladin** est le seul pour lequel nous disposons des calculs d'ETP, aussi c'est le seul à partir duquel nous avons réalisé les simulations de culture qui permettent d'intégrer tous les effets du changement climatique sur la plante : augmentation des températures et de l'ETP, modifications du régime de précipitations, effets directs du CO<sub>2</sub>.

Le climat de la zone se caractérise par des températures fraîches dans l'ensemble, mais pouvant être élevées l'été, et des précipitations relativement faibles. Les températures, déjà en nette augmentation par le passé, le seraient encore plus dans le futur. Au printemps, cela pourrait permettre d'avancer la mise à l'herbe. En été, les épisodes caniculaires se multiplieraient, entraînant un ralentissement voire l'arrêt de la croissance de certaines espèces prairiales (ou même leur disparition), et un stress thermique pour les animaux.

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre, dans le passé comme dans le futur. On note cependant une augmentation de l'évapotranspiration et, à la fin du siècle, une diminution des précipitations en été, ainsi. Ces deux phénomènes contribuent à accentuer les situations de sécheresse en été.

## L'évolution prévue des rendements des cultures fourragères (et de la saisonnalité de la production pour les prairies)

Les rendements présentés ici ne prennent pas en compte les adaptations possibles par choix de variétés (sauf pour le maïs), ni l'évolution des variétés. En revanche, le modèle utilisé tient compte de l'effet de l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> sur l'efficacité de la photosynthèse et l'intensité des échanges entre la plante et l'atmosphère via l'ouverture des stomates. Ainsi, toutes choses étant égales par ailleurs, les résultats des simulations sont la conséquence de l'évolution du climat et de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Une précédente étude a montré que cet effet du CO<sub>2</sub> est à l'origine d'une augmentation des rendements pouvant aller jusqu'à 10 voire 20 % (Étude ACTA-MIRES Ruget Moreau). Les mêmes simulations réalisées sans tenir compte de l'effet direct de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> sur les plantes sont présentées en annexe 4.

Les simulations ont été réalisées grâce au modèle de culture STICS, à partir des données climatiques issues du modèle **Aladin**, des itinéraires techniques locaux, et sur deux types de sols représentatifs de ceux de la zone (présentés ci-contre).

|                 | Profondeur | Taux d'argile | Réserve utile |
|-----------------|------------|---------------|---------------|
| Sol profond     | 70 cm      | 20 %          | 90 mm         |
| Sol superficiel | 50 cm      | 7,5 %         | 30 mm         |

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations.

### Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur trois types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

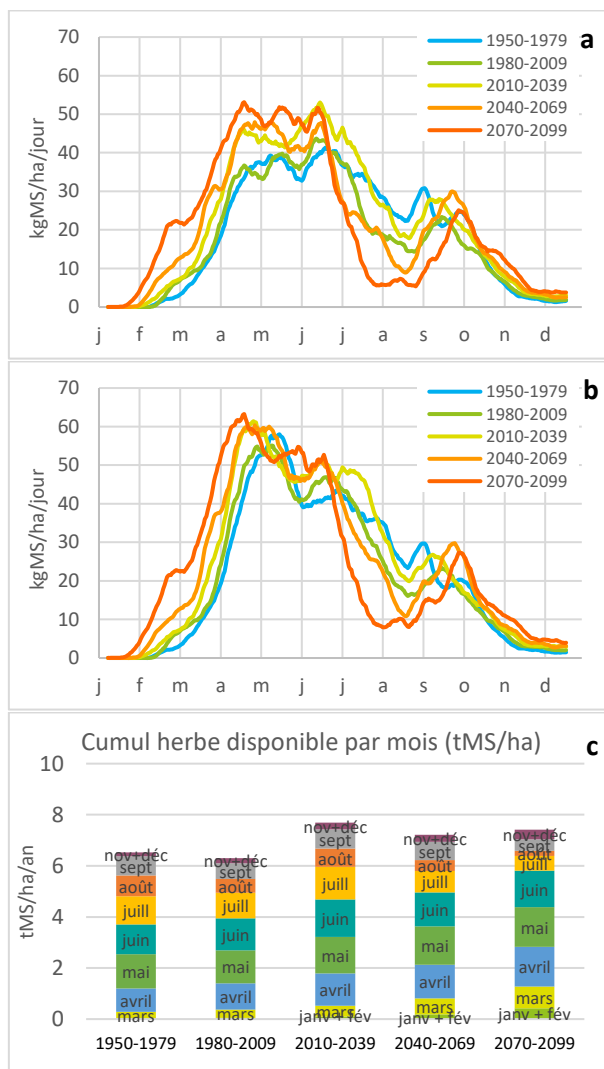
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. Le calcul d'autres indicateurs, construits à partir de la pluviométrie autour de la mise à l'herbe (présentés en annexe 3) montre que les épisodes de fortes précipitations autour de la date théorique de mise à l'herbe ne seraient pas plus fréquents à l'avenir que par le passé, et ce malgré l'avancée de cette date : cette herbe de printemps pourrait donc être utilisée dans de bonnes conditions certaines années seulement.

Le ralentissement de la croissance de l'herbe en été serait lui aussi plus précoce, et de plus en plus marqué. Le rebond d'automne, lui, serait de plus en plus tardif et se prolongerait vers le début de l'hiver.

Au total, la quantité d'herbe produite sur l'année serait en légère augmentation, essentiellement du fait de la pousse de printemps plus abondante. Dans un système herbager cela obligerait à augmenter la part de surfaces à faucher au printemps.

En résumé, l'herbe pousserait de plus en plus tôt au printemps et de plus en plus tard à l'automne, mais le ralentissement d'été s'accroîtrait dès le futur proche et encore plus dans le futur lointain. Ces résultats sont conformes à ce qui a été vu dans des études antérieures sur le changement climatique (ACTA-CC, Climator).

N.B. : Les rendements présentés ici sont des rendements bruts, sans pertes à la récolte et en prenant en compte les quelques centimètres laissés au champ par les animaux ou à la récolte. Par ailleurs, il s'agit de moyennes sur 30 ans, qui cachent donc la diversité des années prises individuellement.



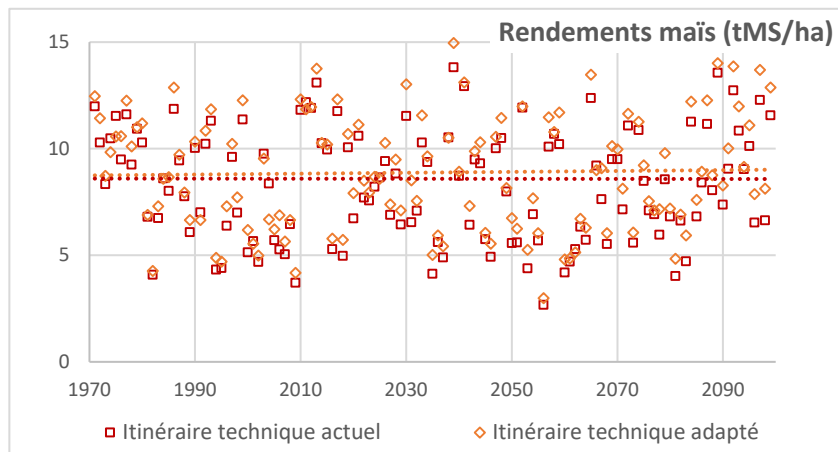
a) pousse d'une prairie à base de graminées sur sol superficiel, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée ;  
 b) pousse d'une prairie à base de graminées sur sol profond, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée ;  
 c) cumul d'herbe disponible par mois, en moyenne sur les deux sols.

## Maïs

Les simulations sont réalisées pour plusieurs itinéraires techniques correspondant aux pratiques actuelles des éleveurs de la zone, et à des variantes imaginées en lien avec les prévisions d'évolution du climat. Des variétés précoces (indice 220-290) ou demi-précoces (indice 260-330) sont utilisées, pour des semis le 10 mai (date actuelle) ou le 25 avril, avec ou sans irrigation, sur le sol profond présenté précédemment.

Par la suite, on parle d'itinéraire technique actuel pour une variété précoce semée le 10 mai, et d'itinéraire technique adapté pour une variété demi-précoce semée le 25 avril.

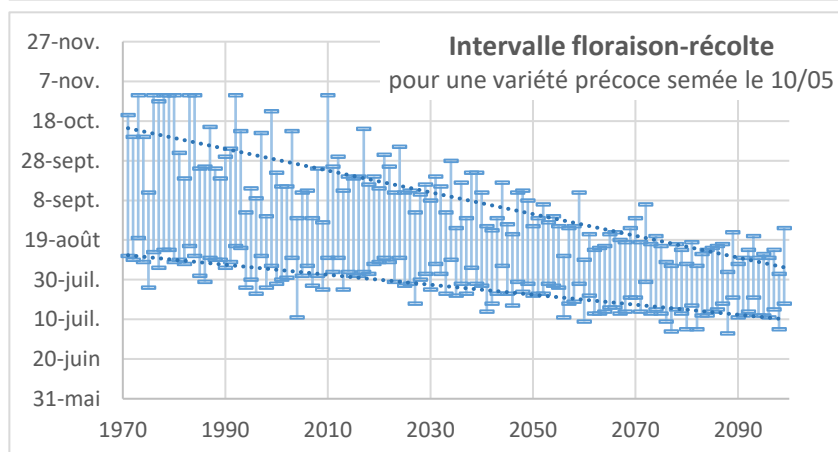
D'autres simulations ont été réalisées, en combinant une dérobée (Ray-grass italien) et un maïs, pratique de plus en plus fréquente dans la zone.



Les simulations ne montrent ni hausse ni baisse des rendements moyens. Ceci est à relier avec la compensation des effets négatifs du changement climatique par l'effet positif direct de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

En revanche, la variabilité inter-annuelle, déjà marquée par le passé, se maintient voire s'amplifie dans le futur.

On note par ailleurs que les rendements avec l'itinéraire technique adapté (variété plus tardive semée plus tôt) sont généralement supérieurs à ceux obtenus avec l'itinéraire technique actuel.



Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces, et l'intervalle autour de la floraison lors duquel la sensibilité au stress hydrique est maximale serait de plus en plus court (cela peut expliquer en partie la légère augmentation de la variabilité inter-annuelle : si cet intervalle est de plus en plus court, tout peut se jouer en très peu de temps).

L'augmentation des températures au printemps permettrait également d'envisager la culture d'une dérobée avec un bon rendement, toujours avec une certaine variabilité. En revanche, la variabilité du rendement du maïs qui la suit serait accrue. En fin de siècle, la dérobée produirait même parfois autant, voire plus, que le maïs qui la suit, notamment lorsque l'eau est limitée.

## Un exemple de légumineuse : la luzerne

*La luzerne est à ce jour la seule légumineuse fourragère modélisable avec STICS. C'est donc celle qui a été prise comme exemple. Les simulations ont été réalisées sur le sol profond décrit précédemment, pour un itinéraire technique à 4 coupes « visées » : le modèle est paramétré pour réaliser les coupes lorsque le cumul de températures dépasse un seuil préalablement fixé pour chaque itinéraire technique, à condition que la quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les 4 coupes ne sont pas systématiquement réalisées.*

*Par ailleurs, il s'agit de simulations pour une luzernière déjà installée, qui ne prennent donc pas en compte l'année d'installation ni la « fin de vie » de la luzernière.*

Les simulations montrent des rendements cumulés qui seraient globalement en hausse, avec une variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

Ce gain de rendement cumulé est à relier à l'évolution des conditions de printemps qui, comme pour la prairie, permettraient un démarrage en végétation et donc des premières coupes plus précoces.

D'autre part, l'augmentation des températures permettrait d'accélérer la croissance des plantes (la luzerne est moins affectée par les températures élevées que les graminées, tant que suffisamment d'eau est disponible), donc la fréquence des coupes, et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

Le détail des rendements cumulés en fonction du nombre de coupes et de leur espacement dans la saison montre des rendements assez proches. Les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté et du temps de travail nécessaire.

Pour autant, dans la zone du Haut Beaujolais comme dans d'autres zones du département, les sols ne permettent pas d'implanter de la luzerne seule. Celle-ci, comme d'autres légumineuses (les trèfles notamment), peut cependant être intégrée dans des prairies multi-espèces.

Les simulations réalisées mettent en évidence une évolution de la répartition de l'herbe disponible au cours de l'année : le démarrage en végétation est de plus en plus précoce, tandis que le creux de production en été s'accroît et se prolonge. La reprise à l'automne intervient de plus en plus tard. La saison de pâturage s'allonge donc au début du printemps et à l'automne, mais avec une rupture plus marquée en été.

Les conditions climatiques prévues pour le futur sont favorables à la luzerne : les rendements cumulés augmentent, avec une nette avancée des dates de coupes.

En ce qui concerne le maïs, les rendements moyens sont globalement stables, mais leur variabilité reste importante. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.



## Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

### Le système traité

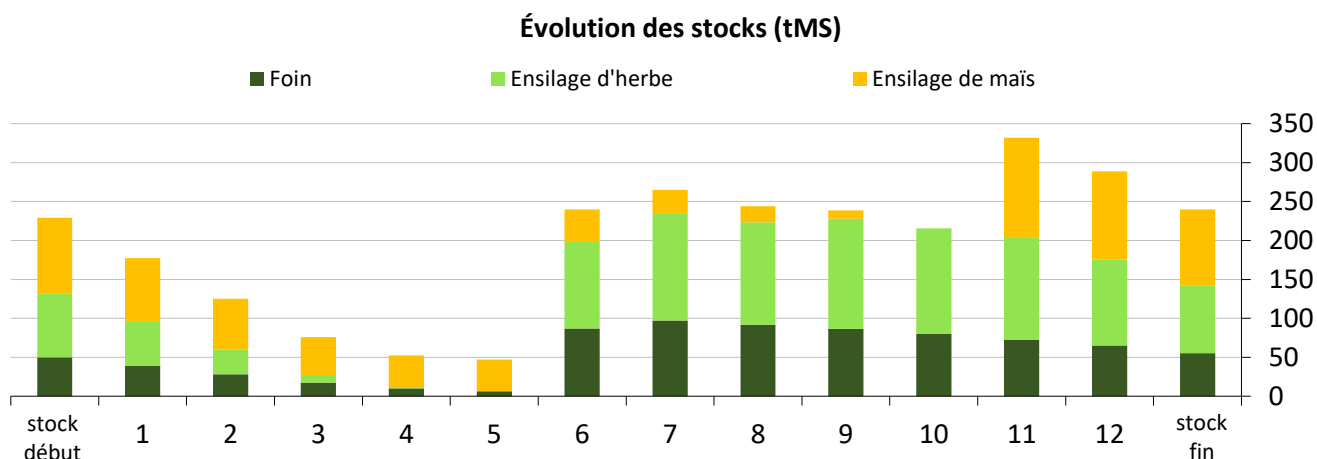
Il s'agit d'une ferme de 115 ha de SAU, dont 50 ha de prairies naturelles, 37 ha de prairies temporaires, 14 ha de maïs ensilage et 14 ha de triticale. Le troupeau est constitué de 73 vaches à 7 500 litres de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages à 29 mois. 22 génisses sont élevées chaque année.

En hiver, la ration des vaches laitières est composée d'ensilage d'herbe (47 %), d'ensilage de maïs (41 %) et le reste en foin de graminées. Au printemps, les vaches sont au pâturage et consomment un peu d'ensilage d'herbe et de foin. En été et automne, lorsque la production d'herbe est plus faible, la pâture ne couvre plus que la moitié des besoins, le reste étant apporté par de l'ensilage de maïs (40 % de la ration distribuée), de l'ensilage d'herbe (40 %) et du foin (20 %).

Les génisses sont au pâturage dès que c'est possible, avec un complément de foin lorsque la production des prairies n'est pas suffisante. En hiver, leur ration se compose de foin et d'ensilage d'herbe. Elles basculent sur la ration des vaches laitières lors des dernières semaines avant leur premier vêlage.

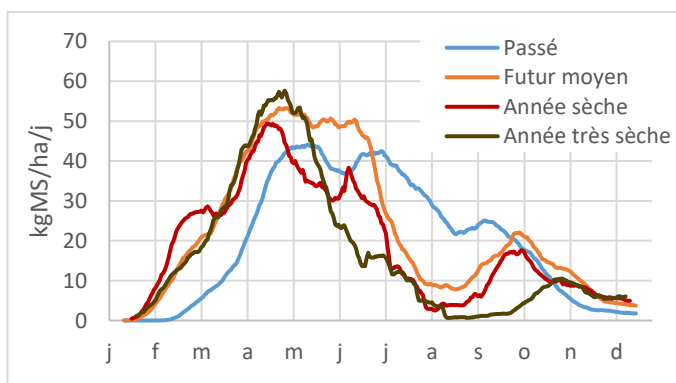
Ce système nécessite 140 tMS d'ensilage d'herbe, 140 tMS d'ensilage de maïs et 95 tMS de foin par an. 100 tonnes de paille sont par ailleurs nécessaires pour la litière.

Le système a été calibré dans le climat du passé pour que le stock de fourrages en fin d'année soit au même niveau qu'en début, sans qu'il n'y ait de rupture au cours de l'année. La dynamique des stocks est la suivante :



### Le climat

Ce système a été confronté à plusieurs contextes climatiques différents. Dans un premier temps, il a été paramétré et équilibré dans le climat moyen de la **période de référence 1971-2000**. Ensuite, à l'aide du Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la **période 2065-2095**. Ce nouveau système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par une sécheresse importante (« **année sèche** »). À la demande des participants, le système a par la suite été confronté à une sécheresse encore plus marquée (« **année très sèche** »). La figure ci-contre présente les courbes de croissance de l'herbe dans chacun de ces contextes climatiques.



## Les adaptations envisagées

### Dans le futur (année moyenne 2065-2095)

Sans adaptation des pratiques, la modification de la courbe de croissance des prairies se traduit par un déficit d'herbe à pâturer en été, et des excédents au printemps. Il est possible de récolter des quantités plus importantes d'ensilage d'herbe (+ 18 tMS) et de foin (+ 29 tMS). Ces évolutions sont à relier à l'augmentation des températures au printemps et à l'effet CO<sub>2</sub>. La production de maïs fourrage reste stable. Le chargement corrigé augmente et atteint 1,3 UGB/ha SFP.

Face à cela, les participants évoquent en premier lieu la possibilité de faire des stocks afin de pouvoir gérer une mauvaise année. Lorsque le parcellaire le permet, certaines prairies pourraient être retournées pour implanter des céréales (qui ont besoin d'eau au printemps, quand il y en a généralement encore dans les sols) afin d'aller vers l'autonomie en paille et en grain. Les rations des vaches laitières et des génisses ont été adaptées en anticipant la mise à l'herbe. Cela permet également de diminuer légèrement les besoins en maïs fourrage. Le déficit d'herbe en été est comblé en pratiquant du report sur pieds. Finalement, 7 ha de SFP peuvent être libérés au profit de triticale.

### Dans le cas de l'année sèche

Les reports sur pieds ne suffisent plus à combler le déficit d'herbe estival, il faut apporter du foin aux génisses. Il manque environ 10 tMS d'ensilage de maïs, 10 tMS d'ensilage d'herbe et 15 tMS de foin pour équilibrer le bilan fourrager, soit - 10 % des besoins en stocks.

### Dans le cas de l'année très sèche

La production des prairies ne couvre plus les besoins de mi-juillet à fin octobre. Il faut rentrer les vaches et repasser sur la ration hivernale dès la mi-août (elles pourront ressortir quelques semaines en automne), et compléter les génisses.

Pour ce faire, il manque 20 tMS de foin, 35 tMS d'ensilage d'herbe et 40 tMS d'ensilage de maïs, soit - 25 % des besoins en stocks.

Face à cela, des réactions à court terme sont possibles, comme l'achat de fourrages ou la vente d'animaux. Des pistes d'adaptation à moyen ou long terme sont également envisageables.

## Cultures fourragères

- Les méteils peuvent être distribués aux génisses, voire même aux vaches laitières si le niveau de production visé est modéré. On peut pour cela le récolter tôt pour obtenir un fourrage de bonne qualité et le distribuer avec de la luzerne. Dans tous les cas, il est nécessaire d'adapter la composition du mélange aux objectifs de l'éleveur. Des échanges de semences de ferme pourraient être mis en place pour limiter les coûts. Du point de vue agronomique, les méteils demandent moins d'eau que le maïs, et il est souvent possible de semer la culture suivante directement après la récolte, sans labour. Même lorsqu'un labour est nécessaire, il est généralement facile car le sol est peu tassé.
- Du maïs à double fin pourrait être envisagé à l'avenir : on sème plus de maïs que nécessaire, et en fin de saison on ensile ce dont on a besoin, en fonction du rendement de l'année, et on récolte le surplus en grain. Mais actuellement les élevages de la zone sont limités en terres labourables, ce levier ne serait possible qu'avec des agrandissements majeurs.
- Le sorgho peut remplacer le maïs dans certaines parcelles. Différents types de sorgho sont évoqués : sorgho grain ensilé, sorgho fourrager multicoups... Ce dernier peut être implanté derrière une orge puis pâturé ou récolté et distribué en vert afin d'éviter de consommer l'été les stocks qui étaient prévus pour l'hiver, ou de limiter la consommation de ces stocks. Certains éleveurs estiment que dans la zone, ceux qui ne peuvent pas irriguer vont probablement arrêter le maïs dans les années à venir. Dans le Haut Beaujolais, les éleveurs sont dans une dynamique de mise en place d'irrigation, quand la topographie de l'exploitation le permet.
- D'autres espèces fourragères ont été citées : colza fourrager à récolter en vert, trèfles (de Perse ou d'Alexandrie), avoine (stérile ou du Brésil), seigle forestier, moha...
- Les pratiques de pâturage sont aussi à optimiser et à adapter aux conditions : par exemple, un pâturage soutenu peut densifier les talles, inversement lors des secs d'été, il convient de réduire les surfaces pâturées voire rentrer les animaux afin de réduire les piétinements qui détruisent le couvert et limitent les capacités de repousses.
- Pour les prairies temporaires, les éleveurs utilisent de plus en plus des prairies multi-espèces (PME) plus aptes à réagir et à s'adapter aux aléas climatiques : périodes très sèches, périodes froides, périodes pluvieuses, etc. (cf. travaux PEP Bovins Lait 2007-2019).

### Leviers zootechniques

- Les animaux eux-mêmes pourront être adaptés aux nouvelles conditions climatiques : le choix des races (la Jersey a notamment été citée) ou le croisement de races peut permettre de gagner en rusticité.

### Protection des animaux contre les fortes chaleurs

- L'agroforesterie peut permettre d'améliorer le confort thermique des animaux au pâturage en été. Les éleveurs se demandent toutefois si le climat futur permettra aux arbres de se développer d'une part, et comment la concurrence entre l'arbre et la prairie va évoluer. Ils mentionnent également les risques sanitaires : développement des tiques et maladies associées dans les prairies permanentes extensives avec ligneux. Certains affirment que la constitution de haies ou bosquets imposent des choix d'espèces qu'il convient de connaître, de raisonner.
- Toujours pour améliorer le confort thermique des animaux, ils évoquent la ventilation, la brumisation (avec les réserves sanitaires), l'isolation des bâtiments, l'implantation des bâtiments à envisager plutôt en versants exposés nord.

### Stock de sécurité

- Enfin, le stock de sécurité reste un puissant levier de sécurisation, qui est déjà largement pratiqué dans la zone. Cela demande d'extensifier son système plutôt que de saturer l'outil pour amortir les charges de structure. Les éleveurs notent que quand les nouvelles installations ne compensent pas les départs, cela peut conduire à une diminution du chargement global, c'est ce qui s'est déjà produit par le passé dans la zone (et est constaté sur les suivis de fermes de référence).

Diverses questions et inquiétudes ont aussi été soulevées :

- L'implantation des prairies et la préparation des sols avant les semis de maïs risquent d'être rendues plus difficiles si les phénomènes de sécheresse se multiplient.
- L'organisation du travail devra, elle aussi, être revue avec l'accélération des cycles et le rétrécissement des fenêtres de récolte.
- La question des ravageurs des cultures et des maladies des animaux a également été soulevée.
- Comment la consommation de produits laitiers va-t-elle évoluer ? Les consommateurs mangent déjà moins de fromage lorsqu'il fait chaud... Et la consommation de lait diminue progressivement, sauf en bio.
- Les demandes sociétales sont parfois contradictoires avec les constats de ce travail : attentes de voir moins de maïs, moins de phytosanitaires, moins d'irrigation, des approvisionnements locaux donc d'avoir plus d'herbe dans les paysages et des vaches dehors.

## Conclusions

### Évolutions tendanciennes

Sans l'effet CO<sub>2</sub>, cette zone serait affectée par une nette baisse des rendements dès le futur moyen (cf. annexe 4) : l'effet de l'évolution moyenne du climat est défavorable. En intégrant cet effet, l'effet du changement climatique sur les rendements devient globalement neutre voire positif (pour l'exemple de la luzerne), malgré le déficit hydrique estival qui s'accroît. Cependant, la variabilité des rendements reste importante et les conditions d'accès à ces ressources restent elles aussi variables d'une année sur l'autre.

Les simulations réalisées ont toutes été faites « à matériel végétal constant » mais celui-ci va évoluer, probablement dans le sens d'une meilleure résistance à la sécheresse ou d'une meilleure efficacité par rapport à l'eau disponible.

### Les aléas climatiques et la production fourragère

La zone du Haut Beaujolais est déjà confrontée à d'importants aléas climatiques comme les épisodes de sécheresse. L'irrigation, lorsqu'elle est possible, permet d'en atténuer les effets. Mais tous les éleveurs n'y ont pas accès, et des restrictions sont parfois imposées sur certains points de prélèvement.

Les éleveurs de la zone connaissent et testent déjà de nombreux leviers de sécurisation de leurs systèmes : gestion des stocks, diversification des ressources fourragères, contrats d'approvisionnement en fourrages auprès de céréaliers régionaux en plaine (01 ou 38) organisés par les coopératives...

### Valoriser l'herbe comme elle se présente

La période de production des prairies sera plus longue (mises à l'herbe plus précoces, fins de pâturages plus tardives), mais avec de fortes fluctuations : la valorisation des prairies demandera nécessairement une forte réactivité afin d'adapter la conduite de l'herbe en fonction de la dynamique de pousse observée, en constituant la majeure partie des stocks au printemps et en pâturant le plus tard possible en arrière-saison.

Le choix des espèces et des variétés dans les prairies multi-espèces est aussi un important levier pour étaler la production dans la saison, limiter la dégradation des prairies lors des épisodes de sécheresse et augmenter l'autonomie protéique.

### Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les vaches laitières de plus en plus souvent, et les pertes de production laitière que celui-ci entraîne. Les différents leviers pour y faire face (adaptation des bâtiments, agroforesterie, génétique, croisements...) sont connus et devront être mobilisés.

### Autres points de débat dans le département du Rhône

Bien que le groupe d'éleveurs ne les ait pas évoquées, d'autres idées et questions se débattent dans le département :

- les systèmes allaitants paraissent pour certains éleveurs plus adaptés à l'avenir que les systèmes laitiers, avec des systèmes fourragers plus robustes face aux aléas.
- l'irrigation, même si elle peut paraître coûteuse dans un système laitier, peut permettre la diversification vers d'autres productions en lien avec les demandes sociétales et locales (légumes et fruits par exemple) et donner plus de résilience aux entreprises de dimensions assez modestes dans le 69 par l'économie de gamme.

**Annexe 1 : Description de la méthodologie de l'étude CLIMALAIT****Quatre grandes phases d'étude.****1/ Définir des Unités Laitières AgroClimatiques.**

L'objectif est de définir des zones d'études pertinentes pour le programme. Une Unité Laitière présente une homogénéité pédoclimatique ainsi qu'en termes de potentiel fourrager, de systèmes d'élevage et d'évolution climatique. Ce zonage est une photographie de la diversité de la France :

- diversité climatique avec par exemple 710 mm seulement de précipitations annuelles pour certaines zones (plateau Calaisien, Boischaut), et 1 500 mm pour les plateaux du Jura
- diversité des structures d'exploitations laitières, illustrée par une taille moyenne de SAU (au RGA de 2010) de 50 ha (Monts du Lyonnais) à 271 (Plateau de Langres), ou un quota moyen (le dernier connu) allant de 90 000 litres (Beaufortin) à 453 000 (Chaurouze)
- diversité des modes de production : pratiquement que des prairies dans la zone des AOP savoyardes, et jusqu'à 65 % de maïs ou de sorgho dans la SFP des exploitations laitières béarnaises.

Une trentaine d'unités laitières agro-climatiques ont ainsi été définies.

**2/ Décrire les évolutions du climat, dans chacune des unités laitières agroclimatiques au travers d'indicateurs météorologiques et agroclimatiques (température, pluie, bilan hydrique...).**

Le futur climatique s'approche soit en prolongeant les tendances constatées, soit par simulation. Ce sont les grands laboratoires de recherche climatique du monde qui mettent au point les simulateurs de climat.

Avec le soutien de Météo-France, 3 d'entre eux ont été mobilisés : un français (le CNRM) – qui correspond aux données **Aladin** –, un Suédois (données **SMHI**), et un Néerlandais (**KMNI**). Nous présentons des calculs faits sur les périodes 1986-2015 (sert de base de comparaison), 2030-2059 (futur proche = P), et 2070-2099 (futur lointain = L) pour **Aladin** seulement.

Tous les modèles n'indiquent pas exactement la même chose, mais tous vont dans le même sens et prédisent un réchauffement dans le cadre du RCP 8.5, un scénario dans le cadre duquel les concentrations en gaz à effet de serre feraient plus que doubler d'ici la fin du siècle. Ces données simulées sont comparées à des données issues d'observations (désignées par « **obs** ») : il s'agit des données du modèle **SAFRAN**.

**3/ Évaluer les impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères et les systèmes d'élevage de chaque unité laitière agroclimatique.**

C'est le cœur du programme. Grâce aux simulations STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard), l'évolution prévue des rendements de cultures fourragères est analysée. STICS simule le fonctionnement d'un système comprenant le couvert végétal et le sol (la partie de sol colonisée par les racines). L'atmosphère au voisinage du système est représentée par un ensemble de variables climatiques.

Le paramétrage du modèle est adapté à chaque zone : les données climatiques sont issues du modèle **Aladin** pour un point choisi dans la zone étudiée, les itinéraires techniques sont définis et validés avec les conseillers du secteur, et les sols sont issus d'une base nationale. Ainsi sont évalués les impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères principales (maïs, prairie, luzerne).

**4/ Proposer des stratégies d'adaptation pour les systèmes d'élevages laitiers.**

Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil est donc un support de discussion pour le groupe, qui peut alors envisager des leviers d'adaptation et en visualiser les conséquences.

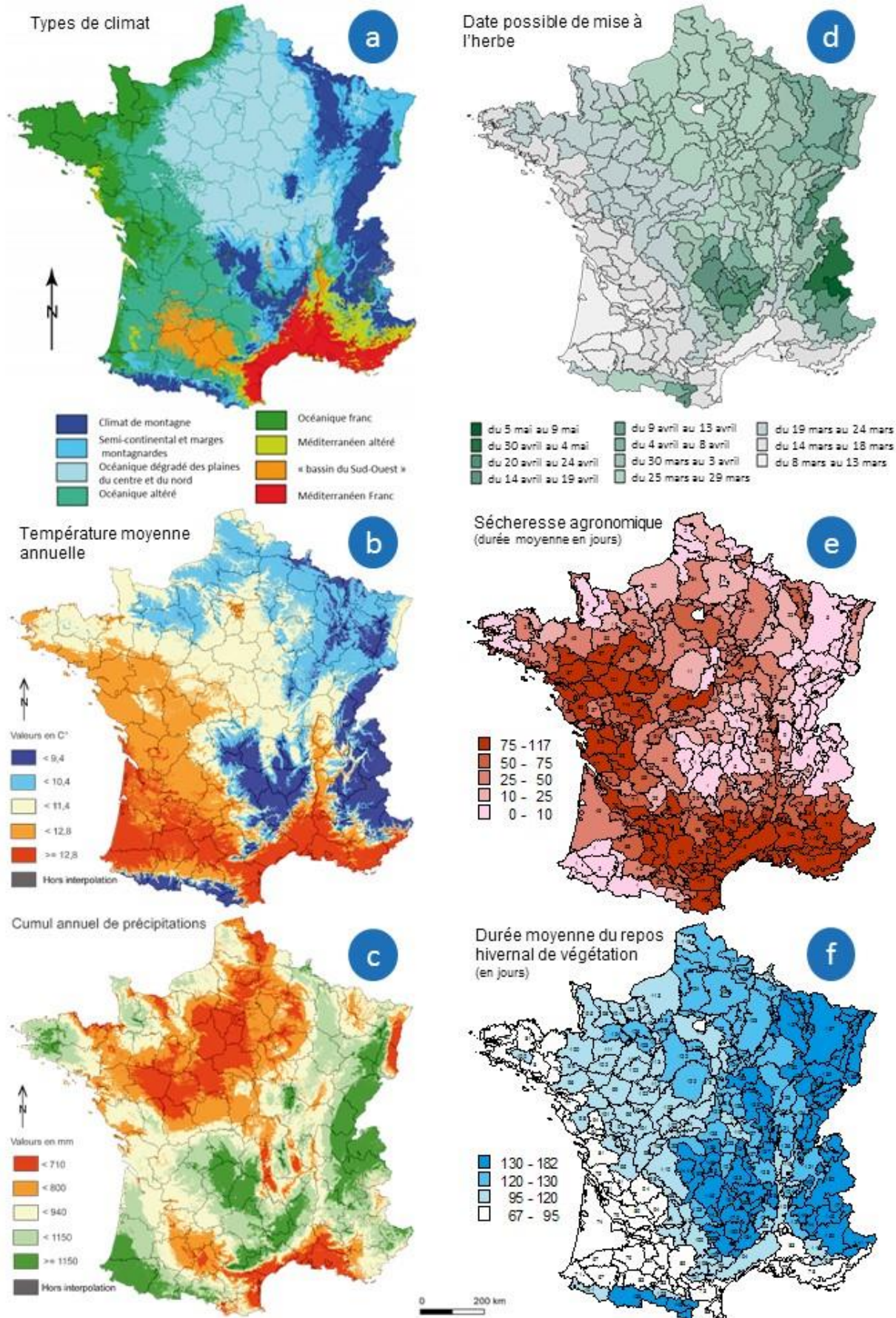
Pour les systèmes d'exploitation de chaque unité laitière agroclimatique, les besoins du troupeau laitier et les apports des cultures fourragères sont définis. Les équilibres sont analysés au travers de différents indicateurs.

Ce travail permet également de confronter les hypothèses émises par les experts de Climalait aux réflexions des éleveurs et des conseillers.

**Les résultats de l'étude se présentent sous forme de fiches de synthèse.**



## Annexe 2 : Climats de France et conséquences agronomiques



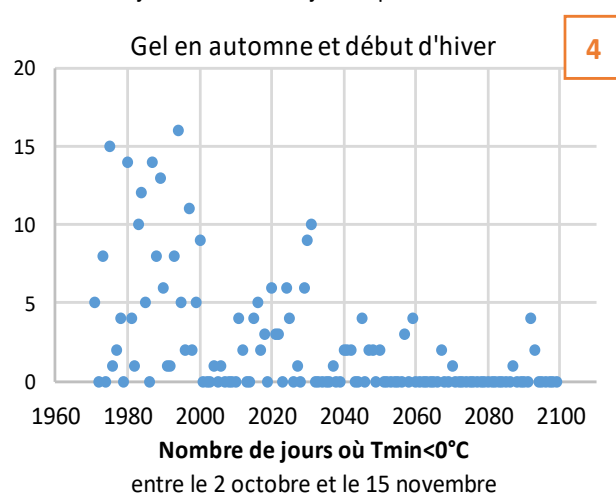
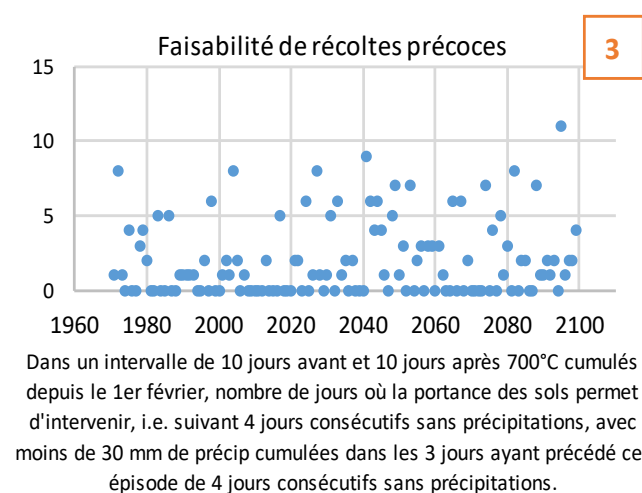
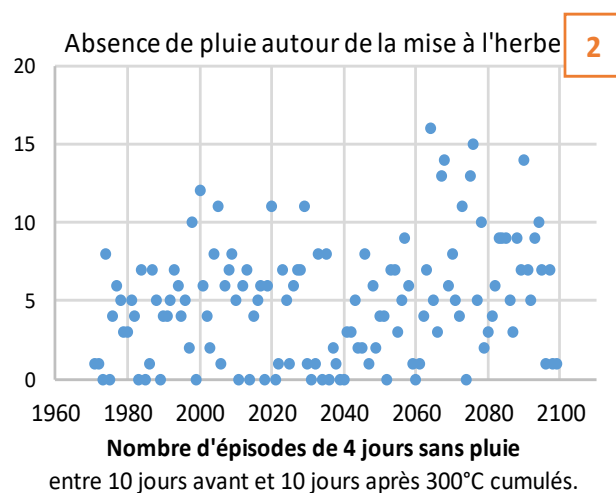
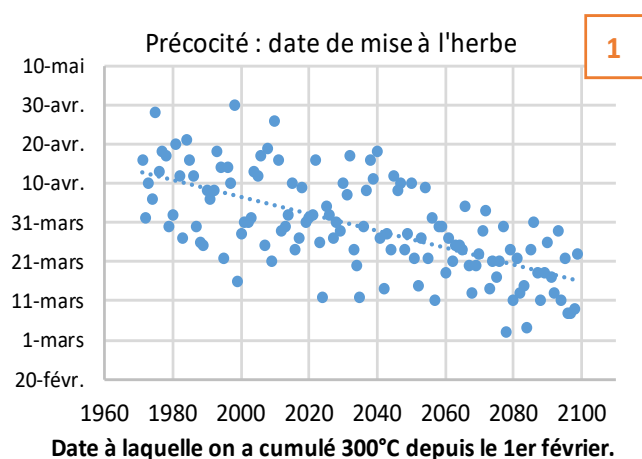
**Sources et méthodes** a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis le 1<sup>er</sup> février. e. La sécheresse agricole est définie comme la période durant laquelle la réserve utile est inférieure à 20% de la capacité au champ (point de flétrissement). f. La durée du repos hivernal de végétation est définie comme l'écart en jours entre la date d'arrêt de la pousse de végétation (température moyenne < 7°C) et la date de démarrage de végétation.

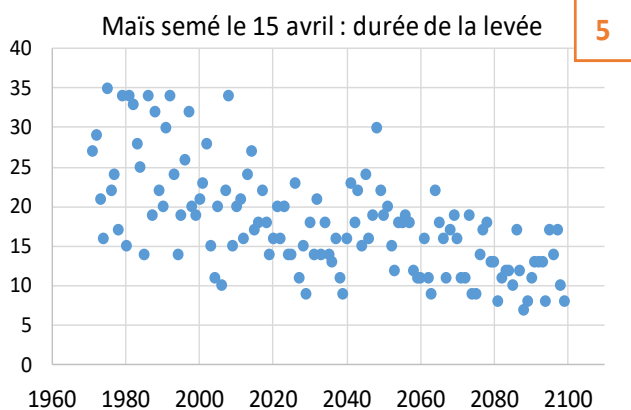
### Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

Au-delà des conséquences sur l'évolution des rendements des différentes cultures fourragères ou de la prairie, l'évolution du climat a aussi un impact sur les conditions d'accès à la ressource (facilitation du pâturage, réalisation des fauches ou de l'ensilage du maïs), ou sur les conditions de semis et de levée (maïs). On peut approcher ces impacts par le calcul d'indicateurs agroclimatiques, dans le passé comme dans le futur. On peut ainsi préciser ces impacts saison par saison.

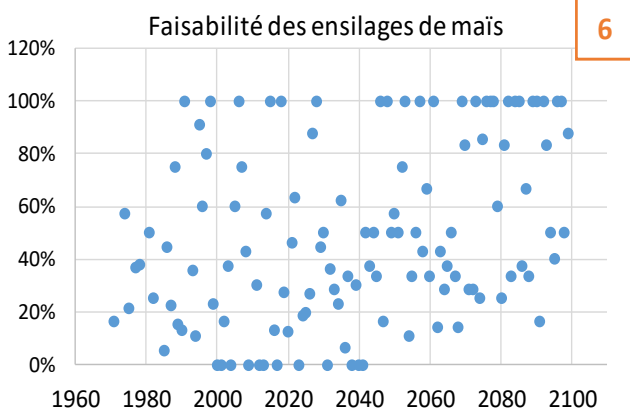
Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires à celles rencontrées actuellement, voire légèrement meilleures en fin de siècle [2]. En plein printemps, les conditions de réalisation des récoltes précoces (caractérisées par la présence d'épisodes de 7 jours consécutifs favorables au ressuyage du sol et à la réalisation de la fauche et du pré-fanage dans de bonnes conditions) resteraient également semblables aux conditions actuelles [3]. En fin de saison (du 2/10 au 15/11), les journées de gel diminueraient, permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe) [4]... En ce qui concerne le maïs, l'augmentation des températures diminuerait les risques de stress lié au froid lors de la levée [5], ce qui pourrait permettre des semis plus précoces. En fin de cycle, les conditions de récolte s'améliorent [6], alors que l'augmentation des températures accélère le dessèchement des grains et donc raccourcit la période optimale de récolte.

Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir [7] : évolution des épisodes caniculaires).

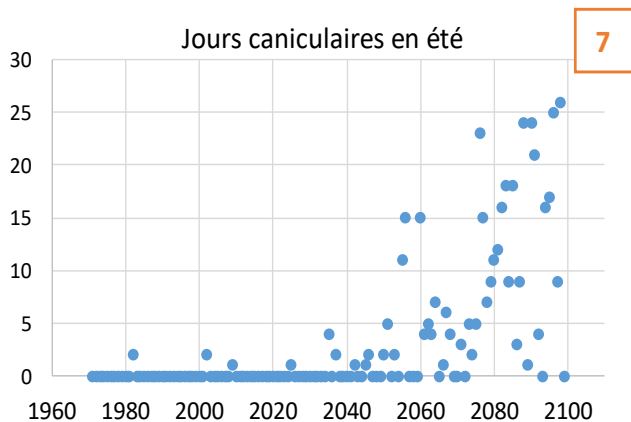




Nombre de jours nécessaires pour cumuler 80°C en base 6 à partir du 15 avril. En bonnes conditions, le maïs lève en 7 jours. Une levée en plus de 10 jours traduit un stress léger, une levée en plus de 20 traduit un fort stress (L. Maunas, Arvalis).



Pourcentage de jours où la récolte est possible (c'est-à-dire suivant un épisode de 5 jours sans pluie), entre les stades 30 et 35%MS, pour un maïs de catégorie SC semé le 15 avril. 100 signifie que tous les jours de la période sont praticables.



Nombre de jours avec Tmax > 35°C, entre le 5 juillet et le 20 août.

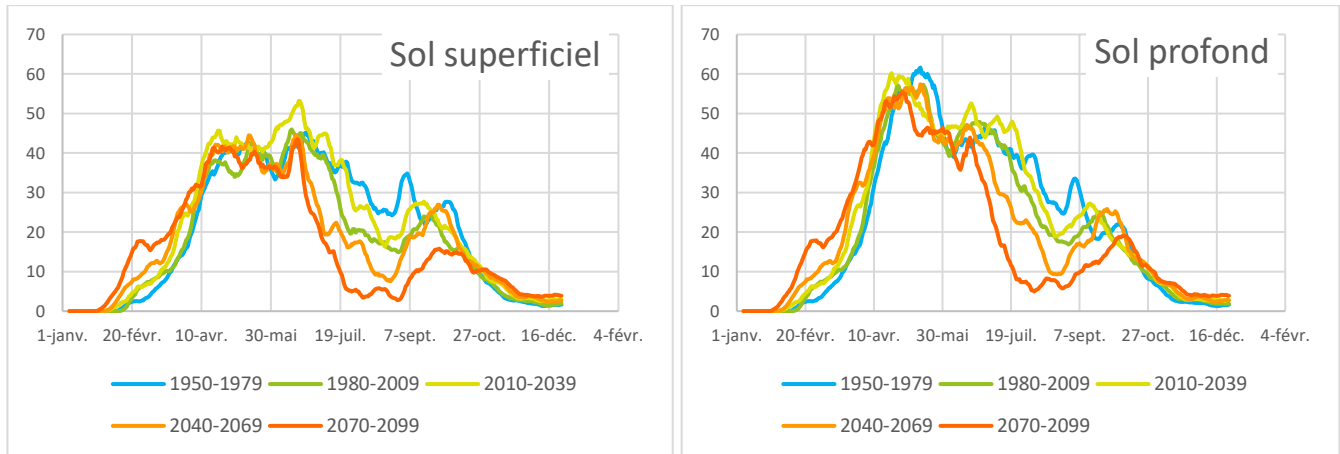


## Annexe 4 : L' « effet CO<sub>2</sub> »

De nombreuses études ont montré que l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère a un effet fertilisant sur les plantes. Chez les plantes dites en C3 comme les céréales et la majorité des plantes issues des milieux tempérés, l'efficacité de la photosynthèse augmente avec la concentration de CO<sub>2</sub>. Chez la plupart des espèces, l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> peut également induire une diminution des pertes d'eau par transpiration au niveau des feuilles.

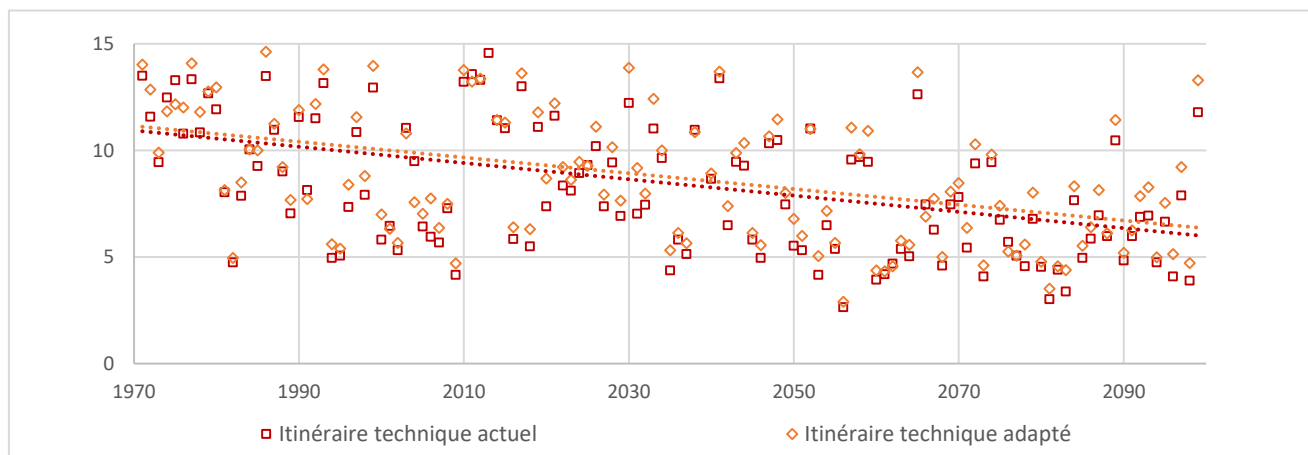
STICS, le modèle de culture utilisé dans le projet CLIMALAIT, prend en compte la concentration en CO<sub>2</sub>, en plus de divers paramètres climatiques. Il fait ainsi la synthèse des conséquences défavorables du changement climatique (sécheresse, canicule...) et des conséquences favorables (effet CO<sub>2</sub>). Les résultats présentés dans ce document sont issus de ce type de simulations, avec les taux de CO<sub>2</sub> prévus par les experts du GIEC dans le cadre d'un scénario sans politique climatique (RCP 8.5). Au contraire, et à titre de comparaison, les graphiques présentés ci-dessous sont issus de simulations à taux de CO<sub>2</sub> fixe, toutes choses étant égales par ailleurs.

### La prairie



Pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée

### Le maïs



Rendements obtenus avec l'itinéraire technique actuel (variété précoce semée le 10 mai) et un itinéraire technique adapté (variété demi-précoce semée le 25 avril).

Retrouvez tous les résultats du projet CLIMALAIT sur :

[cniel-infos.com](http://cniel-infos.com)  
(rubrique « Environnement »  
puis « Changement  
climatique »)

[climalait.idele.fr](http://climalait.idele.fr)



Rédaction : Jean-Christophe Moreau (*Idele*), Aurélie Madrid (*Idele*).

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Véronique Bouchard (*Chambre d'agriculture du Rhône*), Thierry Brun (*Idele*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : F. Joly, CNIEL

Version : Octobre 2020

*Remerciements aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail.*

**Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'un Projet de recherche initié par le CNIEL, mené conjointement avec ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'agriculture (ici, du Rhône), l'INRA, l'Institut de l'Élevage et Météo-France, avec le concours financier du CNIEL et de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.**

Climalait, un projet de recherche initié par le CNIEL et mené par

Avec le concours financier de

