



CLIMALAIT

POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

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

Le 5^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.

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 :

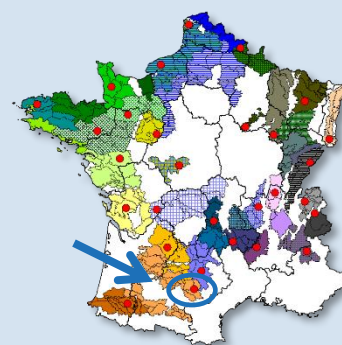
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

DES RÉSULTATS

pour la zone des Coteaux secs du Tarn



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

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

Glossaire

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

La Région Agricole des coteaux secs du Tarn

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 2 % par an, ce qui est inférieur à la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (dans cette zone, le nombre d'UTA par exploitation est relativement stable : 1,9 en 2010, contre 2 en 2000). Cela contraint les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité sur le 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	77	32	45	14	62	41
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	-3%	+22%	+14%	+32%	+29%	+30%	+30%

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

Le nombre de vaches laitières par exploitation suit la même tendance : comme dans toutes les zones d'étude, il augmente (mais dans une moindre mesure que dans d'autres zones). Le nombre de vaches allaitantes, lui, est en forte augmentation (+ 60 % entre 2000 et 2010).

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a ainsi atteint dans cette zone 282 000 litres (ce qui reste inférieur à la moyenne de notre échantillon de 29 zones), avec une moyenne par VL inférieure à celle rencontrée dans les systèmes de polyculture-élevage du Sud-Ouest, aux alentours de 6 800 litres.

Les surfaces en maïs et sorgho occupent environ 40 % de la SFP, cette part est supérieure à la moyenne des 29 zones d'étude (l'échantillon comporte aussi des zones herbagères). Les surfaces en sorgho, tout en restant inférieures à celles en maïs, se développent plus rapidement. L'irrigation est utilisée dans certaines exploitations, situées à proximité du Tarn (les prélèvements dans le Tarn sont moins souvent soumis à des restrictions que ceux dans ses affluents).

Le cheptel des exploitations de la zone s'étant accru au même rythme que la SFP, le chargement apparent a très peu évolué entre 2000 et 2010, il est de l'ordre de 1,4 UGB/ha. La sole en céréales et autres grandes cultures augmente, mais dans une moindre proportion que la taille des exploitations : en 2010, on comptait en moyenne 32 ha de ces cultures dans les exploitations laitières.

Au final, la zone offre en matière de cultures fourragères une forte diversité :

- le maïs (en sec ou irrigué) est présent, et le sorgho s'est développé entre 2000 et 2010,
- la prairie est présente sous diverses formes (Permanente, Temporaire, Artificielle – luzerne –),
- la sole en céréales apporte aussi des possibilités d'utilisation directe en transformation fourragère (ensilage de céréales immatures), mais aussi pour la mise en place de dérobées d'hiver ou d'été-automne,
- l'irrigation, lorsqu'elle est possible, est largement utilisée, sur maïs et sorgho mais aussi certaines prairies temporaires, notamment les luzernes.

Les coteaux du Tarn font partie des zones de polyculture-élevage du Sud-Ouest. L'élevage allaitant y occupe une place importante. Comme ailleurs, surfaces et cheptels ont augmenté entre 2000 et 2010, et cette tendance continue. Les cultures fourragères sont diverses : prairies, maïs, dérobées... L'irrigation, lorsqu'elle est possible, permet de sécuriser les systèmes fourragers face aux risques de sécheresse.

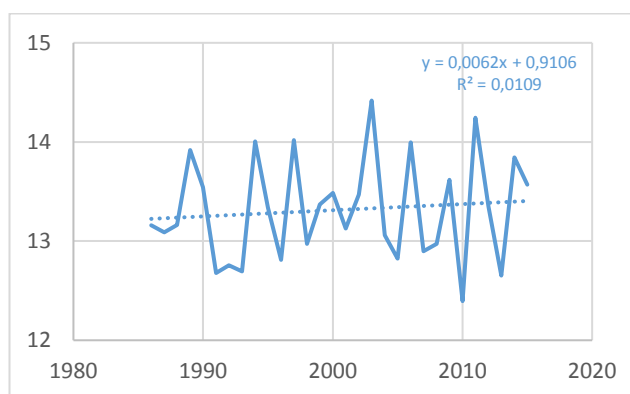
Climat de la zone des coteaux secs du Tarn

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

Les coteaux secs du Tarn font partie du « bassin du Sud-Ouest », avec un climat spécifique (carte a). La zone fait partie des plus chaudes de France (carte b), avec un cumul annuel de précipitations parmi les plus faibles (carte c). Par conséquent, l'arrêt de végétation en hiver est parmi les plus courts (carte f) et permet un redémarrage de la végétation (et donc la mise à l'herbe des animaux, carte d) précoce. Au contraire, la sécheresse agronomique estivale fait partie des plus longues (carte e).

Évolution récente du climat

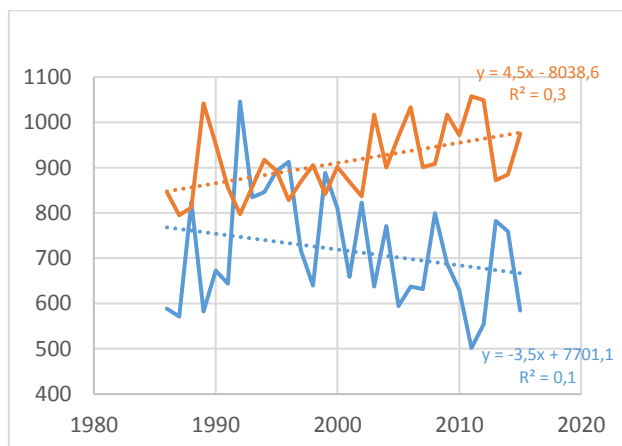
La zone des coteaux secs du Tarn a subi une légère augmentation de la température moyenne annuelle ces trente dernières années (de l'ordre de + 0,2 °C sur 30 ans), principalement due à un réchauffement au printemps (+ 1,4 °C sur 30 ans). La variabilité interannuelle demeure importante.



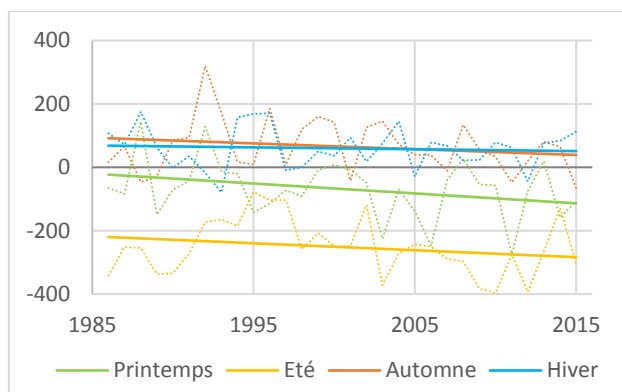
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015
(Données Météo-France Safran)

En lien avec l'élévation des températures, on note une hausse de l'ETP (de l'ordre de + 130 mm sur 30 ans). Les précipitations, elles, évoluent à la baisse, mais toujours avec une forte variabilité interannuelle du cumul de précipitations. À l'échelle de l'année, le cumul d'ETP est globalement supérieur au cumul des précipitations, et cette situation s'amplifie.

À l'échelle saisonnière, le déficit hydrique s'accroît au printemps (- 90 mm en 30 ans) et en été (- 60 mm). En automne et en hiver, le bilan hydrique reste globalement excédentaire. Là encore, la variabilité interannuelle est importante.



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

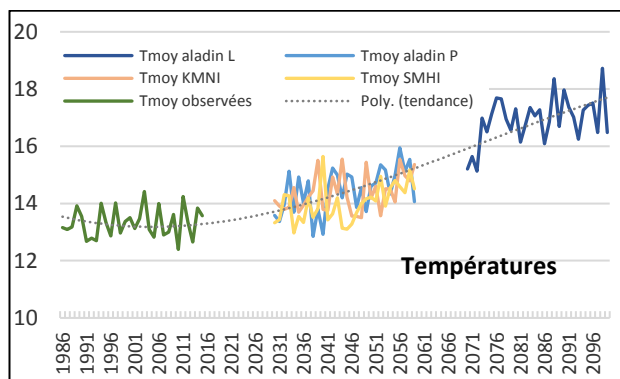


Bilan hydrique (P-ETP, en mm) calculé par saison de 1986 à 2015
(Données Météo-France Safran)

Évolutions futures du climat

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

Évolution des températures moyennes annuelles



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

L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 2,6 °C) que l'été (+ 5,4 °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, pour cette zone, quand on évoque une température moyenne en hausse de 4 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, cela signifie en moyenne + 6 °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.

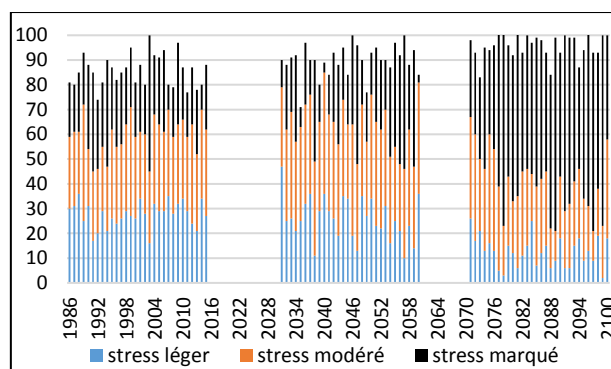
	Obs 30 ans	1986- 2000	2001- 2015	Aladin 2030- 2059	KMNI 2030- 2059	SMHI 2030- 2059	Aladin 2070- 2099
1 année sur 2 entre le... et le ...	10/3 20/3	10/3 17/3	10/3 21/3	2/3 16/3	6/3 17/3	4/3 14/2	29/2 5/2
Médiane	14/3	14/3	17/3	8/3	12/3	8/3	3/3

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.

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 selon l'intensité du stress tel que mesuré 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 14 mars (une année sur deux entre le 10 et le 20 mars), elle pourrait passer aux alentours du 10 mars dans le futur proche (entre le 8 et le 12 selon les modèles), et du 3 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

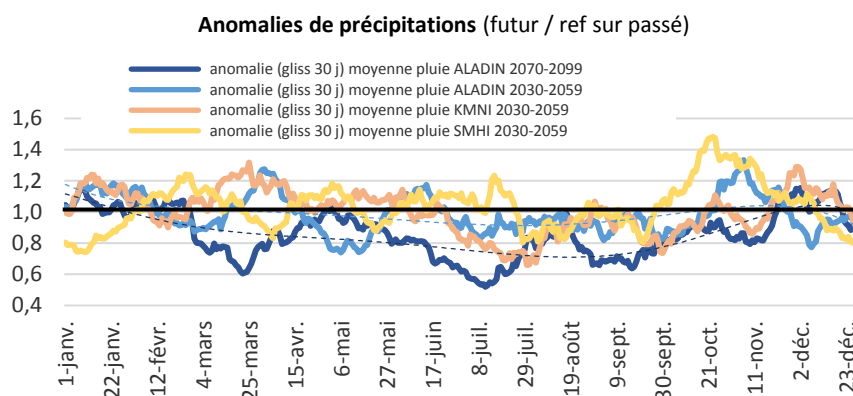
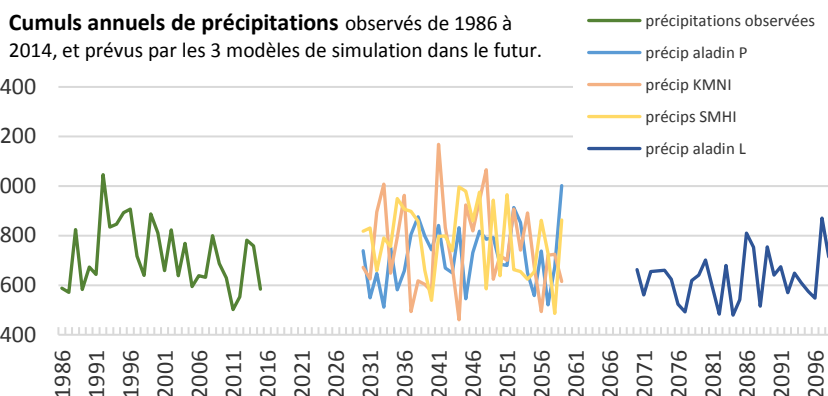
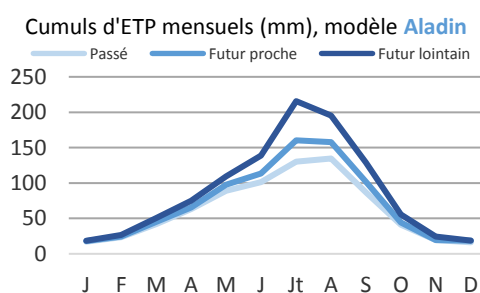
Évolution des précipitations

Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des trois 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, c'est qu'il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1.

Ainsi, dans le futur proche, les trois modèles prévoient moins de précipitations en été (en août et septembre pour **SMHI**, dès la mi-juin pour **KMNI** et **Aladin**). Au contraire, ils semblent prévoir plus de précipitations à l'automne pour **SMHI** et **Aladin**, et en hiver et au printemps pour **KMNI**. Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations sur presque toute l'année.

On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales, voire printanières, plus fréquentes. Le tableau ci-contre indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur, selon le modèle climatique.



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**).

	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 05/03 et le 05/04	3/10	3/10	3/10	+13%	-17%	+0%	+30%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	2/10	1/10	2/10	+13%	+20%	+7%	+27%

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 augmenterait l'ETP au cours de l'année. En augmentant plus fortement et plus tôt, l'ETP créera un état de sécheresse non seulement plus fréquent et plus prononcé, mais aussi plus précoce. Le modèle **Aladin** est le seul pour lequel nous disposons des calculs d'ETP, aussi c'est le seul à partir duquel nous avons réalisé les simulations de culture qui permettent d'intégrer tous les effets du changement climatique sur la plante : augmentation des températures et de l'ETP, modifications du régime de précipitations, effets directs du CO₂.

Le climat des coteaux du Tarn est typique du Sud-Ouest : chaud et sec. Les températures moyennes sont en augmentation, légère dans les dernières décennies et de plus en plus marquée dans le futur simulé, 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 des épisodes caniculaires de plus en plus nombreux et intenses, qui impliqueraient un arrêt de la croissance voire la mort 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. La répartition des précipitations sur l'année diffère d'un modèle à l'autre, mais tous prévoient une diminution des pluies au cœur de l'été. Cumulé avec la hausse prévue de l'évapotranspiration, cet effet contribue à accentuer le 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 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
Boulbène	120 cm	20 %	120 mm
Terrefort	80 cm	45 %	65 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.

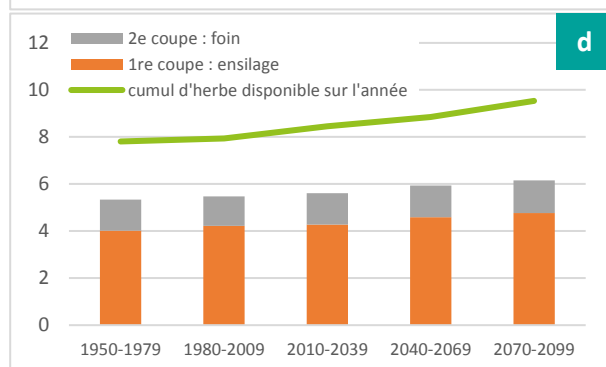
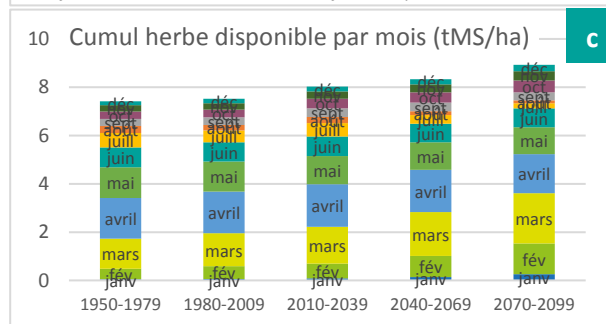
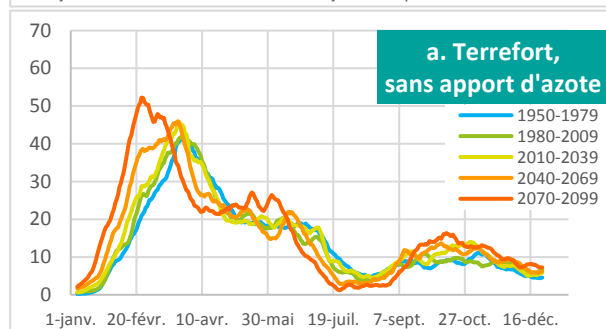
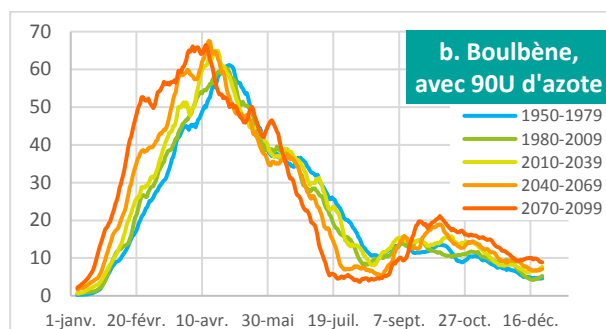
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques.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

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

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

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

Ci-contre : a et b) pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée, pour deux exemples de combinaison sol x fertilisation ; **c)** cumul d'herbe disponible (en moyenne sur les 2 sols et pour 2 niveaux de fertilisation), et **d)** rendements moyens des récoltes de foins et cumul d'herbe disponible sur l'année, en moyenne sur les 2 sols, pour N=90U.



Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur les mêmes sols que précédemment, pour des itinéraires techniques à 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 quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les 4 ou 5 coupes visées 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. Un itinéraire technique à 5 coupes visées, avec irrigation, a aussi été testé. Le modèle calcule l'irrigation en fonction du stress hydrique.

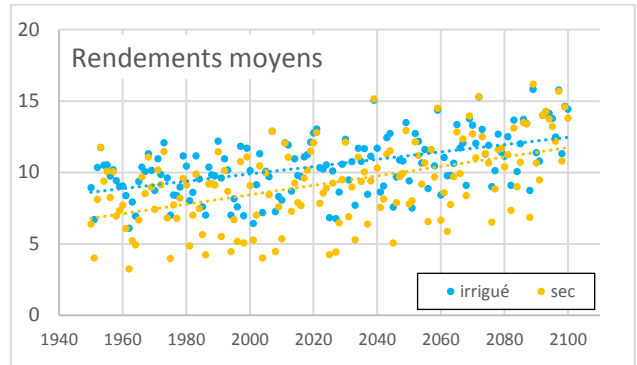
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. D'autre part, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée. L'irrigation permet d'atténuer cette variabilité.

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 8 jours plus tôt que par le passé ; on gagnerait encore 8 jours dans la période 2040-2069, et presque deux semaines dans la période 2070-2099, sans pour autant que les rendements diminuent.

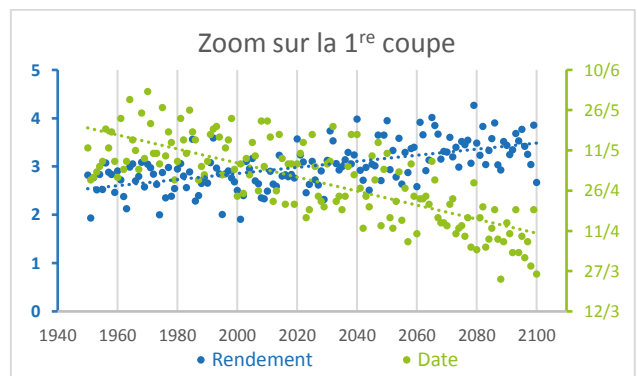
Le détail des rendements cumulés en fonction du nombre de coupes et de leur espacement dans la saison (non présenté ici) montre des rendements assez proches. Les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté, et du temps de travail nécessaire.

L'irrigation est un levier de sécurisation car elle rend les 3^e et 4^e (voire même 5^e) coupes, bien plus souvent possibles. En effet, avec irrigation, les 3^e et 4^e coupes seraient possibles tous les ans, et la 5^e le serait au moins 4 années sur 5 (contre 3 à 4 années sur 10 sans irrigation).

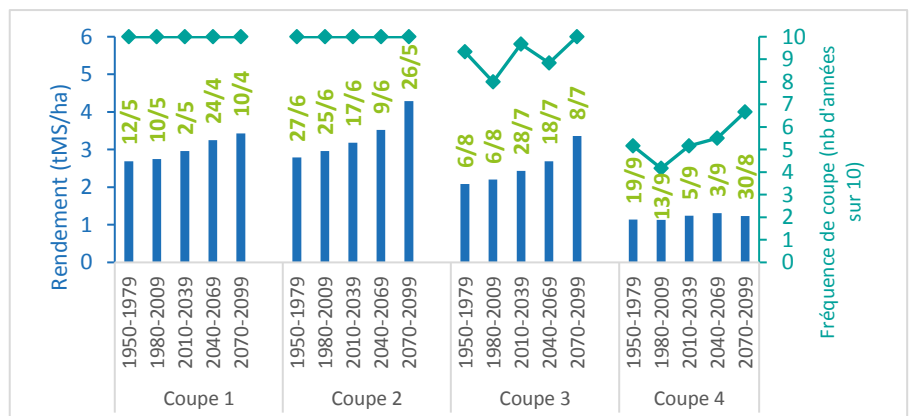
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations (en moyenne sur les deux sols).



Dates de coupe et rendements en 1^{re} coupe (/4), en moyenne sur les deux sols utilisés



Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans et pour les deux sols, sans irrigation, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues.

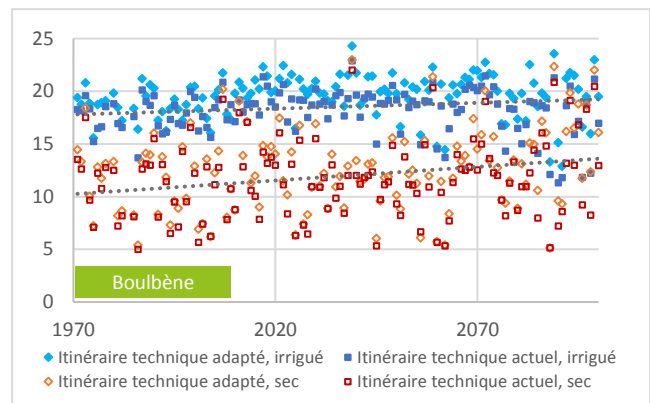


Maïs

Les simulations sont réalisées pour :

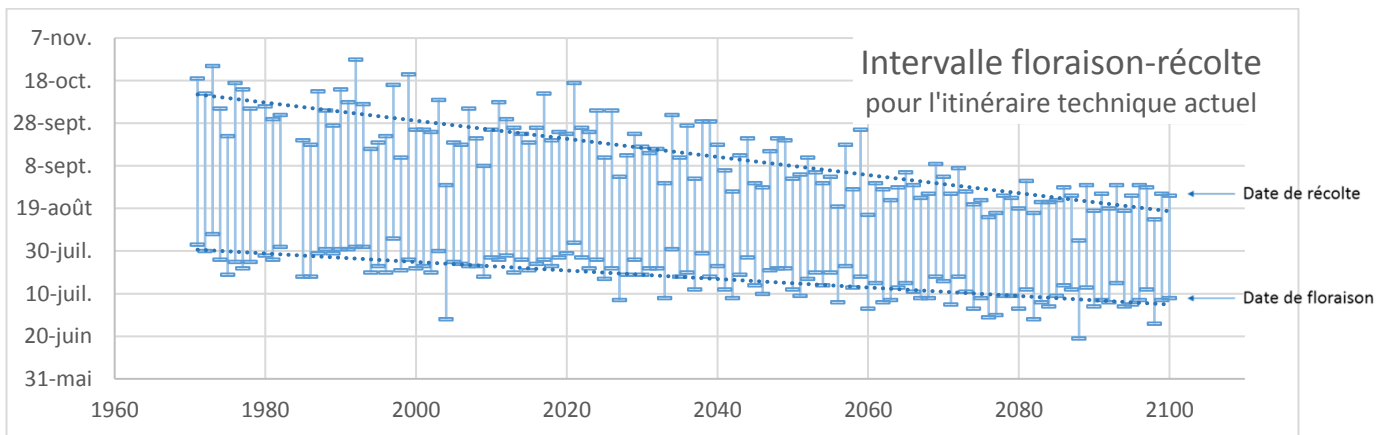
- deux types de variétés : une dite « demi-tardive » ou DT, dont l'indice est compris entre 400 et 480, et une dite « tardive » ou T, d'indice 450 à 560.
- deux dates de semis : la normale actuelle (20 avril) et 15 jours plus tôt,
- les deux types de sol présentés précédemment,
- avec ou sans irrigation.

Par la suite, on parlera d'itinéraire technique actuel pour une variété d'indice 400 à 480 semée le 20 avril, et d'itinéraire technique adapté pour une variété d'indice 450 à 560 semée le 5 avril.



Rendements obtenus pour chaque année simulée, dans deux configurations précocité x date de semis (actuelle et adaptée), avec et sans irrigation

Les rendements seraient stables dans l'ensemble, voire en légère augmentation, avec une importante variabilité inter-annuelle qui semble s'amplifier en fin de siècle. Comme pour la luzerne, l'irrigation atténuerait cette variabilité. Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces. Des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risquer de problème à la récolte.



Évolution des dates de floraison et récolte pour la combinaison précocité x date de semis actuelle.

Les simulations réalisées mettent en évidence une évolution de la répartition de l'herbe disponible au cours de l'année : le démarrage en végétation est de plus en plus précoce, tandis que le creux de production en été et la reprise à l'automne s'accroissent et se prolongent. 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 stables (voire augmentent légèrement), et variables d'une année sur l'autre, notamment sans irrigation. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Cette dernière phase a été menée avec la Chambre d'Agriculture du Tarn, en lien avec le projet Melibio (pilote par le Pôle Agriculture Biologique Massif Central) pour le choix des années et l'élaboration des différents éléments du Rami Fourrager®. Un autre atelier de réflexion a ainsi été mené avec un groupe d'éleveurs laitiers tarnais en agriculture biologique dans le cadre de Melibio.

Les systèmes traités

Le groupe, constitué d'éleveurs et de techniciens de la zone, a construit un cas représentatif des exploitations de la zone d'étude. Il s'agit d'une ferme disposant de 100 ha de SAU, dont 48 sont destinés à l'atelier lait : 31 ha de prairies, 5 ha de luzerne et 12 ha de maïs irrigué (dont 4 ha avec une culture dérobée avant le maïs). Le troupeau est constitué de 50 vaches Prim'Holstein à 8 500 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages groupés sur l'automne. Quinze génisses sont ainsi élevées chaque année. Le chargement corrigé s'élève à 1,69 UGB/haSFP.

La ration des vaches laitières est identique toute l'année : trois quarts d'ensilage de maïs, et de l'ensilage d'herbe et de foin de luzerne pour le quart restant. Les génisses sont nourries de foin en hiver, d'herbe pâturée en été, et on introduit de l'ensilage de maïs et d'herbe sur les derniers mois avant le premier vêlage et leur introduction dans le troupeau de VL.

Le climat

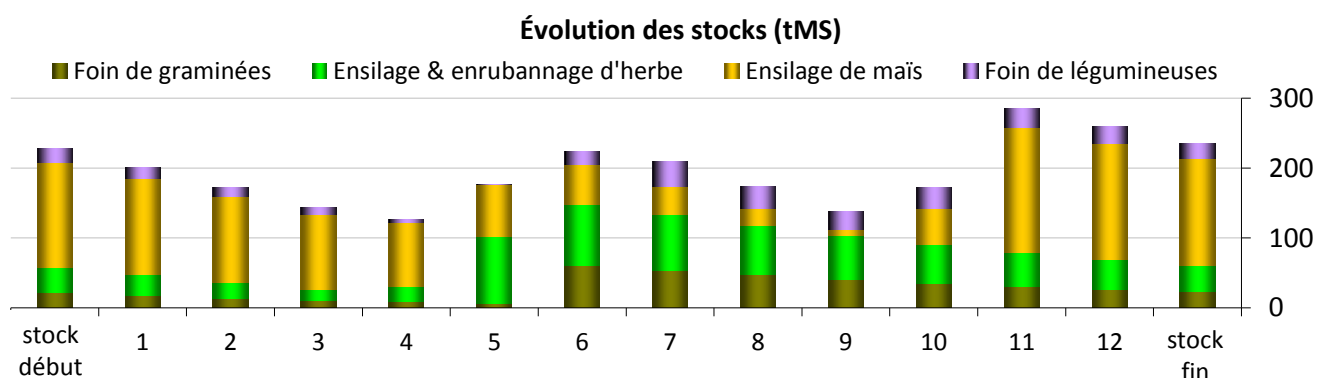
Le système a été confronté à trois contextes climatiques différents. Dans un premier temps, il a été paramétré et équilibré dans le climat moyen de la période de référence 1971-2000. Ensuite, à l'aide du Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la période 2051-2080. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un printemps pluvieux suivi par une forte sécheresse estivale, ce qui correspond à la période de floraison du maïs. Ces aléas sont ceux qui semblaient les plus difficiles à surmonter pour les éleveurs du groupe de réflexion du projet Melibio.

	1971-2000	2051-2080	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300°C depuis le 1 ^{er} février)	16 mars	7 mars	7 mars
Faisabilité de récoltes précoces (Nombre de jours où la somme des précipitations sur les 5 jours précédents est >40 mm, entre 10 jours avant et 10 jours après la mise à l'herbe)	4,5	7,5	0,5
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28^{\circ}\text{C}$, entre 1100°C cumulés et le 5 juillet)	0,8	13	23
Bilan hydrique à la floraison du maïs (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains)	- 97	- 105	- 176
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	40	35	20

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

Les adaptations envisagées

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 :



Dans le futur (année moyenne 2051-2080)

Sans adaptation, le système génère 40 tMS supplémentaires, issues des prairies (graminées et légumineuses). La production de maïs reste similaire. Le chargement corrigé (celui qui rend compte de la productivité réelle de la SFP) passe de 1,69 à 1,84 UGB/ha SFP.

Le système est ensuite adapté pour profiter de ce supplément de fourrages : la SFP est réduite de 4,5 ha au profit des cultures de vente. Les rations restent identiques. Le chargement corrigé s'élève alors à 1,86 UGB/ha SFP.

Dans le cas de l'année « avec aléas »

Sans nouvelle adaptation, le système devient déficitaire : il manque 44 tMS d'ensilage de maïs et au moins 6 tMS d'ensilage et foin d'herbe. En effet, dans ces conditions climatiques, les rendements du maïs sont faibles, même avec irrigation. De plus, les mauvaises conditions au printemps risquent de retarder la mise à l'herbe des génisses et la réalisation des premières coupes sur prairies : ces dernières, réalisées sur des prairies à des stades avancées, fournissent des fourrages de qualité médiocre. Le chargement corrigé atteint alors 1,60 UGB/ha.

De nombreux leviers ont été évoqués pour pallier ce déficit fourrager et faire face au stress thermique sur les animaux. Ils ont été qualifiés selon leur caractère durable (D) ou conjoncturel (C).

➤ Au niveau de la production fourragère

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(C et D) Ensiler une partie des céréales, ou les valoriser à travers des rations paille alimentaire + grain.	
(C) Utiliser de la paille dans la ration des génisses ou pour des VA.	(C) Il faut aussi acheter des compléments, et/ou de la mélasse et/ou du grain. Utiliser plutôt de la paille de colza pour pailler.
(C et D) Cultiver du maïs à double fin, voire même d'autres espèces.	
(D) Maintenir ou développer la luzerne, moins sensible aux aléas testés.	C'est une culture qui demande des compétences techniques, avec des coûts de récolte et des rendements dans l'ensemble plus faibles que le RGI. La luzerne en pur est valable seulement sur certains types de sols (notamment les argilo-calcaires). <u>Pistes à explorer</u> : <ul style="list-style-type: none">➤ intégrer la luzerne dans des mélanges (quels mélanges et quelles proportions ?),➤ sur-semis de graminées dans des luzernes à l'automne.
(C) Semer du RGI partout où c'est possible pour reconstituer les stocks. (C) Semer des couverts qui pourront être récoltés ou enfouis selon les besoins en fourrages (pour garder l'intérêt agronomique des cultures intermédiaires sur le sol : couverture, structure...) : les méteils peuvent jouer ce rôle.	Attention, le RGI risque de souffrir si fortes chaleurs et/ou sécheresse... Voir pour utiliser d'autres graminées, qui résistent mieux à la sécheresse : certains bromes et fétuques notamment.
(D) Planter des dérobées d'été (RGI implanté tôt, sorgho fourrager) en visant une coupe de début d'hiver ou du pâturage d'automne.	Mais les fourrages ainsi produits ont une valeur alimentaire moyenne...
(C) Acheter des fourrages.	(D) Possible si on a pu faire des cultures de vente les bonnes années pour avoir de la trésorerie.
(C) Récolter même si les rendements sont faibles ou très faibles.	

➤ Au niveau de la conduite du troupeau laitier

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(C) Réduire sa production les mauvaises années, en anticipant les réformes.	
(C) Ne pas engraisser les réformes.	
(C) « Arroser » les vaches les jours de forte chaleur.	Il vaut mieux des grosses gouttes qu'un brumisateur, car sinon ça ne fait qu'augmenter l'humidité dans l'air, sans rafraîchir les vaches.
(D) Décaler les vêlages pour que le pic de lactation ne soit pas au moment des fortes chaleurs.	
(D) Adapter la génétique (Mb x PH supporterait mal la chaleur, d'après les éleveurs).	

➤ Au niveau des bâtiments

(D) Ventiler les bâtiments : « on gagne 2°C et du confort » (D) Construire des bâtiments assez hauts, ouverts (qui permettent une ventilation sans ventilateur), isoler les toitures.	
--	--

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Sans l'effet CO₂, dans le futur moyen, la zone serait affectée par une baisse des rendements : l'effet de l'évolution moyenne du climat est défavorable. En intégrant l'effet CO₂, l'effet du changement climatique devient globalement positif malgré le déficit estival. 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 : les vertus des systèmes à ressources diversifiées

Le système étudié repose en grande partie sur l'utilisation d'ensilage de maïs. Malgré l'irrigation, celui-ci est fortement affecté par la sécheresse estivale. Les prairies (de graminées et/ou légumineuses), les méteils et les dérobées pourraient améliorer la résilience de ce système face au déficit hydrique estival, en répartissant la production de fourrage et la sensibilité à la sécheresse de la fin de l'hiver à l'automne.

L'augmentation des températures entraîne un raccourcissement des cycles de végétation, ce qui pourrait faciliter la pratique des cultures dérobées, mais seulement dans les cas où les ressources en eau sont suffisantes.

La culture du maïs « à double fin » continuerait à être un des piliers de la sécurisation des systèmes : on cultive plus de maïs que le besoin ordinaire et, en mauvaise année, on récolte moins pour le grain et plus en ensilage. En plus de ce puissant levier, les cultures de vente permettent de sécuriser le système, en apportant la trésorerie nécessaire à l'achat de fourrage les mauvaises années.

Valoriser mieux l'herbe : pas si simple...

Beaucoup de troupeaux laitiers de la zone ne pâturent plus, même au printemps. Il y a beaucoup de raisons techniques à cela, comme le manque de technicité où la présence de sols peu portants, mais la raison principale est le manque de surfaces disponibles autour des stabulations, et le morcellement du parcellaire, liés à la topographie et à l'histoire.

Les surfaces en prairies sont souvent dévolues aux génisses, avec un niveau de valorisation très perfectible.

Restructurer le parcellaire est la condition *sine qua non* du retour partiel à l'herbe, l'alternative serait le *O Grazing*, mais cette technique reste coûteuse par rapport au pâturage.

Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les VL de plus en plus souvent. C'est déjà le cas dans la zone, et des leviers sont connus, au niveau de la conception des bâtiments comme au niveau zootechnique. L'isolation des toitures et la ventilation des bâtiments permettent un meilleur confort thermique lors des épisodes de forte chaleur, appuyées par la brumisation (avec tout de même des interrogations autour de la taille des gouttes d'eau). Au plan zootechnique, l'adaptation de la génétique du troupeau ainsi qu'une modification de la répartition des vêlages pourraient être envisagées.

Accès à l'eau

La zone des coteaux secs du Tarn est déjà confrontée 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. Le choix d'espèces et variétés plus efficaces dans leur utilisation de l'eau serait un levier pour faire face au déficit hydrique, de même que la diversification des ressources fourragères.

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 (Chaource)
- 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.

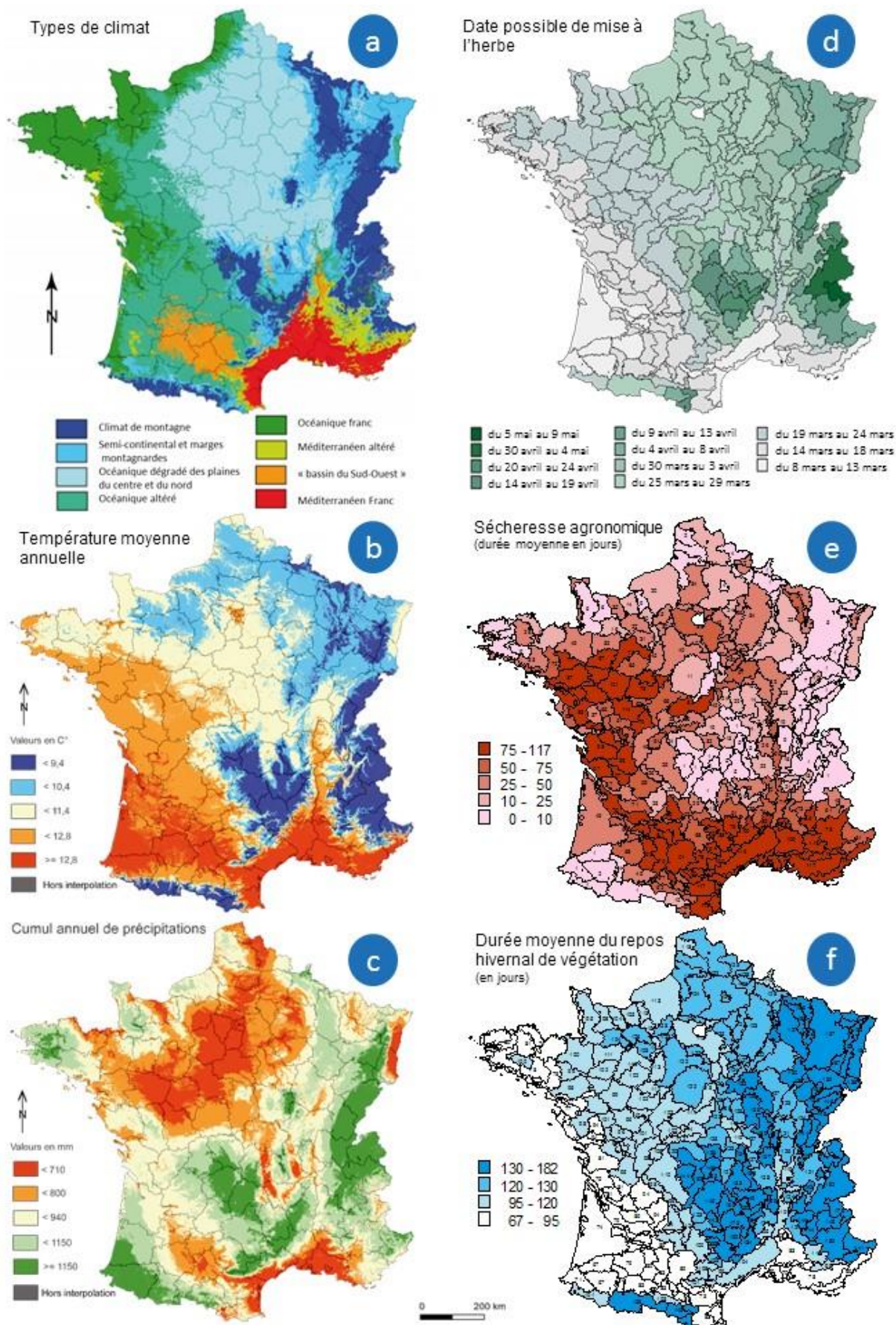
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



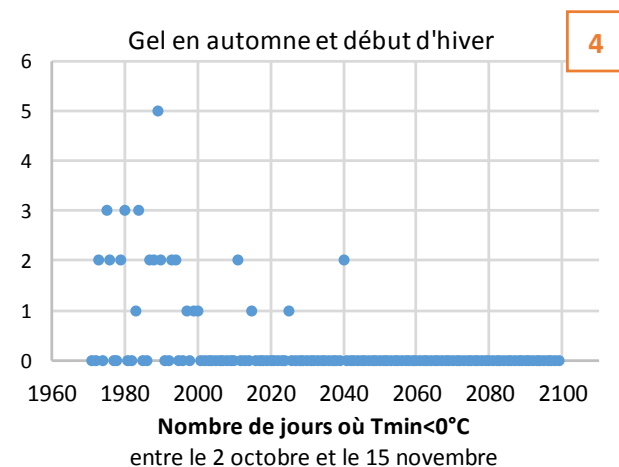
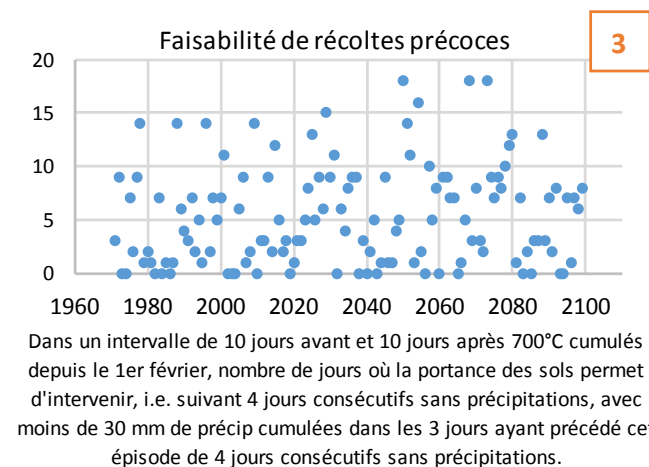
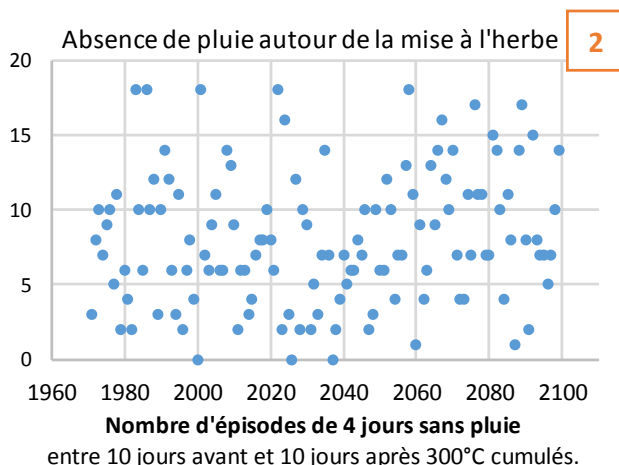
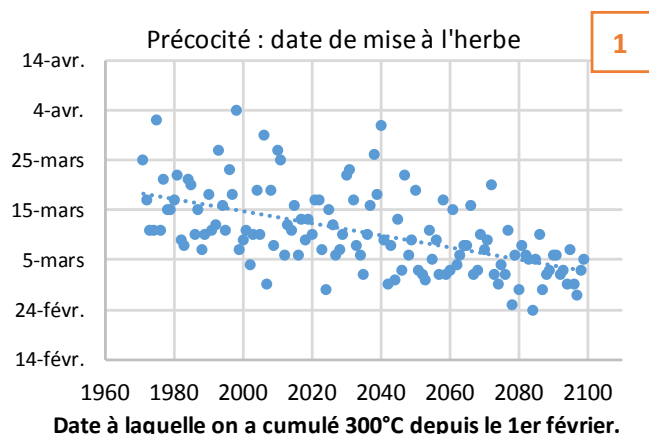
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

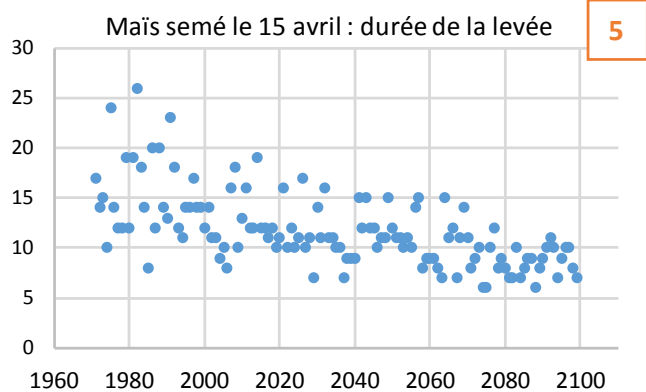
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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 seraient facilitées par une plus grande fréquence d'épisodes de 7 jours consécutifs favorables au ressuyage du sol et à la réalisation de la fauche et du pré-fanage dans de bonnes conditions [3]. En fin de saison (du 2 octobre au 15 novembre), les journées de gel deviendront de moins en moins fréquentes puis disparaîtront, permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe) [4]... En ce qui concerne le maïs, l'augmentation des températures diminuerait les risques de stress lié au froid lors de la levée [5], ce qui pourrait permettre des semis plus précoces. En fin de cycle, les conditions de récolte restent globalement similaires [6], alors que l'augmentation des températures accélère le dessèchement des grains et donc raccourcit la période optimale de récolte.

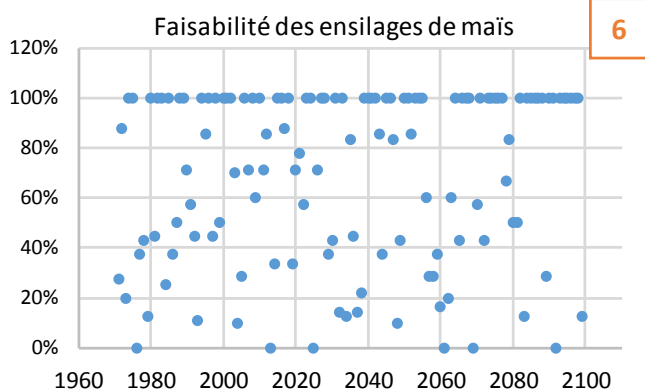
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





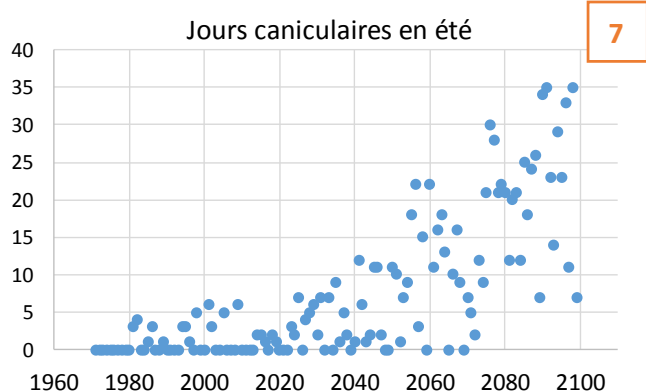
5

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



6

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



7

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

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

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Jean-Bernard Mis (*Chambre d'Agriculture du Tarn*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : A. Lecerf / *CNIEL*

Version : Nov. 2018

Remerciements aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail.

Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'un Projet de recherche initié par le CNIEL, mené conjointement avec ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'Agriculture (ici la chambre d'agriculture du Tarn), 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

