



# CLIMAVIANDE

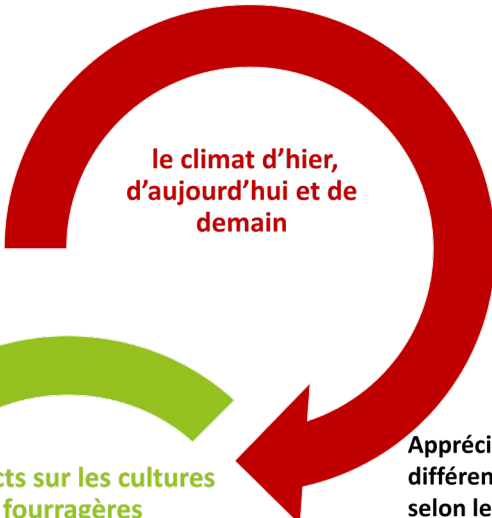
L'élevage bovin allaitant confronté au changement climatique :

- Comment le climat va changer ?
- Avec quelles conséquences sur les animaux et sur les cultures fourragères ?
- Comment s'y adapter ?

## Le cas de l'Autunois, dans le nord-ouest de la Saône-et-Loire, au cœur du bassin Charolais

INTERBEV, l'Interprofession Bétail et Viande, a financé en 2018-2019 un projet similaire à Climalait et appelé Climaviande, visant à évaluer les impacts du changement climatique sur quelques systèmes d'élevage bovin viande français, avec l'objectif de fournir aux éleveurs et aux conseillers de la filière les moyens de réfléchir à différentes pistes d'adaptation et de mieux appréhender les différentes dimensions du changement climatique. L'Institut de l'Élevage, à qui a été confiée cette étude, a créé ou mis au point avec ses partenaires (Arvalis, l'INRA et Météo-France) et au cours de projets précédents différents outils et méthodes qui permettent de se projeter dans le futur avec des groupes d'éleveurs, selon le schéma et les étapes présentées ci-dessous.

Décrire les tendances climatiques, selon modèle, scénario et horizon de temps

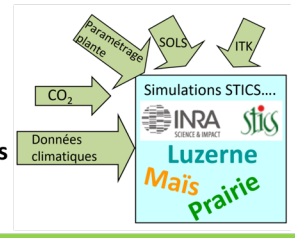
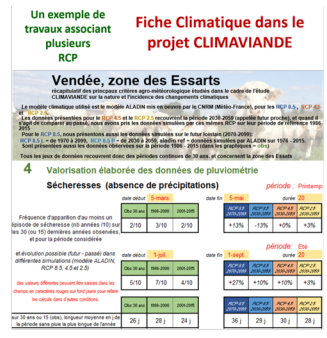


le climat d'hier, d'aujourd'hui et de demain



Impacts sur les cultures fourragères (rendements, Conditions d'accès à la ressources, dates de semis et récoltes)

Apprécier les différences d'impacts selon les cultures, Evaluer les aléas (fréquences et conséquences) Identifier les déroulements climatiques à problème (s)



interface d'exploration des conditions d'accès à la ressource et des aléas climatiques de production



Dégager des pistes d'adaptation, les évaluer collectivement en soumettant un système à un climat différent



Intégration dans les systèmes: conséquences par rapport à résilience, résistance, facultés d'adaptation



## Quelques éléments de méthode

### Le choix des zones

3 zones ont été proposées pour l'étude, d'Est en Ouest: le bassin Charolais, le bassin Limousin et Pays de Loire. Par rapport au bassin Charolais, nous avons choisi la Saône-et-Loire, et plus précisément sa zone nord-ouest, au pied du Morvan (zone d'Autun). La Chambre d'Agriculture a été sollicitée pour être le partenaire local de l'étude.

### La description des évolutions du climat, 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.

Nous avons mobilisé les données du Centre National de la Recherche Météorologique (Météo-France) dont le simulateur s'appelle **Aladin**.

Caractéristiques principales des RCP (Moss *et al*, Nature 2010)

Les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP : representative concentration pathway) sont des scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300.

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	>8,5Wm <sup>2</sup> en 2100	>1370 eq-CO <sub>2</sub> en 2100	Croissante
RCP 6.0	~6Wm <sup>2</sup> au niveau de stabilisation après 2100	~850 eq-CO <sub>2</sub> au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 4.5	~4,5Wm <sup>2</sup> au niveau de stabilisation après 2100	~660 eq-CO <sub>2</sub> au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 2.6	Pic à ~3Wm <sup>2</sup> avant 2100 puis déclin	Pic ~490 eq-CO <sub>2</sub> avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin

Le forçage radiatif, exprimé en W/m<sup>2</sup>, est le changement du bilan radiatif (rayonnement descendant moins rayonnement montant) au sommet de la troposphère (10 à 16 km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat comme la concentration des gaz à effet de serre. La valeur pour 2011 est de 2,84 W/m<sup>2</sup>.

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). Le modèle **Aladin** est mis en œuvre par le CNRM sur plusieurs scénarios climatiques, appelés RCP, qui correspondent à des niveaux d'émission de GES (Gaz à Effet de Serre) différents comme indiqué dans le tableau ci-dessus. Ces données librement accessibles sur le serveur public (DRIAS) du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire ont été complétées par le calcul de l'ETP selon les normes de Météo-France. Au côté des données simulées, pour les mêmes zones, nous avons acquis et valorisé des données

issues d'observations (désignées par « **obs** »): il s'agit des données mises à disposition par l'Union Européenne sur son serveur agri4cast.

### L'évaluation des impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères

C'est le cœur du programme.

La modélisation est une approche judicieuse pour étudier les conséquences du changement climatique, elle a maintenant été utilisée dans plusieurs projets. Nous avons utilisé le logiciel STICS (Simulateur multiDisciplinaire pour les Cultures Standard), sur la période 1970-2100, pour la prairie, le maïs, la luzerne voire des rotations raygrass-maïs. Les données climatiques que nous avons utilisées sont issues du modèle Aladin dans le cadre du RCP 8.5 (le scénario du pire). Les sols pris en compte sont représentatifs de ceux de la région étudiée. De même, les itinéraires techniques sont ceux pratiqués dans la zone, ou qui pourraient l'être dans un futur plus ou moins proche (semis de maïs plus précoces, choix de variétés plus tardives, déprimage des prairies, ajout d'une coupe supplémentaire par rapport aux pratiques actuelles...).

Le paramétrage du modèle STICS prend en compte les différents effets du changement climatique sur les mécanismes physiologiques du développement des plantes, y compris les effets d'un taux plus élevé de CO<sub>2</sub> sur l'efficacité de la photosynthèse et sur la réduction de la transpiration. Ces mécanismes ont été expliqués aux éleveurs. Les itinéraires techniques ont été définis de façon à pouvoir s'adapter aux évolutions climatiques: concernant la prairie et la luzerne, les coupes sont déclenchées lorsqu'un cumul de températures préalablement fixé est atteint, s'il y a assez de biomasse.

Outre qu'elles permettent de mettre au jour les évolutions tendancielles, ces simulations ont été utilisées pour nourrir le module de sélection des profils climatiques qui a été utilisé pour sélectionner les années problématiques à étudier sur le futur, et aussi pour la fabrication des pièces de jeu du Rami fourrager® pour les années correspondant aux choix du groupe d'éleveurs.

### Les conséquences à l'échelle des systèmes d'élevages, la recherche de voies d'adaptation

Les partenaires de cette étude ont souhaité qu'il y ait un temps de partage de leurs conclusions avec les acteurs de terrain: il ne s'agissait pas seulement de mobiliser des modèles et de réaliser des simulations sur le futur validées entre scientifiques. C'est pour cette raison que nous avons utilisé l'outil de partage et de co-conception de systèmes dénommé Rami Fourrager®.

Cet outil apprécié des éleveurs est un jeu de plateau imaginé au départ par l'INRA et 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.

## L'élevage dans l'Autunois

L'élevage en Autunois est caractérisé par un système fourrager dominé par l'herbe (80 % environ en prairies permanentes). Les chargements sont plutôt extensifs (< 1.2 UGB / ha dans la majorité des cas).

L'élevage dominant est la production de vaches allaitantes Charolaises, mais il y a aussi une production traditionnelle d'ovins et de caprins (en production fromagère).

Pour les allaitants, les vêlages sont ciblés sur les 3 premiers mois de l'année, mais avec un objectif d'étalement de la production, les choix des éleveurs se sont diversifiés : vêlages d'automne pour certains et vêlages de début d'hiver pour d'autres.

Les éleveurs qui ont participé à notre réflexion représentent les 3 périodes (les vêlages sont groupés dans la majorité des cas). La majorité des éleveurs vendent leurs mâles en broutards plus ou moins alourdis, quelques-uns engraisent des « babys » : ceux qui sortent tous leurs animaux en gras en général.

Les femelles, par contre, ont des débouchés très diversifiés : de la laitonne à la génisse de 3 ans grasse, avec des vaches de réforme engraisées en partie.

Les systèmes avec engraissement recherchent l'autonomie énergétique avec la production de céréales et de l'ensilage de maïs. En système de production de maigre, également, aux côtés de systèmes 100 % herbe.

## Le climat aux alentours d'Autun

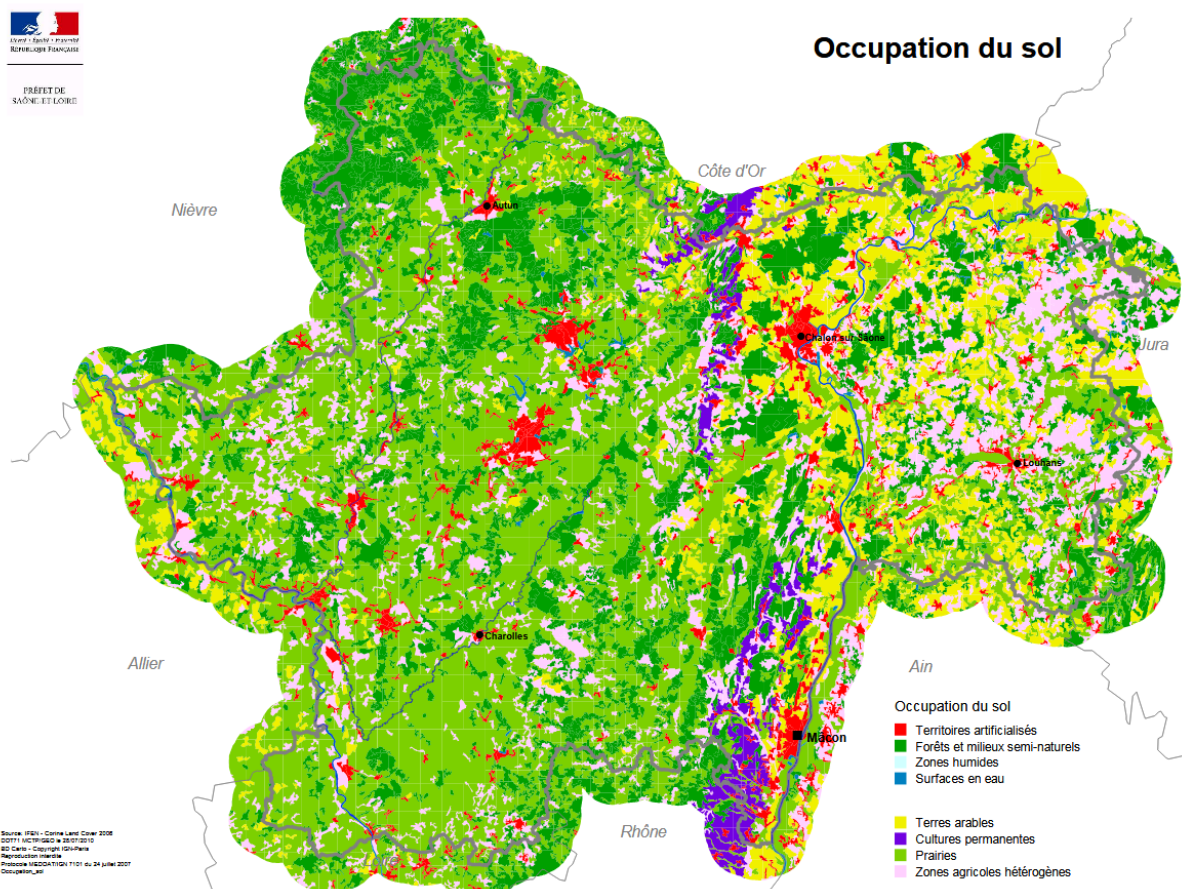
### Le climat actuel

Voir cartes en annexe.

La zone d'Autun bénéficie d'un climat dit « semi-continentale » (carte a), avec des températures moyennes assez basses (carte b) qui induisent un arrêt de végétation hivernal significatif (carte f) et donc un démarrage de la végétation (caractérisé par la date d'arrivée à 300° jours à partir du 1<sup>er</sup> février, carte d) relativement tardif par rapport aux autres zones de plaines en France.

Avec un cumul annuel de précipitations proche de 850 mm (carte c), la zone fait partie des zones plutôt bien arrosées. La répartition saisonnière, avec un maximum en mai juin, est plutôt favorable à l'expression d'un bon potentiel de pousse au printemps. L'été, en comparaison à d'autres zones allaitantes de France plus à l'Ouest est relativement bien arrosé (des cumuls moyens de 70 mm en juillet et août sur la période 1986-2015).

Il en résulte une durée de la sécheresse agronomique estivale parmi les plus faibles, en dehors des zones de montagne (carte e).



## Évolution récente du climat

L'évolution de la température moyenne annuelle dans la zone d'Autun est relativement faible: en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 0,3 °C. C'est 3 fois moins que plus au sud du département, à Mâcon.

Les températures semblent s'être accrues essentiellement sur le printemps et l'automne.

En cohérence avec la faible élévation des températures, on note une relative stabilité de l'ETP (Evapo-Transpiration Potentielle). L'évolution des précipitations est plutôt à la hausse, essentiellement en hiver et un peu l'été. L'automne a tendance à être moins arrosé. Il faut remarquer surtout la forte variabilité inter-annuelle du cumul de précipitations.

L'analyse saisonnière ne montre pas d'aggravation du déficit hydrique estival, au contraire. Seul l'automne est affecté d'une baisse de DH (Déficit Hydrique), mais celui-ci reste positif : le cumul des précipitations reste supérieur l'ETP, même si cette dernière a augmenté.

## Évolutions futures du climat

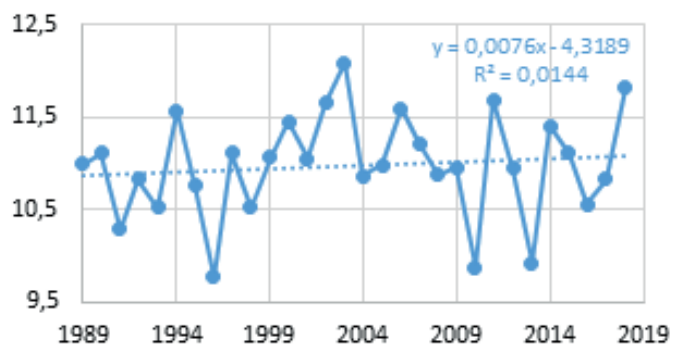
Nous présentons des calculs faits sur les **périodes 1986-2015** pour ce qui concerne les **données observées**, ainsi que les données du RCP 8,5 période **2030-2059 (futur proche = P)**, et période **2070-2099 (futur lointain = L)**. Les autres scénarios, **RCP 4,5** et **RCP 2,5**, ne sont pris en compte que sur le futur proche (2030-2059).

## Évolution des températures moyennes annuelles

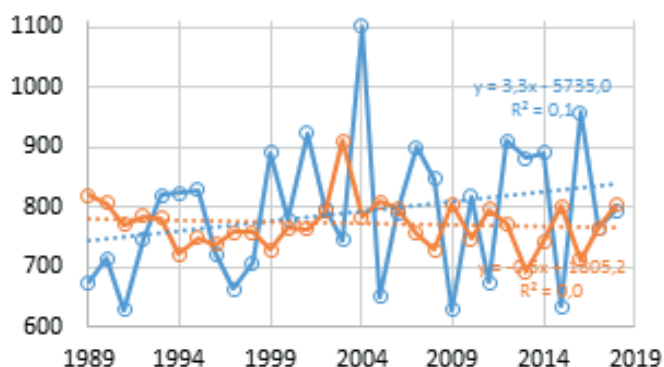
Quel que soit le scénario RCP, il prédit une augmentation de la température encore modérée (de l'ordre de 1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérerait rapidement pour atteindre + 4 °C par rapport au niveau actuel, dans le cadre du RCP 8,5 et en fin de siècle.

L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi, quand on évoque une température moyenne en hausse de 4 °C à l'échelle de l'année, en fin de siècle, ça signifierait +6,5 °C pour les maximales en été, et seulement + 2,5 °C pour les minimales en hiver. Il continuera à geler, mais moins, et le nombre de jours caniculaires sera en forte hausse (cf. annexe 3).

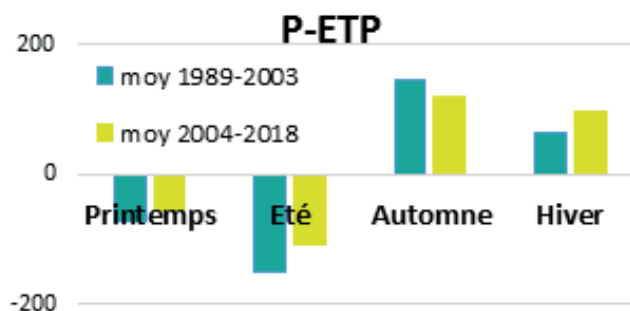
Évolution de la température moyenne annuelle de 1989 à 2018 (Données Agri4cast)



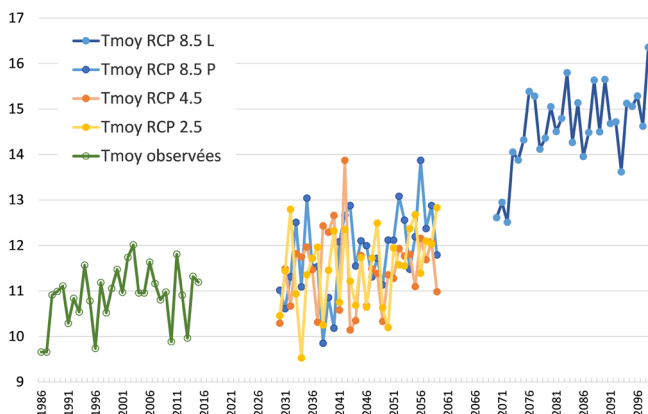
Évolution de l'ETP (en orange) et des précipitations (en bleu) en cumul annuels (mm) de 1971 à 2015 (Données Agri4cast)



Déficit hydrique (P-ETP) calculé par saison, et évolution entre la période 1989-2003 et la période 2004-2018 (Données Agri4cast)



Températures moyennes annuelles



Ces excès de température ont des conséquences sur les cultures mais aussi sur les animaux. On peut les approcher par le calcul d'un index (le THI pour Temperature Humidity Index). Le graphique suivant 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 par le passé : 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.

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 23 mars (une année sur deux entre le 19 et le 29 mars), elle pourrait passer aux alentours du 16 mars dans le futur proche (entre le 10 et le 25 selon les RCP), et du 6 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

#### 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 scénarios (RCP) climatiques

	RCP 8.5 2070-2099	RCP 8.5 2030-2059	RCP 4.5 2030-2059	RCP 2.5 2030-2059	Obs 30 ans	1986-2000	2001-2015
1 année sur 2 entre le ... et le ...	2-mars 11-mars	12-mars 25-mars	9-mars 24-mars	10-mars 23-mars	19-mars 29-mars	19-mars 2-avr	18-mars 29-mars
Médiane	6-mars	16-mars	18-mars	16-mars	23-mars	23-mars	23-mars

#### Évolution des précipitations

Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations vers la fin du siècle. Dans le futur proche, les 3 RCP examinés semblent même plutôt suggérer une augmentation des précipitations.

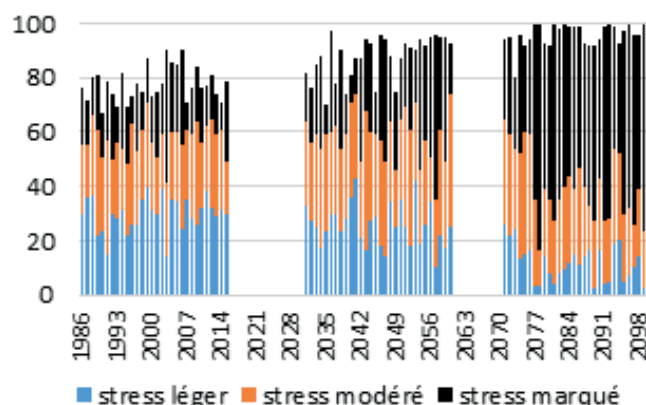
Ce qui domine, c'est surtout la très forte variabilité inter-annuelle, réelle dans le passé et qui se poursuivrait avec amplification dans le futur.

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.

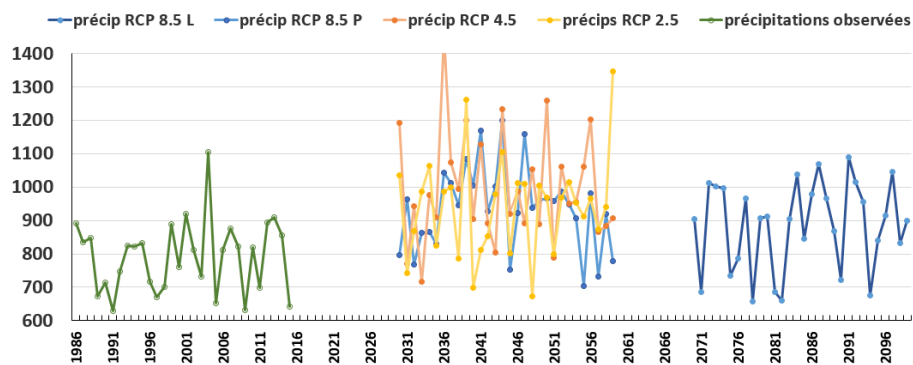
Pour chaque année, nombre de jours selon l'intensité du stress tel que mesuré avec le THI, de 1986 à 2015 (sur données observées) et sur le futur (modèle Aladin RCP 8,5)

$$THI (temperature Humidity Index) = 1,8 * Ta - (1 - HR) * (Ta - 14,3) + 32$$

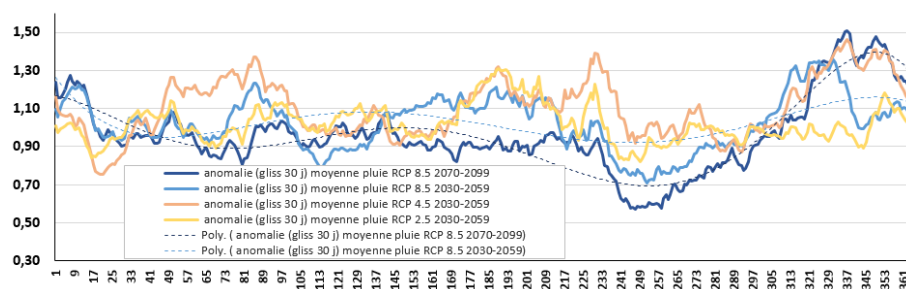
avec Ta = température ambiante, et HR = humidité relative



Cumuls annuels de précipitations observés de 1986 à 2014, et prévus dans les 3 RCP sur le futur, avec le modèle Aladin



Anomalies de précipitations (futur / ref sur passé)



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, il y aurait plus de précipitations l'hiver avec les RCP 8.5 et 4.5, tandis que le RCP 2.5 se traduirait par plus de pluies l'été. Le RCP 4.5 prévoirait aussi plus de pluies en fin d'été et au début du printemps. Le RCP 8.5 est le plus pessimiste par rapport aux pluies de fin d'été début d'automne, dès le futur proche, et plus encore dans le futur lointain.

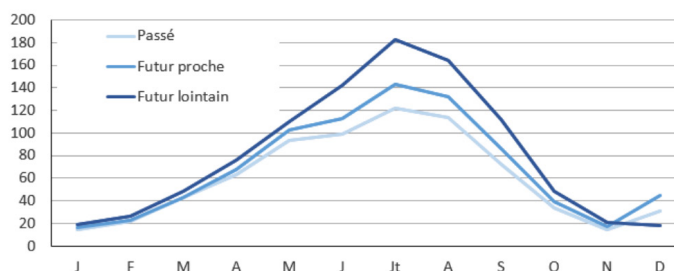
On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques de fin d'été plus fréquentes. Le tableau ci-contre indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur.

La sécheresse agronomique est le résultat d'un manque de précipitations et 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 (la faible profondeur de certains sols de la région accentuant d'autant plus le phénomène).

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) / passé) dans différentes simulations (RCP 2.5, 4.5 et 8.5)

	Obs 30 ans	1986- 2000	2001- 2015	RCP 8.5 2070- 2099	RCP 8.5 2030- 2059	RCP 4.5 2030- 2059	RCP 2.5 2030- 2059
au moins 20 jours sans pluie entre le 20/04 et le 10/06	1/10	2/10	1/10	-10 %	-10 %	0 %	-7 %
au moins 20 jours sans pluie entre le 15/08 et le 15/10	1/10	2/10	1/10	20 %	7 %	-3 %	-7 %

Cumul d'ETP mensuels (mm), modèle Aladin, RCP 8.5



Le climat de la région d'Autun se caractérise par des températures plutôt fraîches et des précipitations supérieures à ce qu'elles sont dans d'autres zones de la région. Elles sont également assez bien réparties.

Les températures moyennes sont en légère augmentation sur les dernières décennies mais dans le futur simulé, elles pourraient augmenter fortement, notamment en ce qui concerne les maximales. Au printemps, cette augmentation pourrait permettre d'avancer la mise à l'herbe. En été, elle se traduirait par une augmentation des épisodes caniculaires, qui impliquent un arrêt de la croissance de certaines espèces prairiales et un stress thermique plus ou moins marqué chez les animaux.

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre et cette variabilité se retrouve dans le futur. Tous les scénarios ne sont pas semblables quant aux évolutions saisonnières à envisager.

Dans le futur, l'augmentation de l'ETP, fortement liée à celle des températures et donc plus facile à prévoir, contribuera à accentuer l'importance et la précocité du déficit hydrique estival.

## 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 de CO<sub>2</sub> est à l'origine d'une augmentation des rendements pouvant aller jusqu'à 10 % dans le futur proche voire 20 % en fin de siècle (Étude ACTA-MIRES Ruget Moreau).

Les simulations ont été réalisées grâce au modèle de culture STICS, à partir des données climatiques issues du modèle Aladin pour le RCP 8,5, avec les itinéraires techniques de la zone, et sur trois types de sols.

### 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 deux types de sol. Les courbes de croissance présentées 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 plus précoce. Par conséquent, une mise à l'herbe plus précoce peut être envisagée. Cela confirme les calculs réalisés précédemment à partir des cumuls de températures.

D'autres indicateurs construits à partir de la pluviométrie autour de la mise à l'herbe (comme celui présenté ci-contre), montrent qu'en règle générale, les conditions climatiques rendront possible cette mise à l'herbe précoce et permettront de tirer profit de cette herbe de début de printemps.

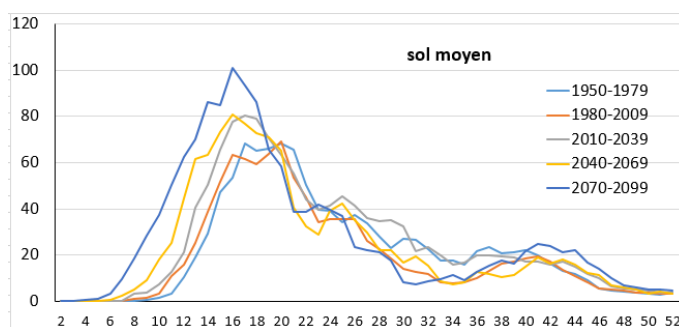
Dès la fin du printemps et tout l'été, les simulations montrent une croissance de l'herbe ralentie, et ce d'autant plus tôt qu'on va vers le futur lointain. Ce creux d'été, déjà marqué actuellement en sols superficiels, serait plus intense et plus long à l'avenir. Au contraire, les conditions automnales permettraient une reprise de la croissance de l'herbe à l'automne et au début de l'hiver, jusqu'à une date un peu plus tardive que ce qu'elle est actuellement.

En résumé, l'herbe pousserait plus tôt au printemps et plus tard à l'automne, mais avec un ralentissement d'été plus marqué. Ces résultats sont conformes à ce qui a été vu dans des études antérieures sur le changement climatique (ACTA-CC, Climator). De fait, s'il y a un gain possible de rendement dans le futur, celui-ci se ferait essentiellement par la période de printemps comme l'indique le graphique ci-contre.

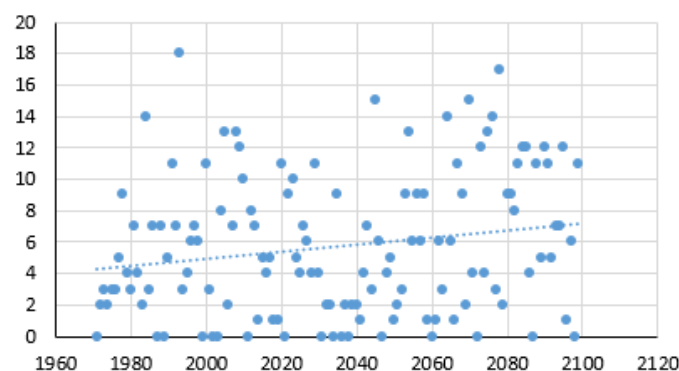
### Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

	Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
Sol superficiel	30 cm	11 %	29 mm
Sol moyen	50 cm	20 %	55 mm
Sol profond	80 cm	15 %	86 mm

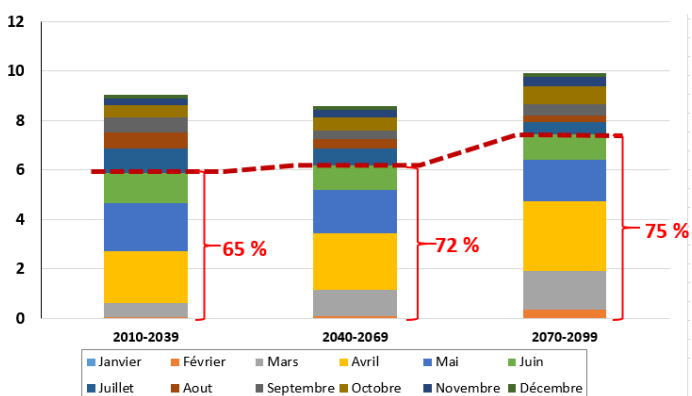
### Pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée, en itinéraire « pâturage »



### Nombre d'épisodes de 4 jours sans pluie entre 10 jours avant et 10 jours après 300 °C cumulés (date de mise à l'herbe)



### Cumuls de pousse sans affectation de coefficient de perte, en Tonnes de MS, par mois et selon l'horizon de temps



## Focus sur les récoltes de foin et ensilage

Ces mêmes résultats de simulations montrent une augmentation des rendements des premières coupes au printemps (ci-contre).

Parallèlement, les conditions de récolte par exemple pour un ensilage de bonne qualité (fauche précoce) devraient s'améliorer comme le montre le deuxième graphique ci-contre.

## Maïs

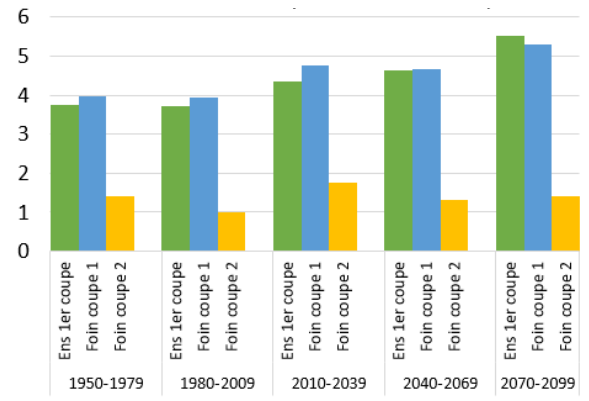
Les simulations sont réalisées pour des variétés précoces telles qu'utilisées actuellement et des variétés un peu moins précoces.

Trois dates de semis ont été testées: la date normale actuelle (5 mai), 15 jours plus tôt (20 avril), et 20 jours plus tard (25 mai), pour les sols moyens et profonds. Seules les simulations concernant le sol profond ont été retenues, c'est préférentiellement sur ce type de sols que les éleveurs essayent de cultiver du maïs.

La moyenne des rendements simulés est stable sans changement d'itinéraire technique. En modifiant cet itinéraire (semis de variétés moins précoces et semis plus précoces), la tendance serait légèrement à la hausse.

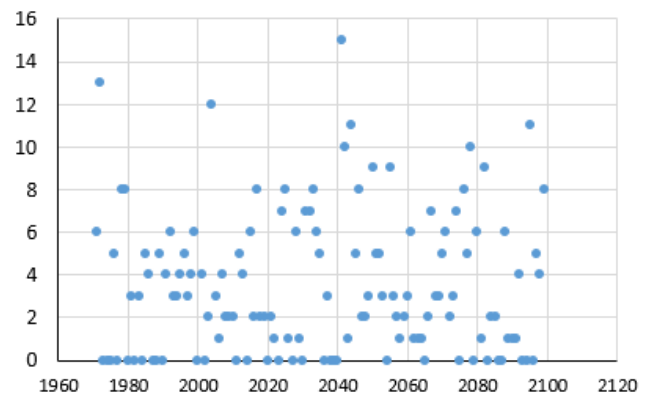
Il faut surtout remarquer que les rendements déjà très variables d'une année à l'autre le seraient encore, voire davantage.

Rendement utile sol moyen en Tonnes de MS/ha



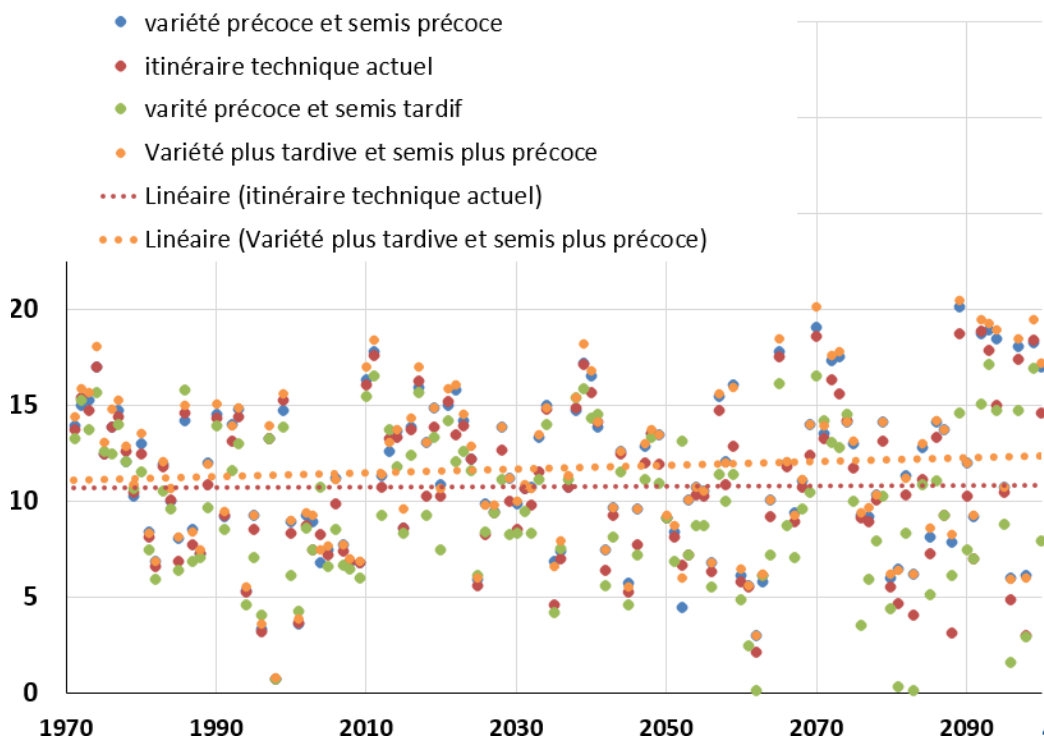
Dans un intervalle de 10 jours avant et 10 jours après 700 °C cumulés depuis le 1<sup>er</sup> janvier, nombre de jours où la récolte est possible

(4 jours consécutifs sans précipitations, avec moins de 30 mm de précipitations cumulées dans les 3 jours ayant précédé cet épisode de 4 jours consécutifs sans précipitations, et moins de 5 mm la veille)



Rendements obtenus pour chaque année simulée, pour la combinaison précocité x date de semis actuelle (itinéraire technique actuel), pour la même variété précoce en semis plus précoce ainsi que pour des variétés moins précoces en semis plus précoce (itinéraire technique adapté au futur)

En vert figurent également les rendements avec les variétés précoces actuelles, mais semées tard.

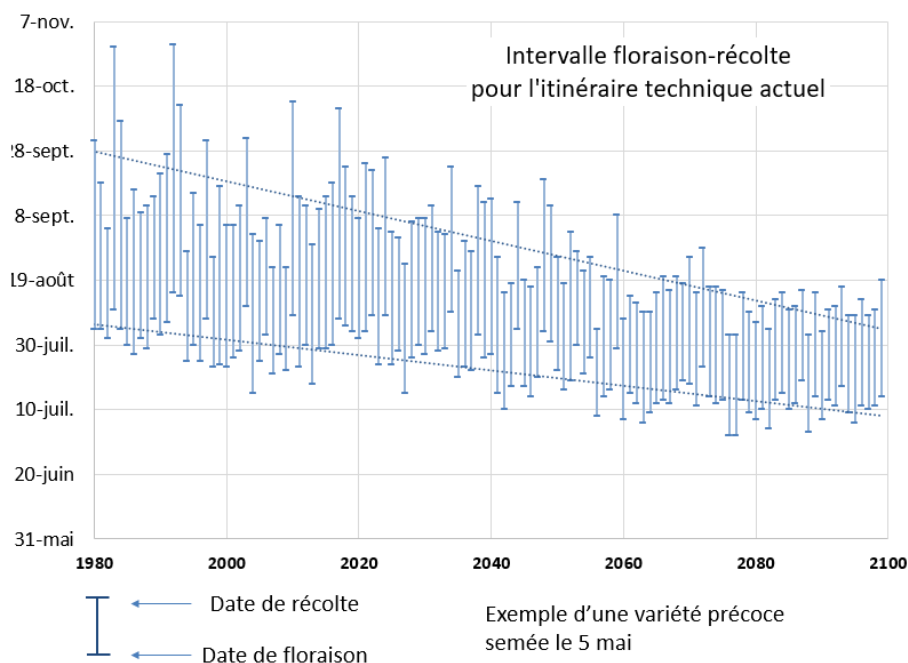




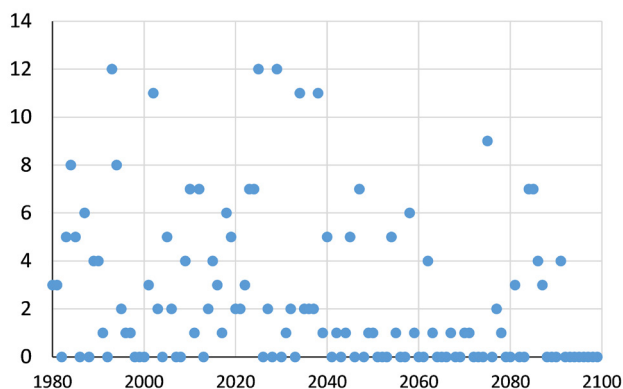
Les dates de floraison et de récolte seront de plus en plus précoces : entre les périodes 1980-2001 et 2070-2099, on gagnerait en moyenne une vingtaine de jours à la floraison et une quarantaine à la récolte. Des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risquer de problème à la récolte.

Il faudra cependant attendre la deuxième partie du siècle pour voir s'éloigner le risque d'avoir des températures pénalisantes (trop froides) pour le développement du maïs : semer plus tôt ne sera pas la garantie absolue de réussir la culture du maïs. Lorsque les rendements du maïs seront mauvais, ce sera souvent imputable à la sécheresse mais aussi à des excès de température auxquels la région n'est pas du tout habituée (cf. graphiques ci-dessous à droite).

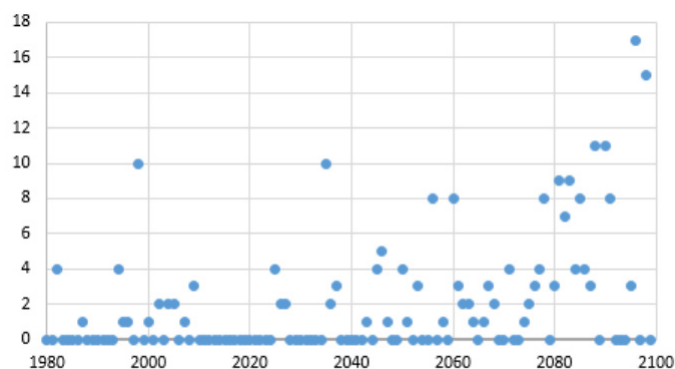
### Évolution des dates de floraison et de récolte



Nombre de jours avec  $T_{moy} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre la levée et la transition florale  
Ces jours-là, le développement est fortement pénalisé.



Nombre de jours avec  $T_{max} > 32\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre le début de l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains  
Les fortes chaleurs aggravent l'effet du stress hydrique.



### Cas particulier du raygrass-maïs

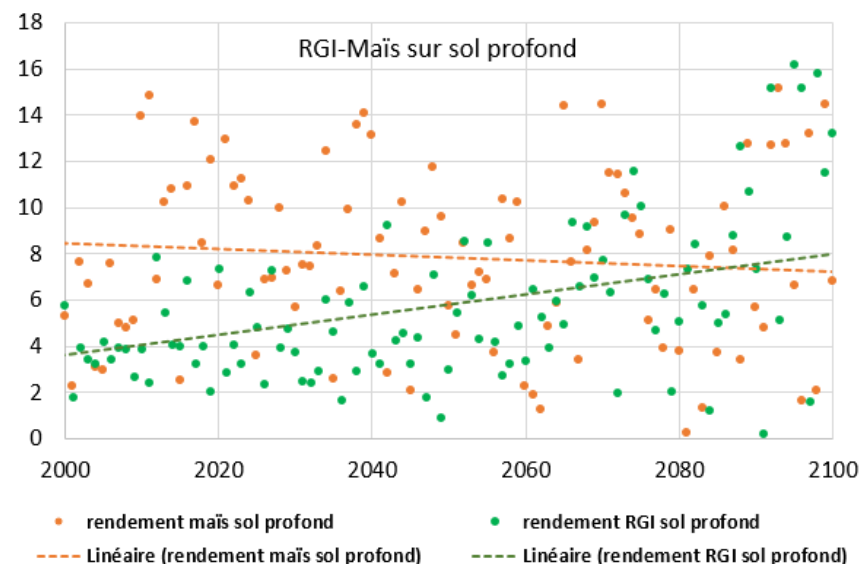
Un certain nombre d'éleveurs cultivent du raygrass (RG) en dérobée du maïs (après une céréale à paille), nous avons donc simulé cette pratique à l'aide de STICS.

Par rapport à un RG qui serait ensilé toujours à la même date, dans cette rotation le RG s'en sort bien (rendements en hausse) alors que le maïs verrait son rendement diminuer jusqu'à devenir inférieur à celui de sa dérobée.

La raison de cette évolution tient au fait que le RG entamerait trop la réserve en eau du sol, défavorisant ainsi la culture qui le suit.

On peut aussi souligner l'énorme variabilité du rendement du maïs dans une telle rotation.

Rendement du RG et du maïs dans une rotation RG-maïs en sol favorable (86 mm de RU)



## Luzerne

Les prairies de la zone sont plutôt des prairies naturelles. Les prairies temporaires sont présentes, les prairies artificielles, notamment à base de luzerne sont plus rares. Elles constituent néanmoins un atout pour le futur et un levier d'adaptation au changement climatique, c'est la raison pour laquelle nous avons réalisé des simulations de cette culture, à utiliser en pur ou en mélange (dactyles-luzerne par exemple).

Les simulations ont été réalisées sur les mêmes sols que précédemment, pour des itinéraires techniques à 3, 4 et 5 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 biomasse disponible soit suffisante. Par conséquent, les 3, 4 ou 5 coupes visées ne sont pas systématiquement réalisées par le modèle. En particulier, l'itinéraire technique à 5 coupes s'avère en fait irréaliste pour la zone, avec une cinquième coupe jamais réalisable. Avec l'itinéraire à 4 coupes, il faut attendre la fin du siècle pour pouvoir réaliser une quatrième coupe, une année sur deux seulement.

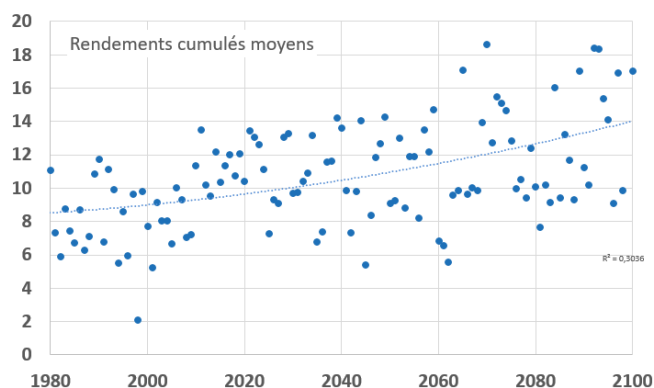
Par ailleurs, il s'agit de simulations pour une luzernière déjà installée, qui ne prennent donc pas en compte l'année d'installation ni la « fin de vie » de la luzernière, années pour lesquelles les rendements sont moindres.

Les rendements cumulés (somme des rendements de chaque coupe) seraient à la hausse. D'autre part, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée, notamment en sol superficiel (non illustré). Le détail des rendements cumulés par itinéraire technique (non présenté ici) ne montre que peu de différence entre les rendements cumulés suivant le nombre de coupes (3 ou 4). Entre les itinéraires à 3 coupes et ceux à 4 coupes, les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté et du temps de travail nécessaire.

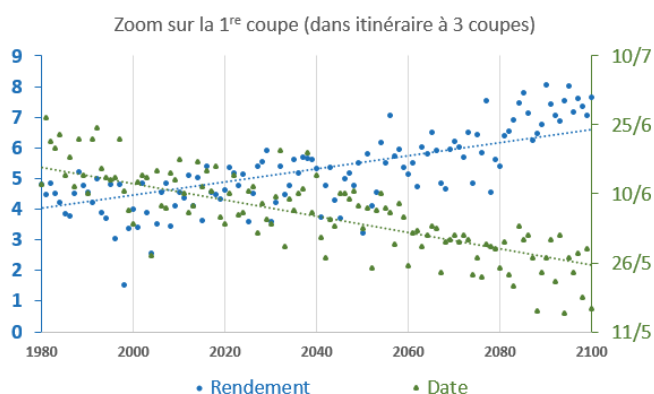
Le gain de rendement cumulé est à relier à l'évolution des conditions de printemps qui, comme pour la prairie, permettent un démarrage en végétation et donc une exploitation des luzernières plus précoces. En moyenne, dans la période 2010-2039, la première coupe intervient une semaine plus tôt que par le passé; on gagne encore une semaine dans la période 2040-2069, et quinze jours dans la période 2070-2099.

Cette avancée du démarrage en végétation se répercute sur l'ensemble de la saison. À la fin du siècle, deux coupes seront possibles avant la mi-juillet, avec des rendements moyens à la hausse. La troisième coupe deviendra de plus en plus souvent réalisable.

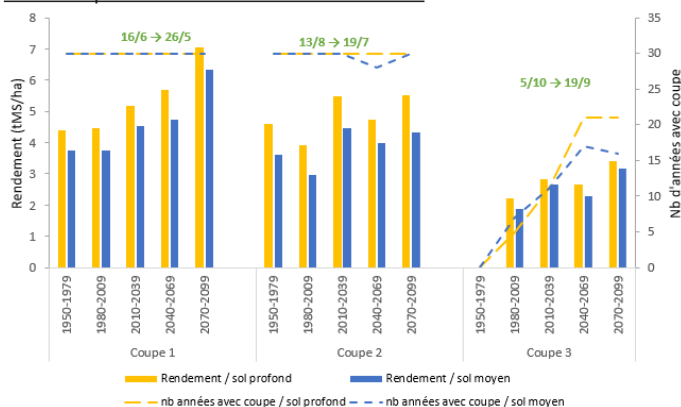
### Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des trois itinéraires techniques utilisés dans les simulations (3, 4 et 5 coupes), tous sols confondus



### Dates de coupe et rendements en 1ère coupe, dans le cas d'un itinéraire technique visant 3 coupes et en moyenne sur les deux sols utilisés



### Rendements des différentes coupes, pour les simulations à 5 coupes visées. En pointillé : fréquence de réalisation des coupes par le modèle (en nb d'années/30). En vert : avancée des dates moyenne de coupe entre les périodes 1950-1979 et 2070-2099



Les simulations réalisées mettent en évidence un démarrage en végétation plus précoce accompagné de bonnes conditions au printemps, qui permettent ainsi d'avancer la mise à l'herbe, les premières coupes et les semis des cultures de printemps. Conséquence de l'augmentation des températures, les rendements restent stables voire en légère hausse pour ces coupes précoces, malgré un cycle de croissance raccourci.

En été, l'augmentation du déficit hydrique se traduit par un ralentissement de la croissance de l'herbe plus marqué et plus long. En revanche, la reprise automnale pourrait se prolonger en fin de saison.

En ce qui concerne le maïs, on observe une avancée des dates de floraison et récolte, pour des rendements stables ou en légère hausse, même en adaptant les itinéraires techniques. La culture d'un ray-grass en dérobée de maïs pénaliserait fortement le maïs en fin de siècle.

La luzerne apparaît comme étant la culture qui profiterait le plus positivement du changement climatique.

Ces tendances moyennes finalement peu dramatiques quand elles sont mises au jour sur des périodes de 30 ans ne doivent pas faire oublier la variabilité inter annuelle qui restera très importante, voire en hausse.

Par ailleurs, c'est bien l'effet CO<sub>2</sub> qui permettra le maintien global des rendements et donc des niveaux de chargement : sans lui, on assisterait à une baisse.

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

Les impacts du changement climatique étant calculés à l'échelle des diverses cultures fourragères, il devient intéressant de retourner devant les éleveurs pour recueillir leurs réactions quand il s'agit d'intégrer ces connaissances à l'échelle d'une exploitation d'élevage.

C'est par rapport à cette phase de l'étude que nous mobilisons le Rami Fourrager® dans le cadre de réunions conduites avec un groupe d'éleveurs animé par les conseillers de la Chambre d'Agriculture.

Dans un premier temps, le groupe a conçu un système représentatif des pratiques locales et basé sur les références fourragères moyennes de la période 1989-2018. Ce système a ensuite été projeté dans les conditions du futur (avec les références fourragères simulées de la période 2035-2064), puis recalé et ajusté sur cette période. Pour finir, ce système recalé sur le futur a été soumis à un crash test climatique (aléa climatique de type sécheresse) typique de cette période du futur, pour pouvoir discuter de la meilleure manière de le rendre plus résistant ou plus résilient face à ce genre d'aléas.

Les 3 contextes climatiques ainsi explorés sont résumés chacun dans une pièce de jeu dénommée « frise climatique ». Les 3 frises sont exposées ci-contre.

La ligne rouge est l'évolution de la température tout au long de l'année.

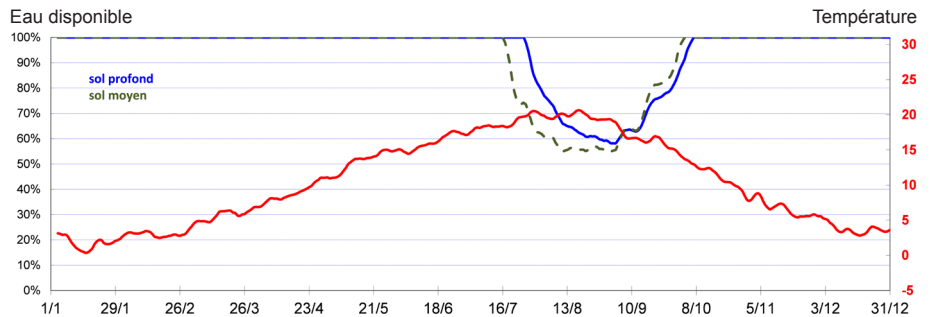
Les lignes bleues et vertes pointillées correspondent à l'évolution de l'eau disponible dans le sol, en pourcentage par rapport à la valeur de départ fixée à 100 %. L'eau disponible est égale à la réserve utile du sol, à laquelle on rajoute chaque jour le cumul de précipitations et on retranche le cumul d'ETP.

Quand la valeur tombe à 0 %, cela signifie qu'il ne reste plus d'eau dans le sol (sécheresse).

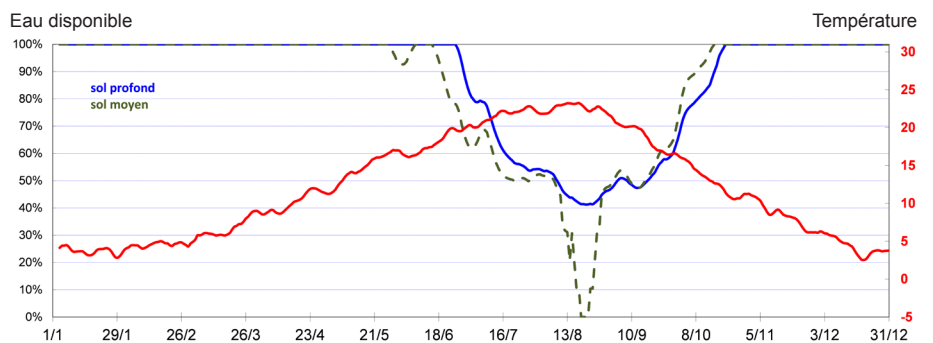
Les graphiques ci-contre indiquent que l'eau disponible baissera en moyenne l'été dans le futur proche (jusqu'à 0 pour le sol moyen) et plus encore une année sur 5, lors d'épisodes de sécheresse importante.

Ci-contre sont figurées les courbes de production quotidienne de la prairie dans les 3 contextes climatiques illustrés ci-dessus.

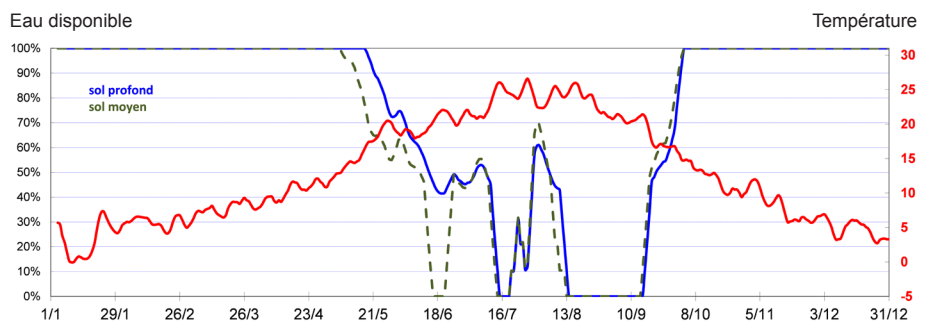
Passé : 1989-2018



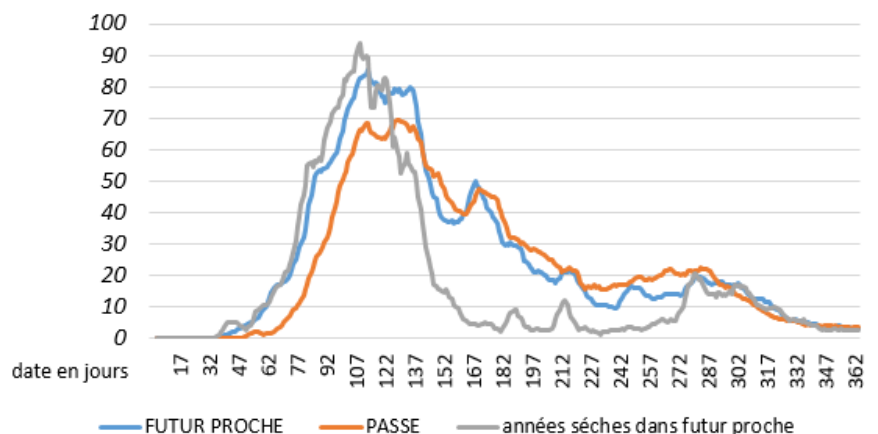
Futur : 2035-2064



Sécheresse de printemps et été dans le futur proche : une année sur 5



Production de la prairie en kg de MS/ha/j, tous sols et tous ITK confondus



ha	code																	
65	RU = /pâturage / B N		7	44	50	30	25	16	13	17	14	6	3					
37	RU + / Ensilage Pature					4,3	43	35	22	28	20	7	3					
23	RU = / foin pature/ B N						3,9	16	12	17	16	6	3					
17,3	RU + RG réc déb Mai +			3,7						10,0								
13	RU + / Ensilage Foin Pa					4,5		2,5	21	29	22	7	3					

céréales à paille

C'est avec le Rami Fourrager® qu'a été conçu le système résumé par la fiche ci-dessous, éditée à partir du module informatique de ce jeu de plateau. Pour les besoins de modélisation des systèmes Bovins Viande, ce module a été reprogrammé pour climaviande de manière à pouvoir prendre en compte jusqu'à 8 lots d'animaux, le système modélisé ici en compte 7 !

Chaque ligne du haut représente une ressource fourragère, par exemple « RU = / pâturage / BN » représente une prairie à bas niveau de fertilisation azotée (BN), utilisée uniquement en pâturage sur un sol à RU moyenne (RU =).

**BILAN**

Nb animaux troupeau #VALEUR1

Nb d'UGB 227

Estimation chargement SAU

1,46 UGB/ha SAU

Chargement apparent

1,46 UGB/ha SFP

Chargement corrigé

1,46 UGB/ha SFP

fourrages récoltés

2,6 TMS/UGB

SAU/SAU 100 %

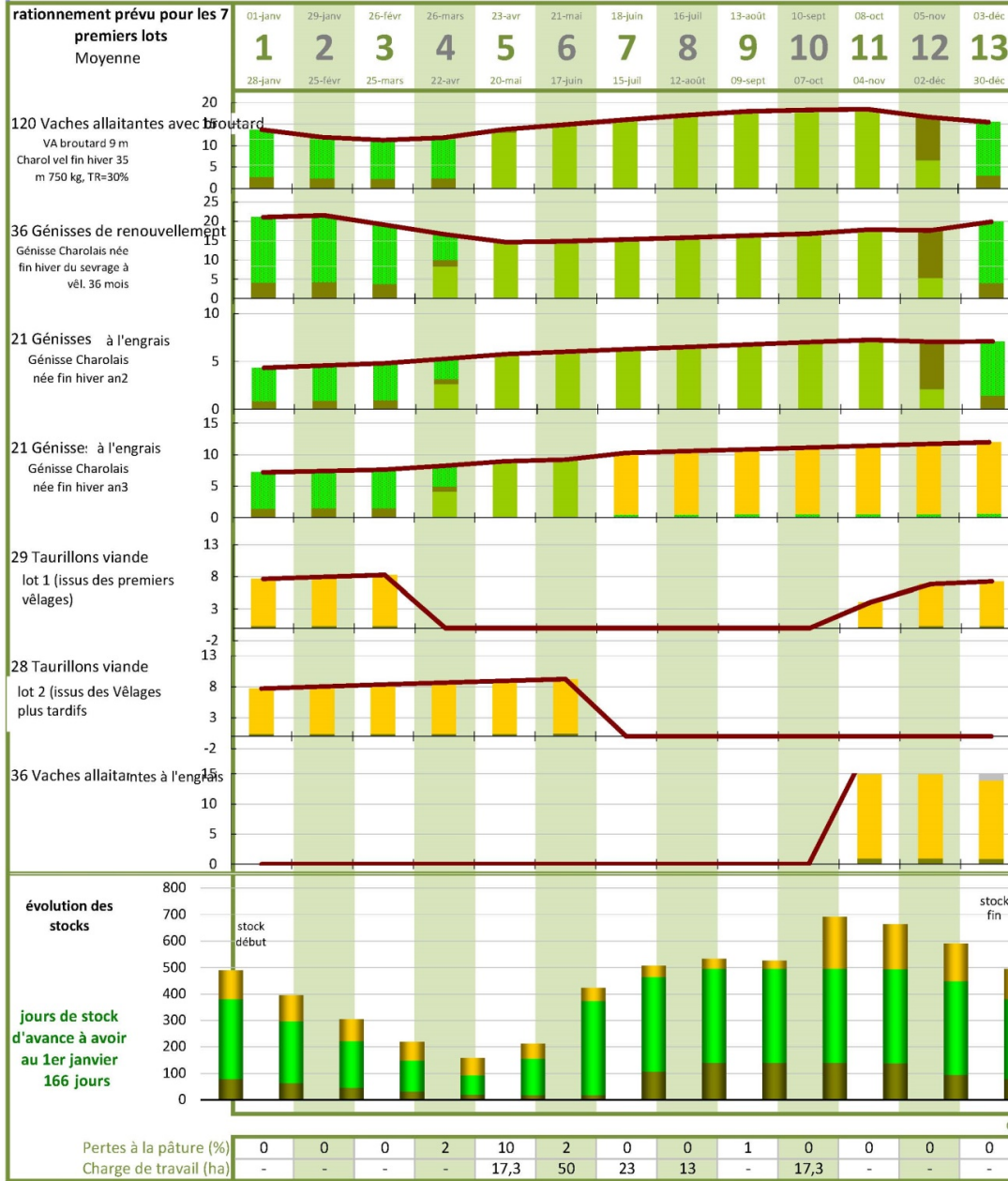
fourrage hors paille

fourrages concentrés

+ fourrages ALIMENTATION

= fourrage hors paille

SYSTEME CONCU LE 16/3/20 18:03



## Le cas initial en résumé

Le groupe d'éleveurs réunis à Autun par les conseillers de la Chambre d'Agriculture a conçu un système représentatif pour 2 UTH basé sur les pratiques locales. Celui-ci compte 120 vaches, qui vêlent pour la première fois à 3 ans, en hiver, majoritairement. Le taux de renouvellement est de 30 %, 36 génisses de renouvellement sont donc conservées chaque année. Les autres génisses (21) sont élevées pour la boucherie, avec une finition à l'ensilage de maïs.

L'ensemble des mâles est également engraisé sur l'exploitation, en deux lots selon la date de naissance (début hiver ou fin hiver). Ces lots sont engraisés essentiellement à partir d'ensilage de maïs.

Les vaches allaitantes sont mises à l'herbe fin avril, 15 jours après les génisses, et elles sont rentrées vers le 15 novembre. La règle est d'essayer de passer le printemps et l'été avec

## Impact tendanciel du changement climatique, dans le futur proche (2035-2064)

Avec une fin d'été globalement plus sèche, la surface pâturable apparaît insuffisante par rapport aux besoins des animaux : si on donne la priorité au lot de VA pour l'accès à cette ressource, il n'en reste plus pour les génisses dès le début du mois d'août comme en attestent les calendriers alimentaires ci-contre.

En même temps, la production d'ensilage d'herbe devient largement excédentaire (70 T MS d'excédent), comme on pouvait s'y attendre au vu de l'évolution de la courbe de production des prairies. C'est la même chose pour la production de foin à un degré moindre du fait qu'une partie est réalisée en deuxième coupe.

Le maïs voit son rendement fléchir très légèrement.

## Adaptation proposée

Avec des excédents de fauche de printemps et un déficit de ressource pâturable l'été, l'adaptation proposée a consisté tout simplement à distribuer aux animaux l'été cet excédent de printemps. Du coup, il n'y aurait plus que 4 mois avec du pâturage sans distribution complémentaire de fourrages stockés. Avec un ajustement marginal des surfaces à faucher et une très légère augmentation de la surface en maïs, les équilibres sont peu modifiés et le chargement pourrait être maintenu au même niveau.

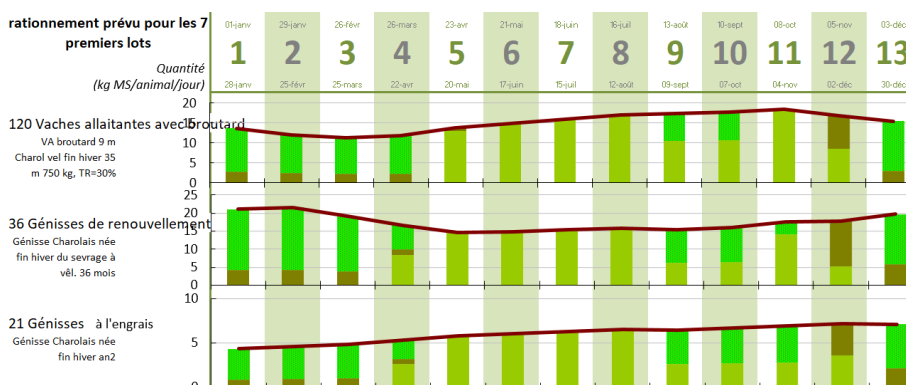
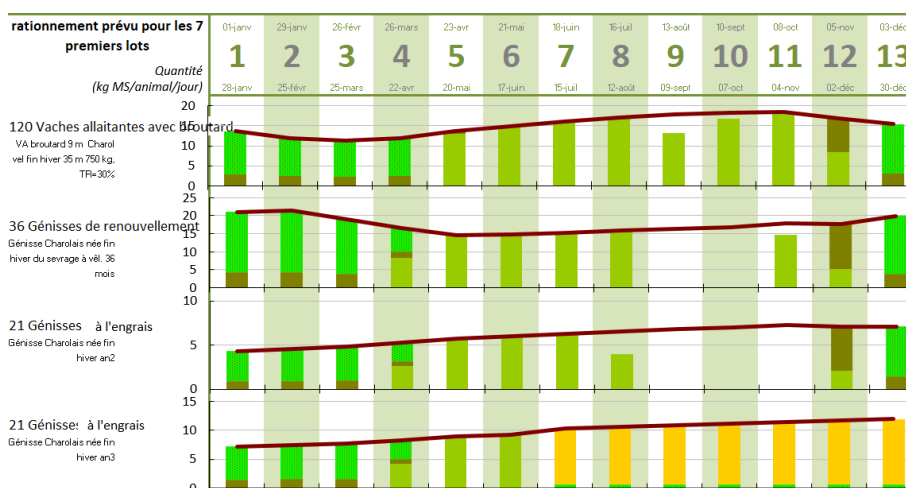
Par contre, la quantité de fourrages à stocker par UGB passe de 2,56 à 2,91 TMS/UGB, le système devient moins pâturant, donc moins économe et la charge de travail d'astreinte augmente substantiellement l'été pour assurer les distributions de fourrages grossiers.

les pâtures, sans apport de fourrages conservés en année normale. La surface mise à disposition des animaux l'été est agrandie progressivement via les repousses derrière l'ensilage, puis derrière le foin, puis derrière les deuxièmes coupes. À l'automne, toute la surface en herbe peut être pâturée.

Dans ces conditions, la SFP nécessaire à l'alimentation des 227 UGB de l'exploitation est de 155 ha. Le chargement réel est alors de 1,46 UGB/ha SFP, et le besoin en fourrages stockés (ensilages d'herbe et de maïs, foin de première ou de deuxième coupe) est d'environ 2,56 T de MS/UGB. Les surfaces en maïs sont de 17,3 ha (11 % de la SFP), ce maïs est semé assez tardivement (25 mai) derrière un ray-grass.

La SAU de 175 ha comprend aussi une petite sole céréalière de 20 ha.

Ainsi, construit collectivement avec le groupe d'éleveurs, ce cas se rapproche du cas type 11132 BV Charolais conçu et diffusé par l'équipe INOSYS du bassin Charolais.



## Impacts d'années sèches du futur (une année sur cinq)

Ce crash-test climatique doit être étudié par rapport au cas de départ, mais tel qu'il a été rééquilibré dans le futur moyen.

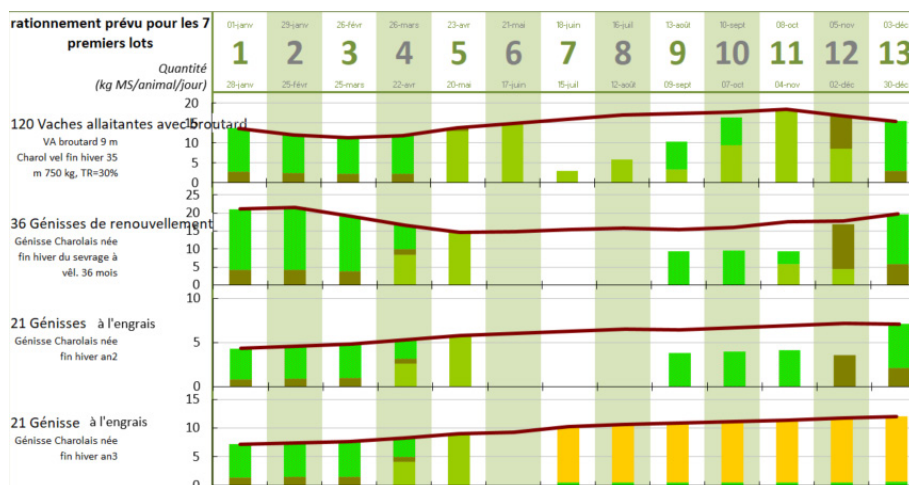
Il s'agit donc du système avec l'assolement ci-contre.

Dans cette configuration, avec une sécheresse démarrant dès le mois de juin, par rapport à l'année moyenne, il manque 44 % des récoltes en foin et 75 % de l'ensilage de maïs. Fort heureusement, l'ensilage d'herbe, réalisé majoritairement avant que la sécheresse ne sévisse, est moins affecté.

Type de surface	Nb d'ha
Surface en herbe	137,2
dont	
Uniquement pâturée	65,0
Ensilage puis pâturée	39,0
Foin puis pâturée	21,0
Ensilage foin pâture	12,0
RG - Maïs	17,8
<b>Total SFP</b>	<b>155</b>
Sole de céréales à paille	20
<b>Total SAU</b>	<b>175</b>

Néanmoins (voir calendriers fourragers ci-joints), il faut imaginer combler aussi l'absence de ressource pâturable, dès le mois de juin, avec des distributions de fourrages stockés, en l'occurrence principalement de l'ensilage d'herbe. Le déficit en ensilage d'herbe s'élèverait alors à 143 T, celui de foin à 58 T, et celui d'ensilage de maïs à 134. Pour affronter l'hiver, il manquerait 1,5 T MS / UGB.

Ce calcul a été fait en imaginant une mise à l'herbe des animaux plus précoce, mais cette adaptation est loin de suffire.



## Adaptations et voies de sécurisation proposées

Pour couvrir un tel déficit fourrager sans recourir aux achats et sans le secours de dérobées d'automne, il faudrait imaginer disposer d'un stock de sécurité du même niveau (335 T par rapport à un besoin de 652 T). Reconstituer ce stock de sécurité qui ne serait nécessaire qu'une année sur 5 nécessiterait en théorie de générer des excédents de récolte les quatre autres années, donc en moyenne récolter  $335/4 = 92,5$  T de MS chaque année en plus du besoin ordinaire. Ceci équivaut à une douzaine d'ha de SFP. Ce calcul a été proposé par le collectif d'éleveurs, car le renforcement du stock de sécurité a été la première voie d'adaptation évoquée.

C'est cependant une voie lourde, qui suppose des capacités de stockage accrues (doublées), donc de l'investissement.

D'autres voies ont été évoquées.

### Leviers zootechniques

#### La vente des mâles en broutards au lieu de les engraisser en taurillons

Même si elle réglerait la question du déficit quantitatif et qualitatif en ensilage de maïs, à cette solution drastique, les éleveurs préfèrent le maintien de l'engraissement. En effet, dans la conjoncture économique actuelle, ça paraît préférable, même en achetant le maïs qui manque. Qu'en sera-t-il dans 30 ans, nul ne peut le dire.

De manière générale, au vu des rendements en maïs qui semblent devoir en moyenne se maintenir, l'engraissement n'est pas remis en cause par les éleveurs, qu'il s'agisse de finir des génisses, des mâles ou les vaches de réforme.

#### L'utilisation des capacités des animaux à mobiliser leurs réserves corporelles

Envisageable sur 3 ou 4 semaines, ce n'est pas une solution pour un déficit de ressources pâturables sur 4 ou 5 mois : les éleveurs Charolais de la zone sont assez réticents par rapport à cette solution qui peut provoquer des manques à gagner en cascade.

#### Le décalage des dates de vêlage vers l'automne

Il ferait correspondre le pic de besoins du couple mère-veau au pic de pousse de l'herbe, ce qui pourrait être source d'économies, mais avec un accroissement du besoin de fourrages de qualité pour l'hiver. Bien que rien ne permette de penser que les conditions météorologiques de réalisation des fauches précoces se détérioreraient dans le futur (cf. page 8), cette perspective fait un peu peur aux éleveurs.

## Leviers agronomiques

### La culture de dérobées d'automne, du type crucifères (navette, colza ou chou fourrager) après céréale à paille

Comme dans d'autres zones, cette possibilité est perçue comme une loterie, avec une réussite trop tributaire de la pluviométrie. « C'est le truc qui marche quand en fait on n'en a pas besoin ».

### La culture de méteils ou de MCPI (Mélanges Céréales Protéagineux Immatures)

En remplacement du RG avant maïs, cette culture qui peut faire de bons rendements avec régularité est déjà connue dans la région. Elle ne règle pas les problèmes créés par une sécheresse d'été sur la disponibilité en pâture estivale et elle ne peut remplacer le maïs dans sa fonction de fourrage énergétique pour l'engraissement, mais elle est de nature à diversifier la ressource en fourrages de qualité moyenne.

### La réalisation d'ensilages plus précoces

Les éleveurs connaissent l'intérêt des fauches précoces, mais sont limités par les débits de chantier et les fenêtres météorologiques propices. C'est néanmoins une pratique qui permet de réaliser derrière une deuxième fauche d'ensilage précoce. Dans l'arsenal des itinéraires techniques de valorisation des prairies proposés pour la partie de rami fourrager, nous avons proposé des ITK de type ensilage/ensilage/pâture, mais ils n'ont pas été utilisés car ne correspondant pas bien aux pratiques actuelles. Cela pourrait changer, mais la crainte de « printemps pourris » est presque aussi forte que celle des sécheresses estivales et c'est effectivement une des composantes du changement climatique.

## La mise en place d'une sole céréalière plus importante

Dans le système étudié, le rajout d'une quinzaine d'ha de céréales à paille ou de méteils grain serait vécu comme un moyen de sécuriser le système : par le grain et la paille, bien sûr, mais aussi en tant que possibilité de réaliser des ensilages pour faire face par exemple à une sous-réalisation des ensilages d'herbe l'année précédente.

### Et aussi ...

Une des évolutions les moins bien vécues est la perspective de n'avoir pas assez de ressources pâturables l'été et de devoir affourager les animaux l'été.

Les modalités seront modulées dans chaque exploitation : dans certaines, tous les lots seront affouragés, dans d'autres, certains lots pourront être rentrés en stabulation alors que d'autres resteront au pâturage sans apports de fourrages conservés.

Mais dans tous les cas, les éleveurs se demandent comment accroître la ressource pâturable en été.

La culture de la luzerne en mélange est une possibilité, peu pratiquée dans la zone en raison de l'hygromorphie des sols.

L'agroforesterie a été évoquée par un des éleveurs, à la fois comme source de bien-être pour les animaux lors des épisodes caniculaires, et aussi comme moyen de prolonger les possibilités de pâture en fin de printemps début d'été.

La possibilité de faire des betteraves pour du pâturage de fin d'été a été également évoquée, sans enthousiasme.

## À retenir

L'évolution tendancielle des systèmes risque de se faire dans le sens d'un accroissement de la part d'herbe stockée, à la fois du fait d'un pic de production printanière accru et de besoins nouveaux d'affouragement en été. Cette évolution ne va pas dans le sens de la réduction du travail.

Il n'y a pas de perspectives de baisse du chargement dans le futur proche.

L'engraissement n'est pas remis en cause.

Parmi les leviers d'adaptation, l'« auto-assurance » que constituerait la mise en place de stocks de sécurité est plébiscitée, mais elle a un coût.

D'autres leviers zootechniques, mais surtout agronomiques (méteils, doubles fauches précoces) sont connus des éleveurs, avec des modes d'emploi à préciser.

## Conclusion générale

Les impacts du changement climatique sont zootechniques et agronomiques. Ces derniers sont les mieux connus et les plus faciles à étudier.

La mise en œuvre de simulateurs de culture permet de visualiser des conséquences qui sont difficiles à imaginer au seul niveau des moyennes de températures ou de pluviométrie. Sans revenir sur le détail, on ne manquera pas de remarquer qu'à côté des impacts négatifs (accroissement des sécheresses et températures excessives) peuvent exister des impacts plus positifs (effet du CO<sub>2</sub> sur l'efficacité de la photosynthèse, possibilités de mettre à l'herbe plus tôt du fait des températures) qui arrivent à compenser : au final, et du moins par rapport au futur proche, il n'y a pas de tendance à la baisse des rendements ou du chargement dans cette région du Morvan.

Par contre, des adaptations sont à prévoir dans la valorisation des ressources qui ne vont pas forcément dans le sens de l'économie ou de la réduction du travail.

Les choix des éleveurs rencontrés ne sont pas remis en cause, le système Naisseur-Engraisseur étudié a encore des possibilités d'adaptation et des marges de manœuvre.

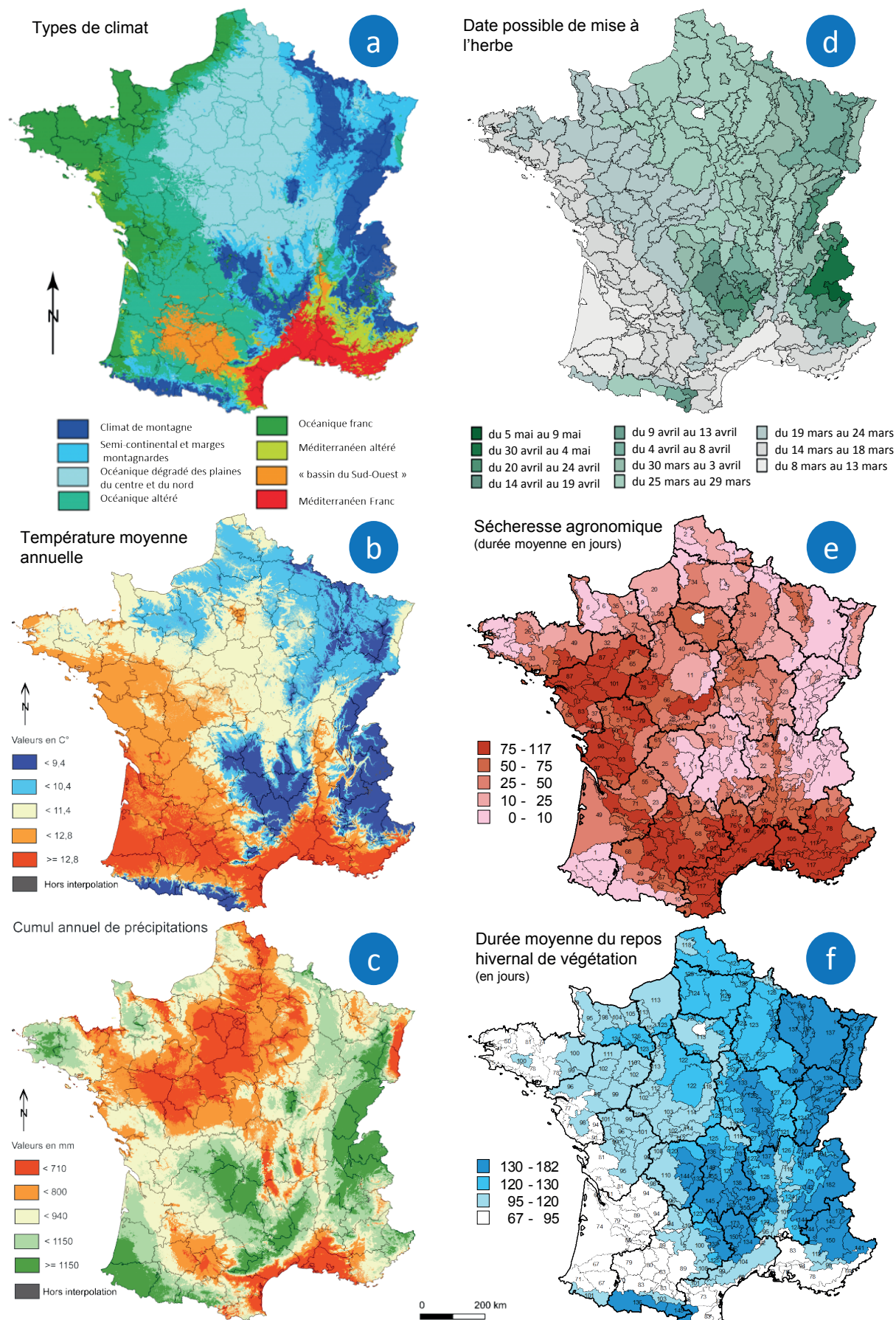
Le projet Climaviande comportait l'élaboration de plusieurs outils en plus de cette synthèse finale.

Le projet a permis de se faire rencontrer les spécialistes de l'Institut de l'Élevage, les techniciens et conseillers de Saône-et-Loire et des éleveurs de Saône-et-Loire, peu nombreux mais très motivés.

Il faut bien sûr maintenant toucher davantage d'éleveurs, ce qui suppose l'appropriation des outils, références et exposés conçus et délivrés au cours des 18 mois qu'a duré l'étude. Cette nouvelle phase, hors projet, est démarrée : des présentations des travaux ont été faites au niveau de la Chambre d'Agriculture, des formations sont programmées.



## Annexe 1 : 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.

Pour en savoir plus :

Véronique Gilles, Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire : [vgilles@sl.chambagri.fr](mailto:vgilles@sl.chambagri.fr)

Jean-Christophe Moreau, Institut de l'Élevage : [jean-christophe.moreau@idele.fr](mailto:jean-christophe.moreau@idele.fr)

Caroline Guinot, INTERBEV : [c.guinot@interbev.fr](mailto:c.guinot@interbev.fr)

Auteurs : Jean-Christophe Moreau (IDELE, service fourrage), Véronique Gilles (Conseillère d'entreprise et réseau INOSYS Chambre d'Agriculture de la Saône-et-Loire)

Avec le soutien de : Data'Stat-IDELE (calculs indicateurs agro-climatiques), Aurélie Madrid (IDELE) pour les simulations STICS et leur valorisation, ARVALIS (paramétrage du maïs), Françoise Ruget (INRAE), Météo-France pour le calcul de l'ETP et la fourniture de données sur DRIAS et Agri4cast.

Crédit photo : INTERBEV / Photographe : Raphaël AUVRAY

*Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'une étude financée par INTERBEV. La méthodologie initiale de l'étude avait été mise au point dans le cadre du projet CLIMALAIT.*

