



CLIMALAIT

POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

- Comment le climat va évoluer ?
- Avec quelles conséquences sur les cultures fourragères, sur l'alimentation des animaux ?
- Comment s'adapter à ces évolutions ?

Le 5^e 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. En Ardèche, l'étude a été menée en partenariat avec Agri Bio Ardèche.

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 :

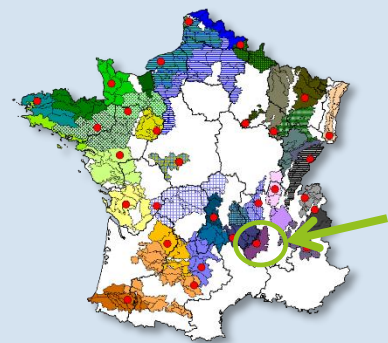
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des 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 le Nord Ardèche (07)

DES RÉSULTATS

pour le Nord de l'Ardèche



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du Nord de l'Ardèche	2
Climat de la zone Nord Ardèche	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	13
Annexes.....	14

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 Nord de l'Ardèche

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 37 % entre 2000 et 2010), alors que la main d'œuvre diminue (- 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	1,9	64	9	55	5	45	29
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	-2%	+37%	+31%	+40%	+59%	+43%	+48%

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, de 0,81 UGB/ha de SFP, n'a pas évolué.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 159 000 litres par exploitation, soit environ 5 500 L/VL.

Avec environ 15 % de la SAU occupée par des grandes cultures, la zone est une de celles dans lesquelles l'élevage spécialisé est dominant. La SFP est en grande partie occupée par des prairies permanentes. On trouve également des prairies temporaires, du maïs fourrage... Les surfaces en céréales, modestes, apportent aussi des possibilités d'utilisation directe, via l'ensilage de céréales immatures, ou d'implantation de cultures intermédiaires.

Le Nord Ardèche n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution, bien que restant de taille limitée. Les systèmes laitiers spécialisés sont majoritaires, avec une part importante de prairies permanentes, auxquelles s'ajoutent des prairies temporaires, du maïs fourrage et des céréales. L'irrigation est souvent utilisée avec des interrogations sur la disponibilité de l'eau en été à l'avenir.

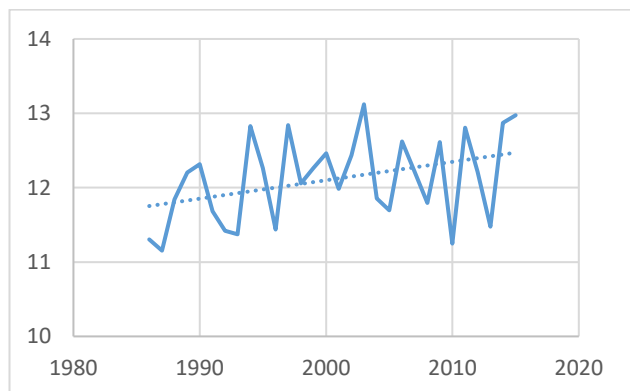
Climat de la zone Nord Ardèche

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

La zone du Nord Ardèche, située entre les monts du Massif Central et le couloir Rhodanien, est sous l'influence de plusieurs climats : le méditerranéen altéré, le semi-continental, et le climat de montagne (carte a). Les températures croissent depuis les montagnes vers le Rhône (carte b). La période de repos hivernal de la végétation est relativement longue (carte f) avec une date de mise à l'herbe théorique fin mars (carte d). Le cumul annuel des précipitations est assez élevé (carte c), mais la sécheresse agronomique estivale est plutôt longue (carte e).

Évolution récente du climat

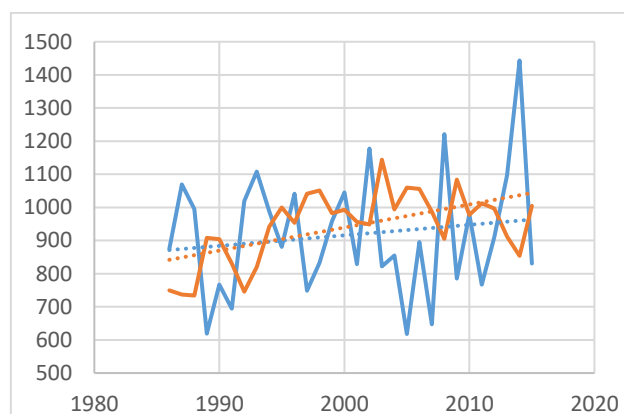
Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 0,7 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 11 et 13 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps (+ 2 °C) et à l'automne (+ 0,7 °C).



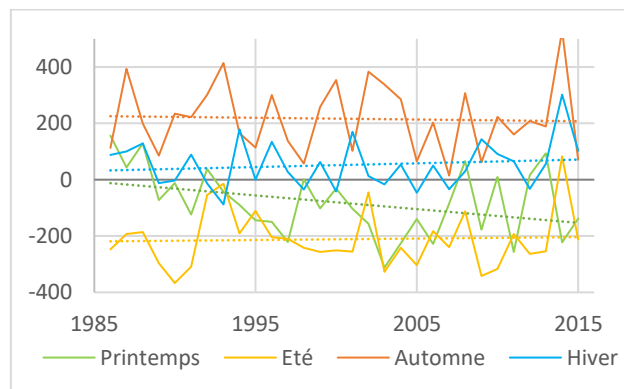
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 650 et 1500 mm/an, avec une légère tendance à l'augmentation. Cette variabilité des précipitations se retrouve à l'échelle saisonnière, avec une tendance à la baisse au printemps, et à l'augmentation en hiver et en été. Le cumul annuel d'évapotranspiration tend aussi à augmenter. Le bilan hydrique (P-ETP) saisonnier semble donc diminuer au printemps où il devient de plus en plus souvent déficitaire. Pour les autres saisons les variations

inter-annuelles sont telles qu'aucune évolution n'est perceptible sur les trente dernières années.



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

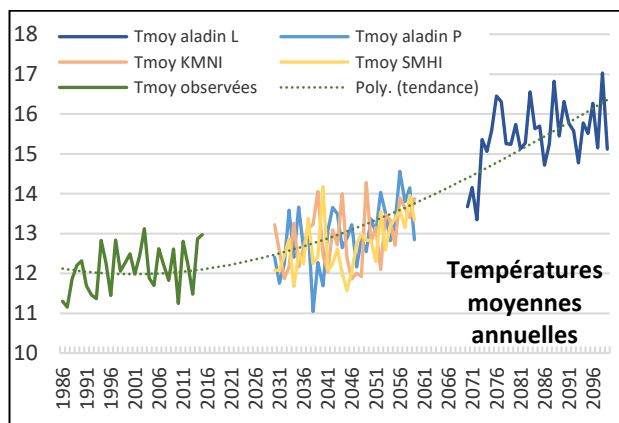


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

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 d'1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérait rapidement pour atteindre + 3 à 4 °C par rapport au niveau actuel.

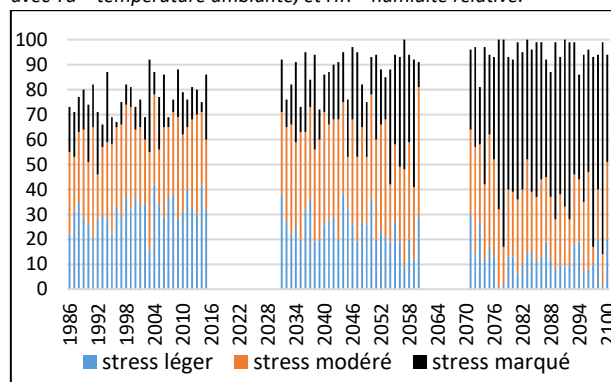
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 5,5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on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

souvent, et le nombre de jours caniculaires serait 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 index (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 2014 (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 21 mars (une année sur deux entre le 14 et le 29 mars), elle pourrait passer aux alentours du 15 mars dans le futur proche (entre le 13 et le 17 selon les modèles), et du 7 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

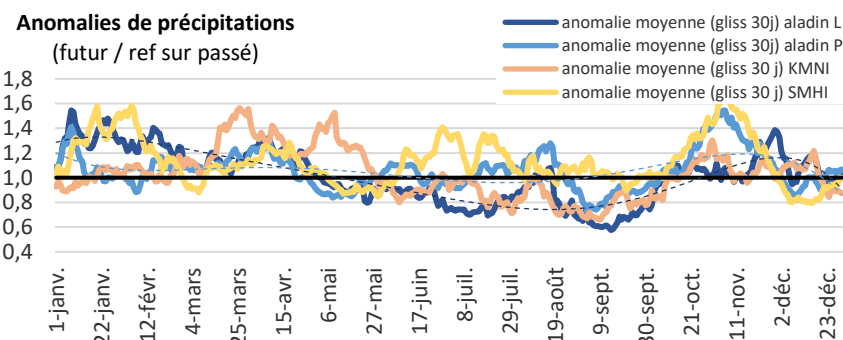
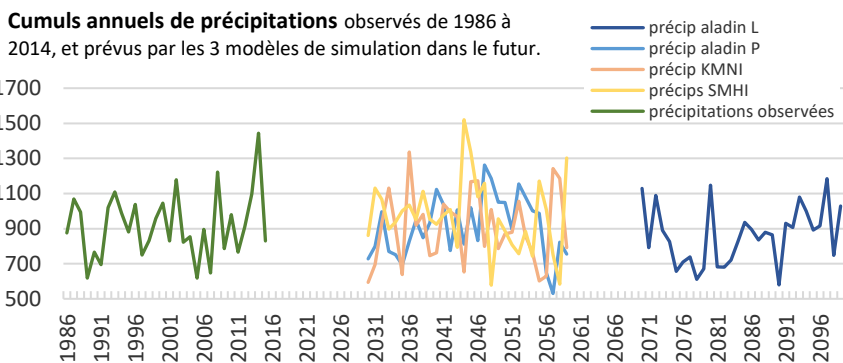
	Obs 30 ans	1986- 2000	2001- 2015	Aladin 2030- 2059	KMNI 2030- 2059	SMHI 2030- 2059	Aladin 2070- 2099
1 année sur 2 entre le... et le ...	14/3 29/3	13/3 29/3	15/3 29/3	10/3 23/3	10/3 24/3	7/3 18/3	3/3 11/3
Médiane	21/3	17/3	25/3	15/3	17/3	13/3	7/3

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

Évolution des précipitations

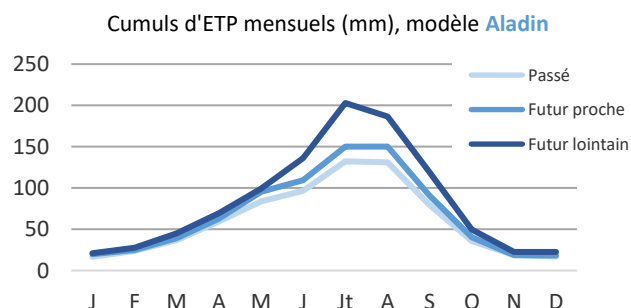
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte 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 **KMNI** prévoit globalement plus de précipitations au printemps, pour le modèle **SMHI** ce serait plutôt en été, en fin d'automne et d'hiver, et pour le modèle **Aladin** au printemps et en fin d'automne... A l'opposé, les modèles **KMNI** et **Aladin** prévoient une diminution des précipitations en fin d'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 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 30 ans	1986-2000	2001-2015	Aladin 2030-2059	KMNI 2030-2059	SMHI 2030-2059	Aladin 2070-2099
au moins 15 jours sans pluie entre le 20/04 et le 10/06	2/10	2/10	2/10	+10%	+0%	+7%	+10%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	2/10	3/10	1/10	+7%	+3%	+7%	+17%

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 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 des sols de la région accentuant d'autant plus le phénomène).

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 CO₂.

Le climat de la zone se caractérise par des températures moyennes, et des précipitations assez élevées. Les températures, déjà en légère 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, à la fin du siècle, une diminution des précipitations en été, ainsi qu'une augmentation de l'évapotranspiration. 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 CO₂ 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 CO₂ dans l'atmosphère. Une précédente étude a montré que cet effet du CO₂ est à l'origine d'une augmentation des rendements pouvant aller jusqu'à 10 voire 20 % (Etude ACTA-MIRES Ruget Moreau).

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	50 cm	20 %	65 mm
Sol superficiel	10 cm	17 %	14 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations.

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

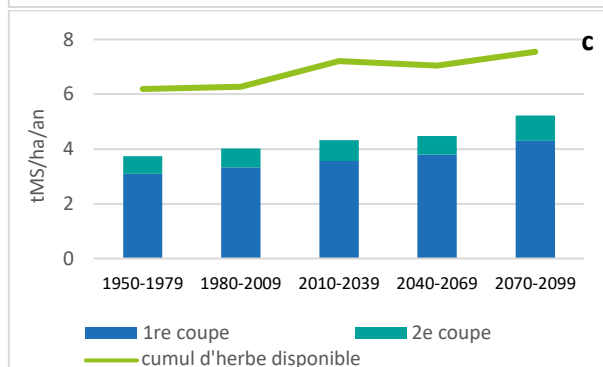
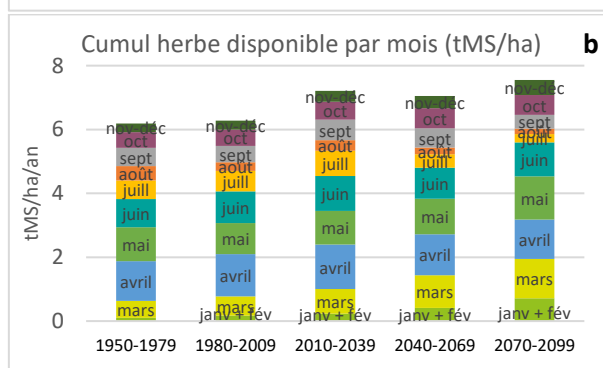
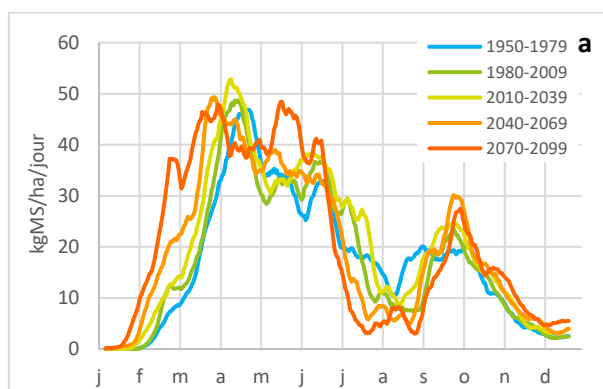
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur deux types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

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 sur sol profond. La même tendance s'observe sur sols superficiels, les résultats n'ont donc pas été présentés. Ainsi, une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions de portance. 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.

Dès la fin du printemps et tout l'été, les simulations montrent une croissance de l'herbe ralentie, notamment dans le futur lointain. Au contraire, les conditions automnales permettraient une reprise de la croissance de l'herbe à l'automne. Cette situation était déjà la norme dans d'autres régions aussi, dans lesquelles le creux d'été et le rebond d'automne s'accroissent.

Au total, la quantité d'herbe produite sur l'année serait en augmentation, notamment du fait du démarrage plus précoce.

En résumé, l'herbe pousserait de plus en plus tôt au printemps et de plus en plus tard à l'automne, mais un ralentissement d'été apparaîtrait dans le futur proche et s'accroîtrait 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).



a) pousse d'une prairie à base de graminées sur sol profond, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée ;

b) cumul d'herbe disponible par mois sur sol profond sans apport d'azote ;

c) rendements moyens des récoltes de foin et ensilage, et cumul d'herbe disponible sur l'année sur sol profond sans apport d'azote.

Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur le sol profond décrit précédemment, pour un itinéraire technique de 5 coupes « visées » sur sol irrigué. 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 dernières 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.

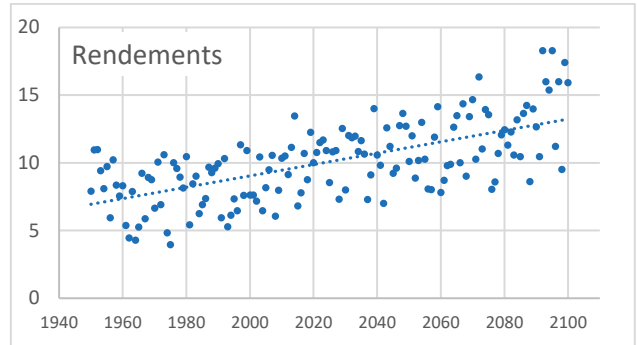
Quel que soit le nombre de coupes réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

Le 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 une exploitation des luzernières plus précoces : en moyenne, dans la période 2010-2039, la première coupe interviendrait environ dix jours plus tôt que par le passé ; on gagnerait encore une semaine dans la période 2040-2069, et presque quinze jours dans la période 2070-2099.

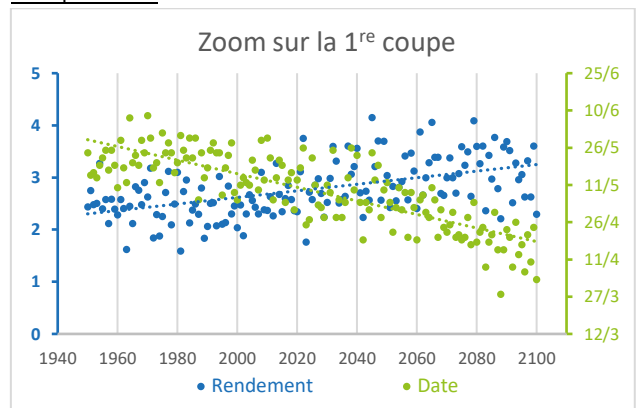
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

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

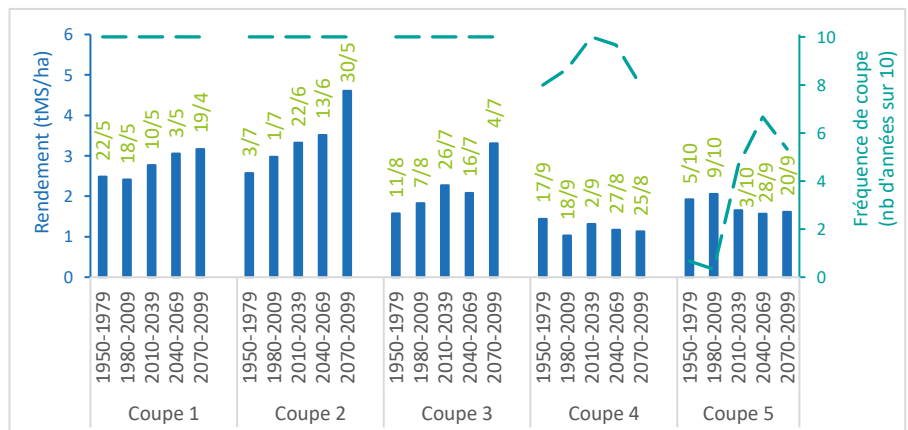
Rendements cumulés obtenus pour l'itinéraire technique utilisé dans les simulations.



Dates de coupe et rendements en 1^{re} coupe, en moyenne sur sol « profond »

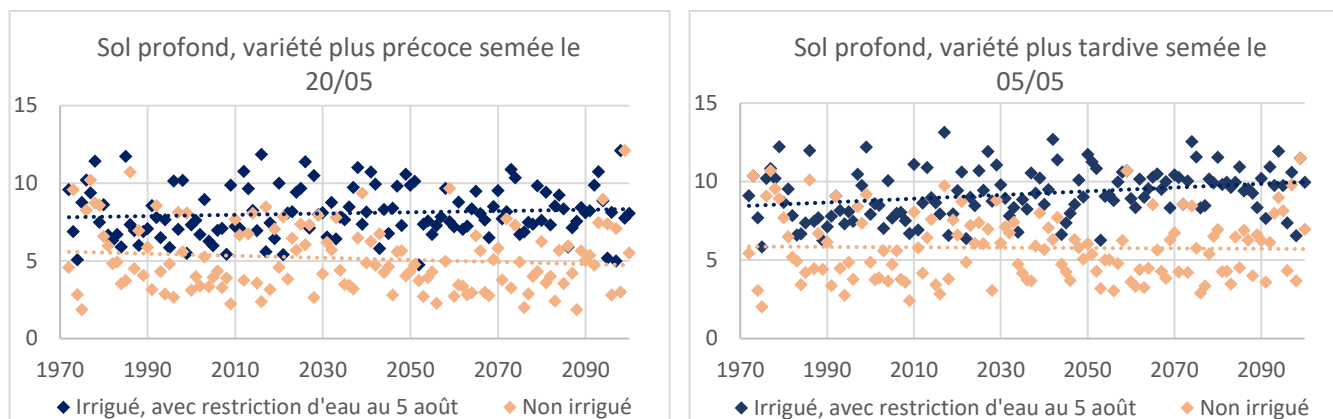


Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues, pour l'itinéraire technique à 5 coupes prévues sur sol « profond » irrigué.

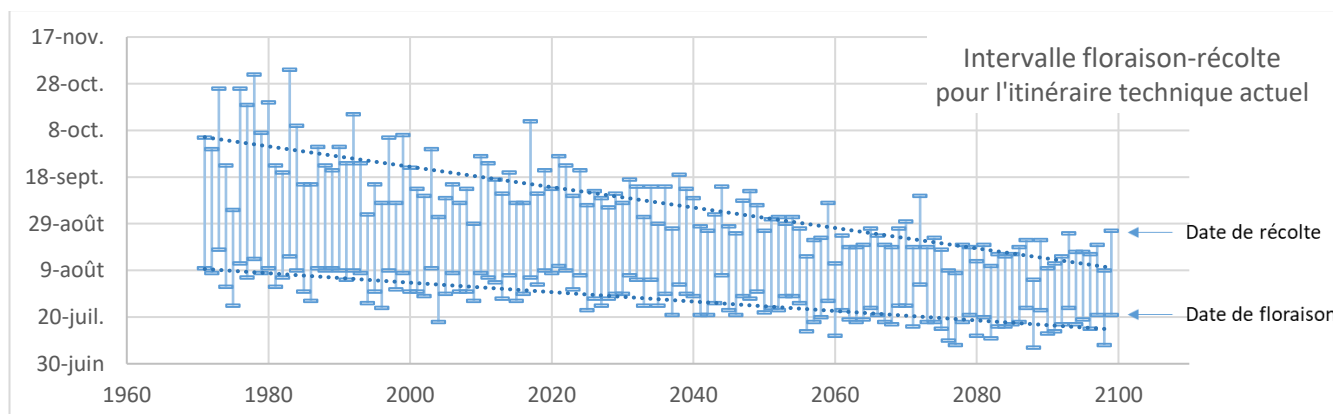


Maïs

Les simulations sont réalisées pour plusieurs groupes de précocité (demi-précoce-tardif d'indice 310 à 400 et demi-tardif d'indice 400 à 480) et dates de semis (20/05 et 05/05), après une dérobée (RGI) et sur le sol « profond » présenté précédemment.



Rendements obtenus pour 4 itinéraires techniques, sur sol profond.



Évolution des dates de floraison et récolte.

Dans cette région, les rendements du maïs sont limités par la profondeur et le type de sol. Ainsi, l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère au cours du siècle ne semble pas avoir d'effet positif sur le rendement, contrairement aux résultats obtenus dans les autres régions. Dans le futur comme actuellement, les différents stress climatiques (sécheresses estivales...) entraînent une importante variabilité des rendements que l'irrigation permet de modérer.

Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces à l'avenir. À condition que les ressources en eau soient suffisantes, des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risque. Ces variétés profiteraient mieux de l'augmentation des températures.

L'augmentation des températures au printemps permettrait également une augmentation de la production des dérobées, toujours avec une certaine variabilité. Cependant, la variabilité du rendement du maïs qui les suit serait elle aussi accrue. En fin de siècle, la dérobée produirait parfois autant voire même plus que le maïs qui la suit.

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 qu'un creux de production en été et une légère reprise à l'automne apparaissent. La saison de pâturage s'allonge donc au début du printemps et à l'automne, mais avec une rupture en été.

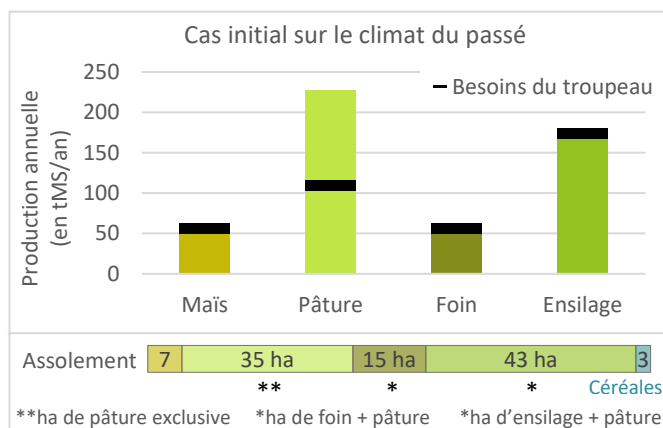
Les conditions climatiques prévues pour le futur sont favorables à la luzerne : les rendements cumulés augmentent, avec une nette avancée des dates de coupes.

En ce qui concerne le maïs, les rendements restent variables. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette. L'intérêt de l'irrigation paraît évident.

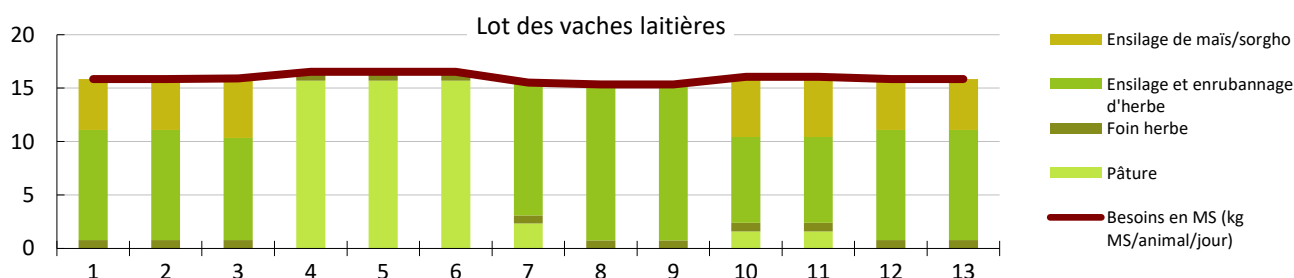
Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

Le cas étudié a été construit par un groupe d'éleveurs en agriculture biologique du Nord de l'Ardèche et leur animateur. Il s'agit d'une ferme disposant de 100 ha de SFP : 7 ha de maïs avec dérobée et 93 ha de prairies (dont 15 ha de prairies multi-espèces). Quelques hectares de culture sont occupés par de l'orge et du triticale, en rotation avec le maïs, ce qui permet d'implanter des cultures intermédiaires.



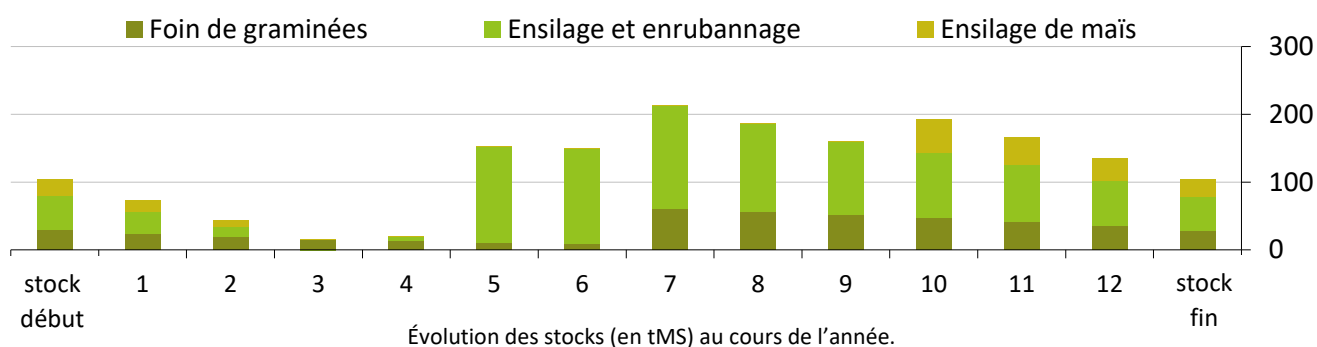
Le troupeau est constitué de 50 vaches laitières à 6 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 28 % et des vêlages étalés. Le premier vêlage est à 30 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. 15 génisses sont élevées chaque année. Les vaches laitières pâturent de fin mars jusqu'à fin juin, puis elles sont rentrées. Leur ration se compose alors de 30 % de maïs ensilage, complété par de l'herbe ensilée ou enrubannée. La ration des génisses est constituée de foin et d'ensilage d'herbe en hiver, et de foin et d'herbe pâturée le reste de l'année. La pâture n'est pas conduite de manière optimale, de l'herbe peut être gaspillée à certaines périodes.



Matière sèche (en kg MS/animal/jour) apportée par les fourrages pour remplir les besoins en matière sèche des différents lots du système herbager étudié sur les treize périodes de 4 semaines du Rami Fourrager®.

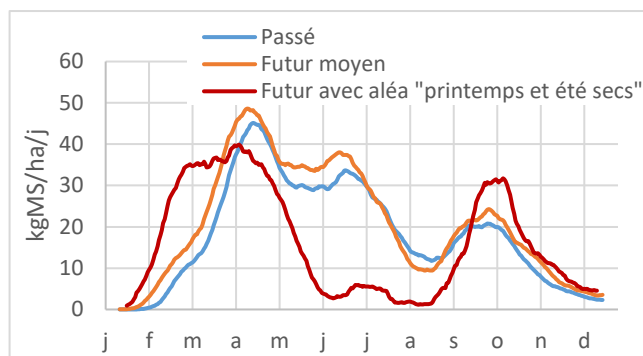
Ce système nécessite 21 tonnes de concentrés protéiques de type féverole d'hiver (AB), 11 tonnes de céréales et 59 tonnes de paille. Le chargement corrigé est de 0,77 UGB/ha SFP.

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 trois 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 2020-2050**. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un **printemps particulièrement sec, suivi d'un été chaud et sec** et de conditions favorables à la pousse de l'herbe en automne. Il faut noter que ce type de déroulement climatique n'apparaîtrait que dans la seconde moitié du siècle.



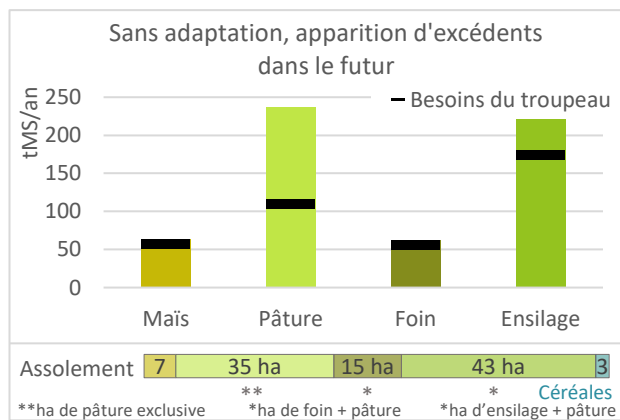
Pousse moyenne d'une prairie à base de graminées sur sol profond, selon la période d'étude envisagée.

	1971-2000	2020-2050	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	28 mars	22 mars	8 mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100 °C cumulés)	15	8	-54
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28$ °C, entre 1100 °C cumulés et le 5/07)	2	5	30
Bilan hydrique à la floraison du maïs (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains)	- 104	- 150	- 297
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	38	43	2

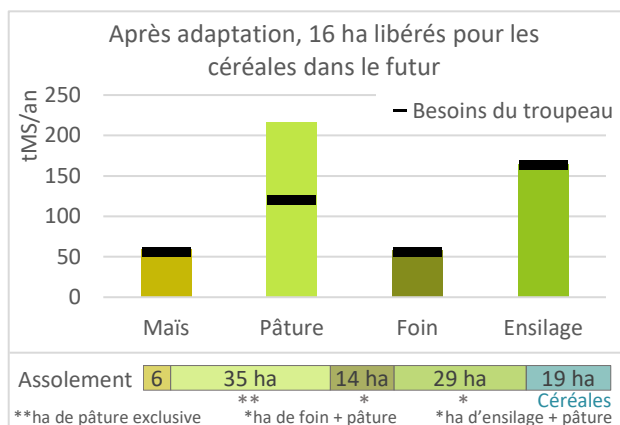
Caractérisation des trois contextes climatiques retenus pour les parties de Rami Fourrager® (valeurs moyennes).

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2020-2050)



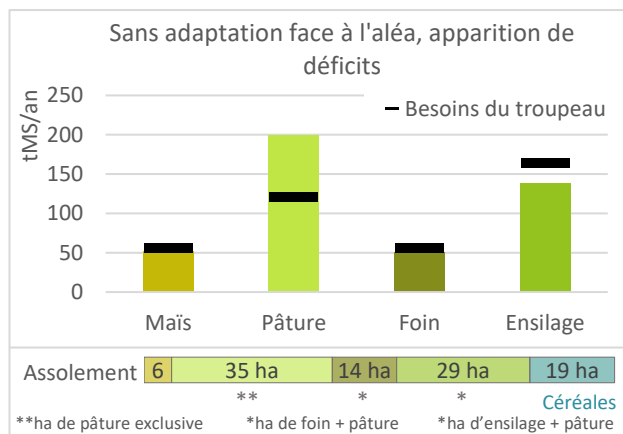
La production globale augmente pour toutes les cultures (+ 7 tMS pour le foin de graminées, + 50 tMS pour les ensilages d'herbe, + 7 tMS pour l'ensilage de maïs). La répartition de la pousse de l'herbe est modifiée : des surplus apparaissent au printemps et à l'automne tandis qu'un léger déficit se dessine en été.



Les adaptations suivantes sont envisagées :

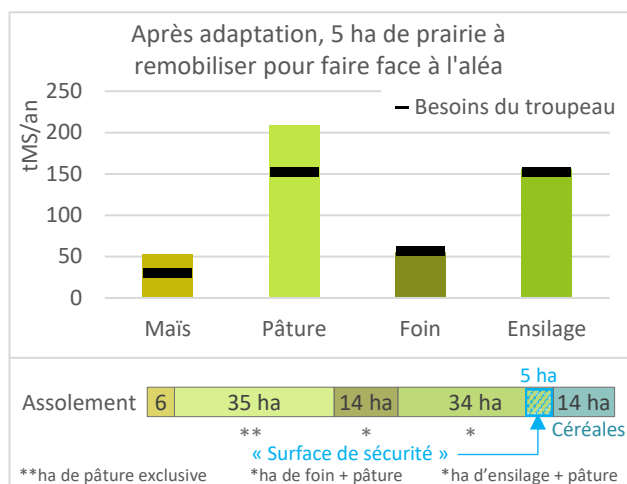
La SFP est réduite de 14 ha (- 1 ha de maïs en semant les 6 autres hectares plus tôt avec une variété plus tardive, - 14 ha de prairies temporaires dédiées à l'ensilage puis pâture, et - 2 ha de foin puis pâture) au profit des céréales. La mise à l'herbe est anticipée de quelques semaines, pour valoriser la pousse de l'herbe de début de printemps. Ainsi, 2 tonnes de concentrés protéiques peuvent être économisés. Par ailleurs, l'augmentation des surfaces en céréales permet de s'approcher de l'autonomie en paille. Le chargement corrigé augmente à 0,91 UGB/ha SFP mais les pâtures restent peu valorisées en fin d'année.

Dans le cas de l'année « sèche »



Sans nouvelles adaptations, le système devient déficitaire : il manque 26 tMS d'ensilage d'herbe et tous les animaux ne peuvent plus pâturer entre fin avril et mi-juillet. Quant au maïs, les parcelles étant irriguées jusqu'au 5 août, son rendement est peu impacté et un déficit de seulement 3 tMS d'ensilage est observé.

Pour faire face à ce type d'année, il semble nécessaire d'anticiper pour tirer profit de la pousse des prairies le plus tôt possible. Ici, les vaches laitières sont mises à l'herbe début mars. Début juin, les vaches laitières sont rentrées afin de laisser des surfaces pâturables pour les génisses. Puis, elles sont de nouveau sorties en fin d'année, de septembre à novembre. Des reports sur pieds sont effectués, de ce fait, la complémentation des génisses doit être ajustée pour compenser la baisse de qualité de l'herbe. A l'inverse, la complémentation azotée des vaches laitières diminue en raison de la part de pâture plus importante. La consommation de concentrés évolue en conséquence : + 3 tonnes de céréales et - 10 tonnes de féverole sont nécessaires.



Du fait de la part plus importante de pâture dans l'alimentation des vaches laitières, l'ensilage de maïs ne manque plus et devient même excédentaire (+ 22 tMS). De même, le déficit en ensilage d'herbe a fortement diminué (- 15 tMS) et il suffit de remobiliser 5 ha de prairies temporaires sur les 14 libérés précédemment pour combler ce déficit. En termes de sécurisation du système fourrager, cela signifie conserver 5 ha de prairies temporaires en plus des besoins ordinaires pour la constitution d'un **stock de sécurité**, consommable en année difficile.

Le chargement corrigé atteint 1,22 UGB/ha SFP, ce qui traduit une meilleure valorisation des prairies (- 16 % de pertes d'herbe sur pied), mais aussi la nécessité d'une meilleure gestion de celles-ci au printemps. Toutefois, on observe toujours des excédents d'herbe sur pied en fin d'année. En effet, la majorité des stocks d'herbe se faisant au printemps, les surfaces sont bien valorisées en début d'année, mais le système est contraint à un « gaspillage d'herbe » en fin d'année. La qualité de l'herbe en pâture en cette saison a mauvaise réputation, mais c'est parfois le résultat d'un manque de gestion des excédents.

Cas d'un système herbager

Finalement, il existe des leviers qui permettent au premier système laitier étudié de plutôt bien s'adapter aux contraintes climatiques futures de la région. Les éleveurs ont souhaité connaître l'impact du climat futur sur un système herbager. Il a été défini comme suit :

Il s'agit d'une ferme disposant aussi de 100 ha de SFP, tous en herbe (dont 22 ha de prairies multi-espèces et 32 ha de prairies temporaires), avec la même part de surfaces à faible potentiel que dans le premier cas. Le troupeau compte aussi 50 vaches laitières, mais à plus faible potentiel (5 500 kg de lait par an), avec un intervalle vêlage-vêlage plus réduit. 14 génisses sont élevées chaque année. Le premier vêlage est à 34 mois et les vêlages sont groupés en début d'hiver. Les vaches laitières pâturent de fin mars à octobre, à partir de fin juin la ration est complétée par de l'herbe ensilée. En hiver, la ration se compose exclusivement d'herbe ensilée ou enrubannée et d'un peu de foin. La ration des génisses est constituée de foin et d'ensilage d'herbe complétés par un mélange pois-céréales en hiver, et de foin et d'herbe pâturée le reste de l'année. Ce système, assez économe, nécessite 2 tonnes de pois protéagineux, 14 tonnes de céréales et 43 tonnes de paille. Le chargement corrigé est de 0,76 UGB/ha SFP.

Les mêmes exercices que précédemment ont été effectués sur ce système à l'aide du Rami Fourrager®.

Dans le futur (année moyenne 2020-2050)

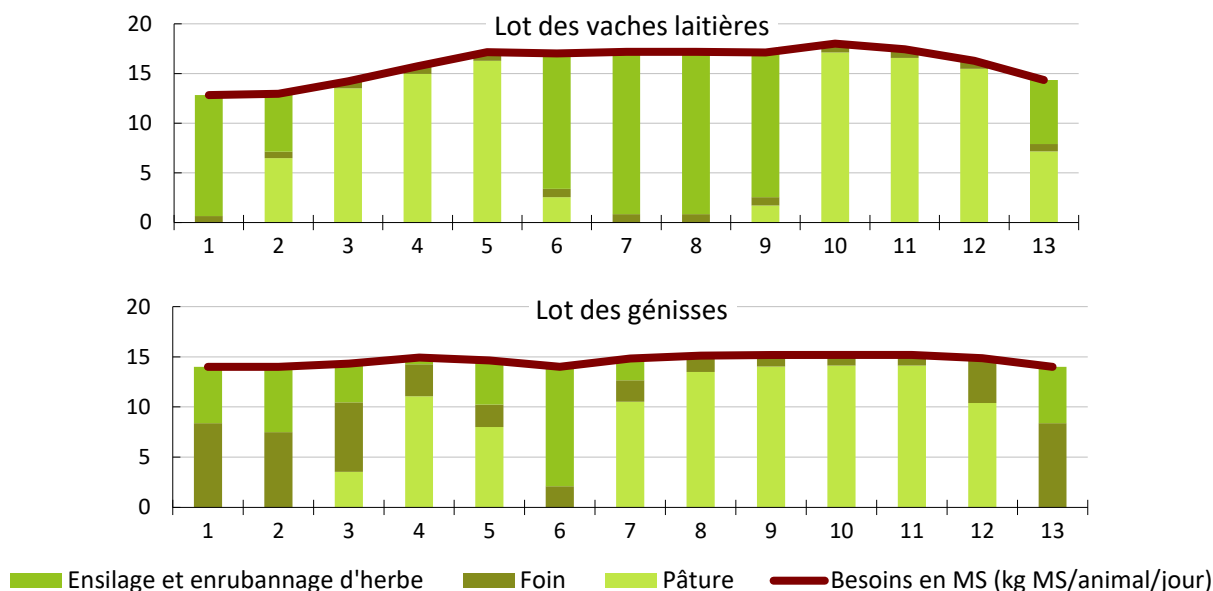
De la même manière que pour le premier système étudié, le système devient excédentaire : la production des prairies augmente (+ 55 tMS d'herbe ensilée, + 4 tMS de foin) et un surplus apparaît à l'automne du fait de la nouvelle répartition de la pousse de l'herbe. 14 ha de prairies permanentes dédiées à l'ensilage sont libérables pour la production de céréales.

Dans le cas de l'année « sèche »

Suite à ces adaptations, dans le cas d'une année sèche, le système devient déficitaire : il manque 44 tMS d'ensilage d'herbe et des surfaces pâturables pour les deux lots depuis début mai jusqu'à fin août. Ce système est donc bien plus fragilisé par l'aléa « printemps et été secs » que le premier système étudié.

Lorsque les mêmes adaptations que celles décrites pour le système 1 sont mises en place ici, il manque toujours 12 tMS d'ensilage d'herbe, et les génisses n'ont plus d'herbe à pâturer entre mi-mai et fin juin.

D'autres adaptations sont alors proposées : mettre les vaches laitières à l'herbe plus tôt, dès février, et rentrer les génisses début mai jusque fin juin, puis remettre les deux lots à l'herbe jusque mi-décembre pour profiter des fortes repousses d'automne. De cette manière, il n'y a pas besoin de remobiliser les 14 ha de prairies libérés précédemment qui peuvent entrer dans la rotation et servir à la production de méteil en grain. En revanche, la consommation de concentrés augmente légèrement : 1 tonne de céréales et 0,5 tonne de pois protéagineux supplémentaires sont nécessaires.



Matière sèche (en kg MS/animal/jour) apportée par les fourrages pour remplir les besoins en matière sèche des différents lots du système herbager étudié sur les treize périodes de 4 semaines du Rami Fourrager® d'une année « sèche ».

Finalement, via différents leviers d'adaptation, les deux systèmes étudiés ici peuvent faire face à l'évolution future du climat. Ces adaptations concernent principalement les prairies et passent par une meilleure valorisation de la pousse de l'herbe. Ceci implique une bonne technicité en matière de gestion du pâturage et de récolte des fourrages, surtout les années à aléa.

D'autres questions ont par ailleurs été évoquées.

Pour les éleveurs, la mortalité des prairies lors de forts épisodes de sécheresse tels que ceux décrits ici est un élément à prendre en compte dans le travail de sélection des espèces prairiales. Sélectionner sur l'aptitude des plantes à rentrer en dormance pour passer les épisodes de sécheresse et favoriser la reprise de végétation serait plus intéressant que de sélectionner sur la productivité en période de sécheresse, qui reste faible.

Concernant les effets des fortes chaleurs sur les animaux, l'agroforesterie est un secteur à explorer, le constat étant fait par les éleveurs que les feuilles d'arbres sont appétantes pour les vaches laitières.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Dans cette zone, l'effet du changement climatique est globalement positif pour les prairies et la luzerne qui profiteront des températures plus élevées au printemps et de l'effet CO₂, malgré une sécheresse estivale de plus en plus importante. 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. Quant au maïs, dont le rendement est déjà limité par la profondeur des sols de la région, il souffrira de plus en plus de la sécheresse. L'irrigation est une condition *sine qua non* à son maintien mais la disponibilité de l'eau en été à l'avenir pose question.

Par ailleurs, 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

Le Nord de l'Ardèche est déjà confronté à d'importants 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 systèmes étudiés étaient déjà bien préparés à surmonter une sécheresse estivale. Cependant, les aléas testés (printemps sec suivi d'une sécheresse estivale d'une ampleur encore jamais rencontrée) les ont affectés et ont poussé les éleveurs à envisager une meilleure valorisation de l'herbe disponible dans le futur, même si c'est à des moments ou pour l'instant l'herbe est délaissée. La diversification des ressources fourragères (par l'implantation de méteils et de dérobées) et le choix d'espèces et variétés adaptées aux sécheresses seraient des leviers pour faire face au déficit hydrique.

Valoriser l'herbe comme elle se présente

La restructuration des systèmes de façon à constituer la majeure partie du stock fourrager au printemps et à pâturer plus longtemps en arrière-saison diminue la sensibilité au stress hydrique en été, ainsi que la dépendance à l'irrigation. 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 passera nécessairement par des modifications de pratiques de façon à valoriser l'herbe lorsqu'elle se présente, notamment en fin de saison (fauches tardives, pâturage d'automne...).

Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les vaches laitières de plus en plus souvent. Ils regrettent le manque de recul sur les différents moyens de protection contre la chaleur qui sont actuellement sur le marché.

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 (Chaurouce)
- 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.

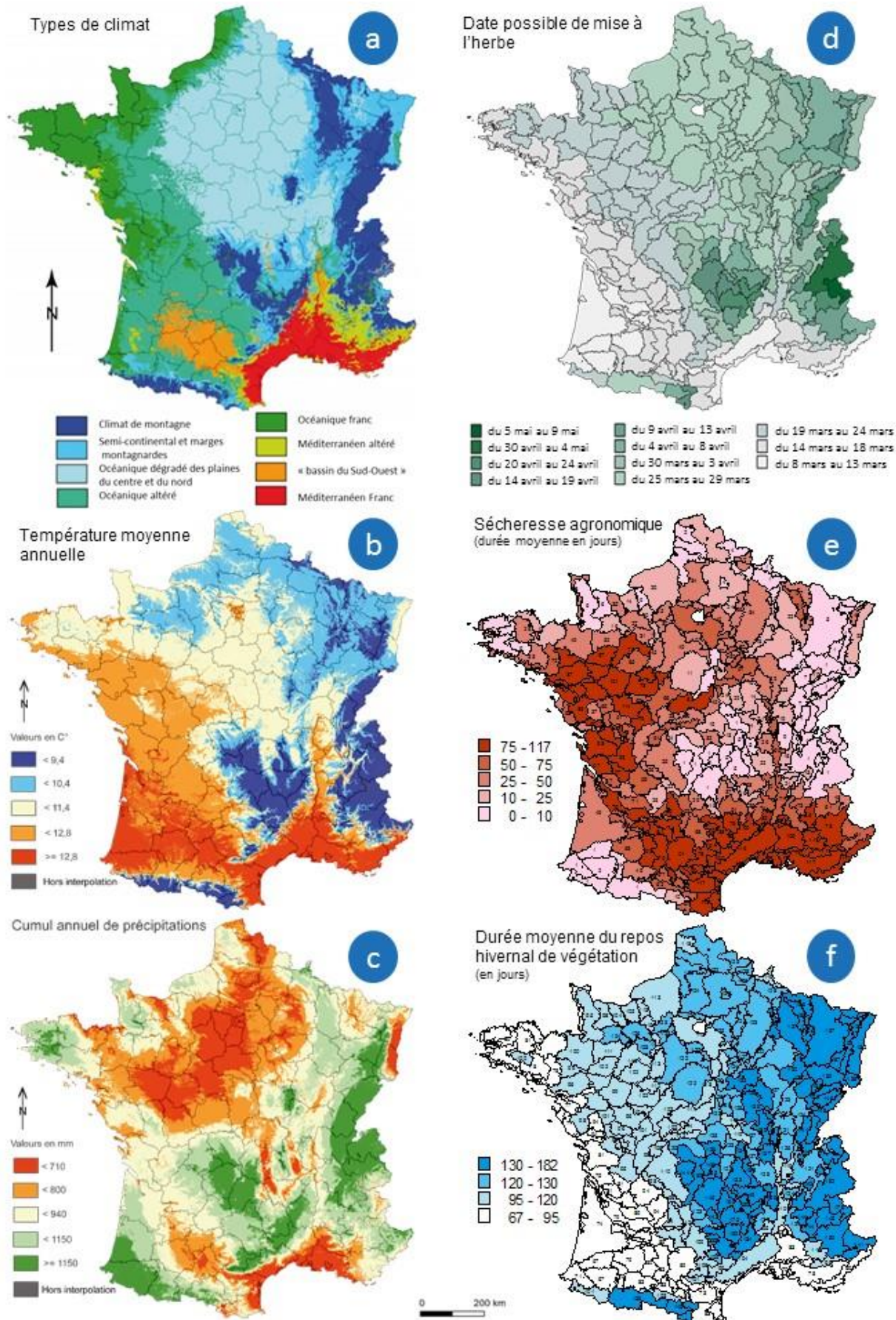
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil 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



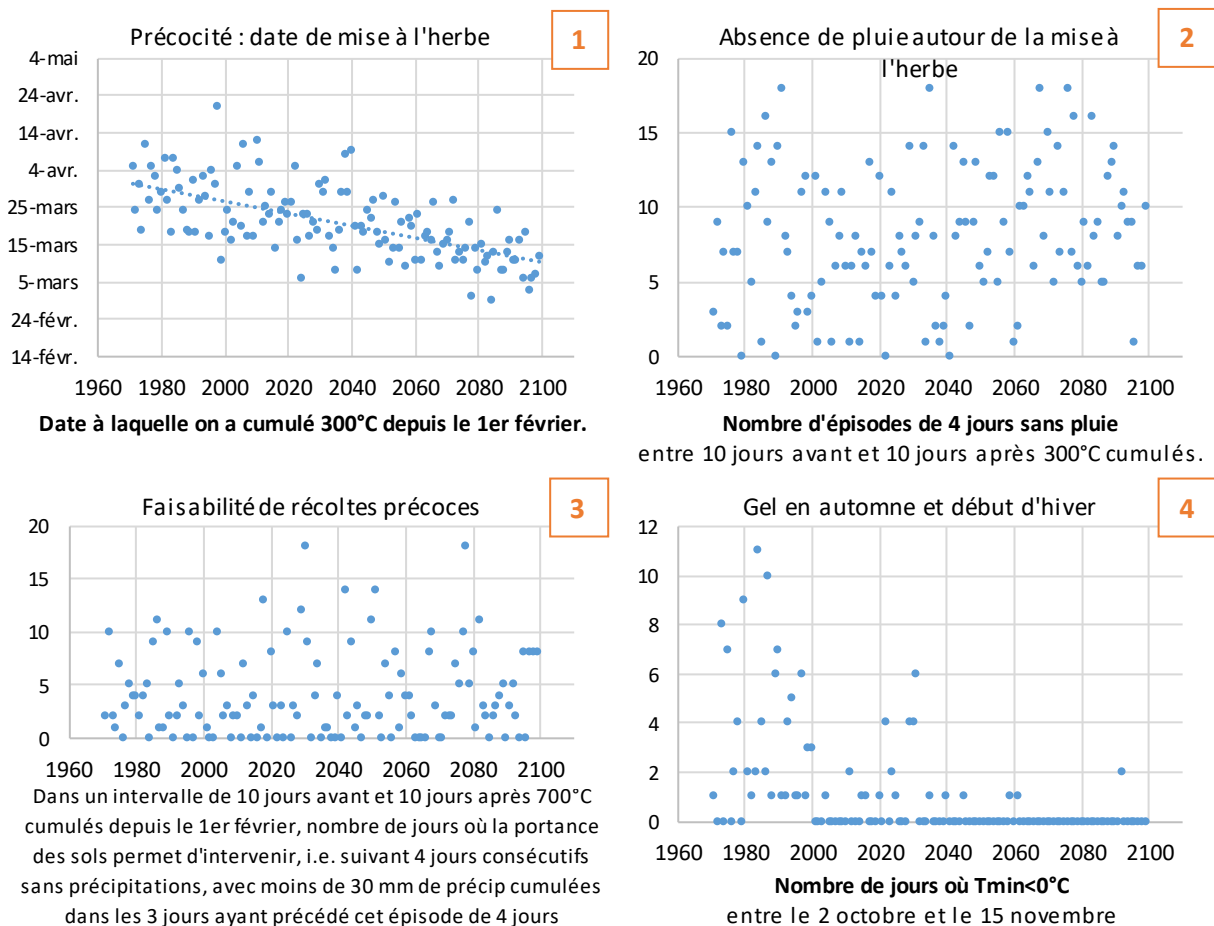
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis le 1^{er} février. e. La sécheresse agronomique 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.

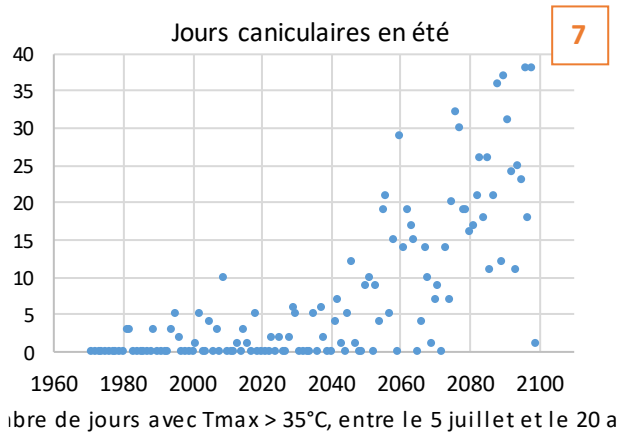
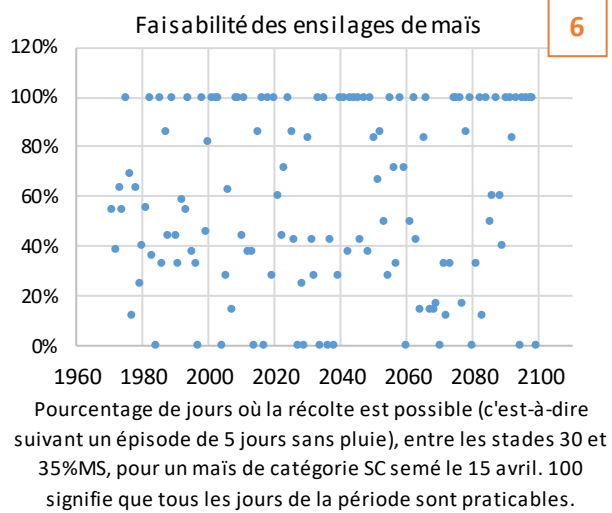
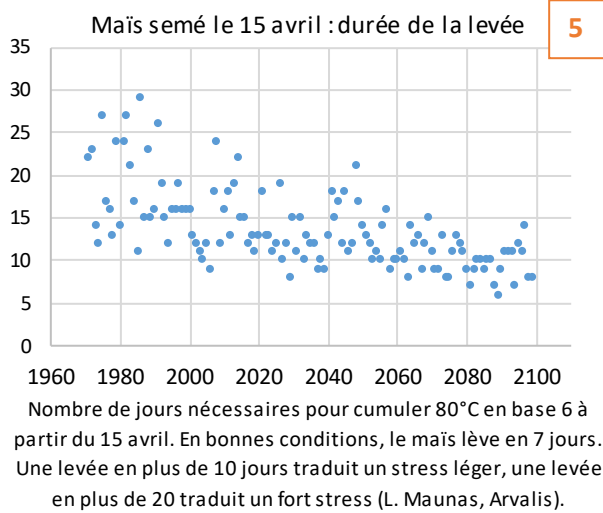
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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 [2]. En plein printemps, les récoltes précoces pourraient être réalisées dans des conditions similaires à celles connues actuellement, alors même que les dates optimales de fauche seraient plus précoces [3]. En fin de saison (du 2 octobre au 15 novembre), les journées de gel deviendront de moins en moins fréquentes, permettant souvent 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 restent globalement similaires [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).





Retrouvez tous les résultats du projet
CLIMALAIT sur :

cniel-infos.com
(rubrique « Environnement »
puis « Changement
climatique »)

climalait.idele.fr



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

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Rémi Masquelier (*Agri Bio Ardèche*),
Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : C. Helsly / CNIEL

Version : Avril 2019

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 Agri Bio Ardèche, ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'agriculture, 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

