



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 :

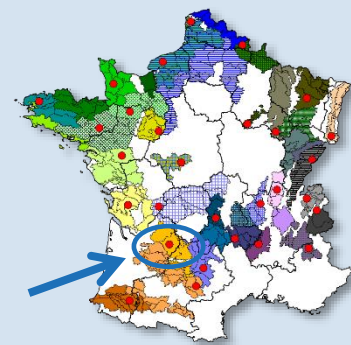
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

DES RÉSULTATS

pour la zone du Périgord noir



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

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

Glossaire

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

La Région Agricole du Périgord noir

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 5 % par an, ce qui est supérieur à la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (au contraire, le nombre d'UTA diminue d'1 % par an dans la zone), ce qui 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	2,1	64	15	48	15	58	38
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	-9%	+48%	+22%	+63%	+55%	+56%	+52%

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

Parmi les zones d'étude choisies, la RA du Périgord noir est une de celles dans lesquelles les exploitations se sont le plus agrandies entre les RGA de 2000 et 2010, alors que leur nombre a fortement diminué. Ainsi, si le nombre de VL par exploitation reste limité par rapport à d'autres zones d'étude, il a fortement augmenté entre 2000 et 2010, et cette évolution se prolonge. Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a ainsi atteint dans cette zone 285 000 litres (ce qui reste inférieur à la moyenne de notre échantillon de 29 zones), avec une moyenne par VL du même ordre que dans les systèmes de polyculture-élevage du Sud-Ouest, aux alentours de 7 500 litres.

De même, l'augmentation de la SAU est parmi les plus importantes de l'échantillon. Les surfaces en maïs et sorgho occupaient 41 % de la SFP en 2010 (32 % en 2000), cette part est supérieure à la moyenne des 29 zones d'étude. L'irrigation est utilisée dans certaines exploitations. 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 1,18 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 15 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.

D'autres cultures occupent une place importante dans le département : fraises, pommes, noix, châtaignes, tabac... Elles constituent souvent un atelier dans les exploitations laitières, et permettent ainsi aux systèmes de mieux faire face aux aléas.

Le Périgord noir n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations : surfaces comme cheptel ont fortement augmenté entre 2000 et 2010. Les surfaces fourragères comportent une importante part de maïs et sorgho, et des prairies. Les fermes laitières de la zone ont pour la plupart d'autres activités (arboriculture...) qui sécurisent l'ensemble du système face aux aléas.

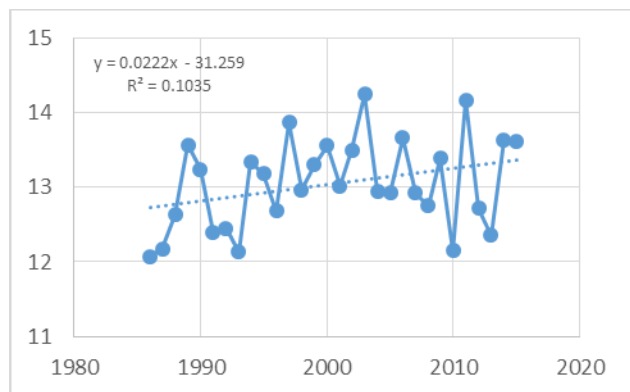
Climat de la zone du Périgord noir

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

Le Périgord noir, comme presque tout le département de la Dordogne, bénéficie d'un climat dit « océanique altéré » (carte a), avec des températures assez douces (carte b) qui permettent un arrêt de végétation hivernal plutôt court (carte f) et donc un démarrage de la végétation (caractérisé par la date d'arrivée à 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février, carte d) relativement précoce par rapport aux autres zones de France : un atout pour la valorisation de la prairie. Le cumul annuel des précipitations est assez élevé (carte c), et la sécheresse estivale est parmi les plus courtes du quart Sud-Ouest (carte e).

Évolution récente du climat

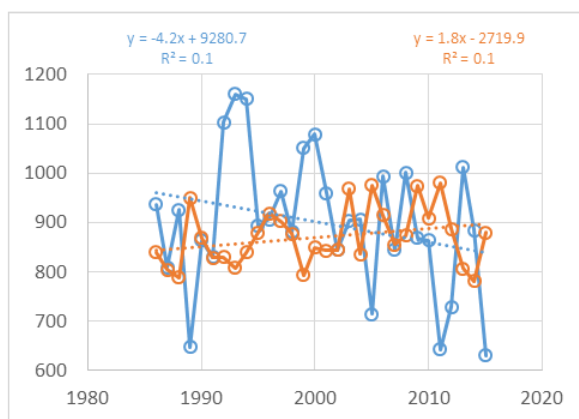
L'évolution de la température moyenne annuelle sur la zone du Périgord noir (site de Sainte-Mondane) est relativement nette : en 30 ans, le climat s'est réchauffé de plus de 0,6 °C. La variabilité interannuelle demeure importante. Cette augmentation de la moyenne annuelle est principalement due à un réchauffement au printemps (de l'ordre de + 1,8 °C sur 30 ans).



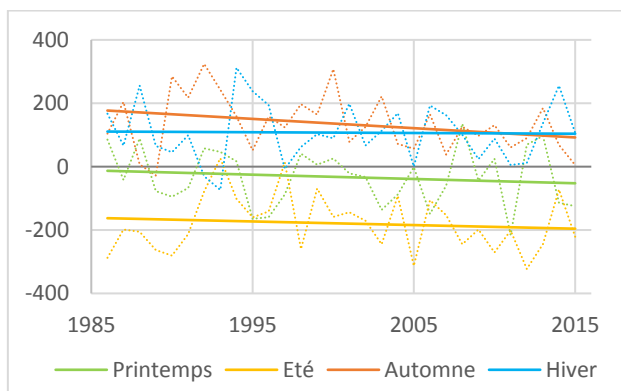
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

En lien fort avec l'élévation des températures, on note une tendance à la hausse de l'ETP (de l'ordre de + 50 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 de plus en plus souvent supérieur au cumul des précipitations.

Conséquence directe de l'évolution des précipitations et de l'ETP, le bilan hydrique diminue au printemps, en été et en automne (respectivement de l'ordre de 40 et 30 et 85 mm). Il reste stable en hiver.



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

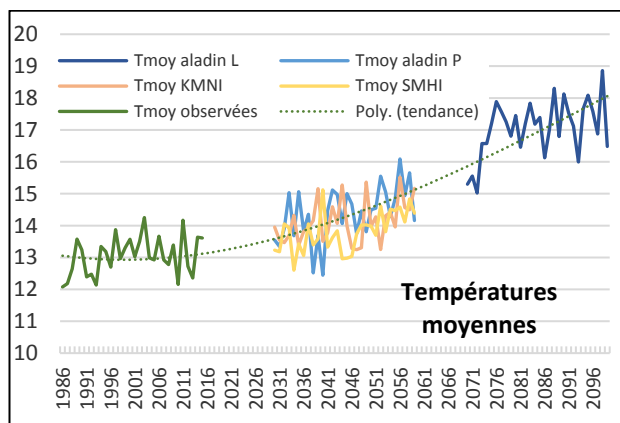


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

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



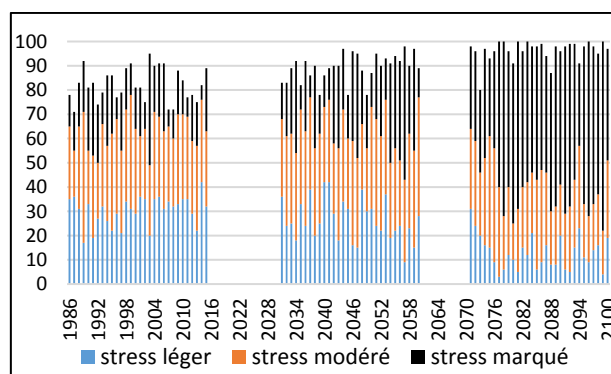
Quel que soit le modèle, il prédit une augmentation de température encore modérée (de l'ordre d'1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérait rapidement pour atteindre + 4 °C par rapport au niveau actuel.

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



	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	9/3 18/3	10/3 21/3	1/3 17/3	6/3 17/3	2/3 13/3	28/2 4/3
Médiane	13/3	13/3	15/3	7/3	12/3	8/3	1/3

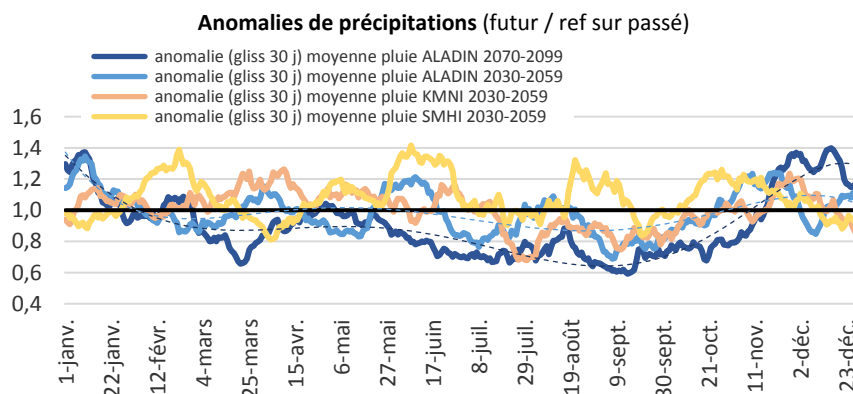
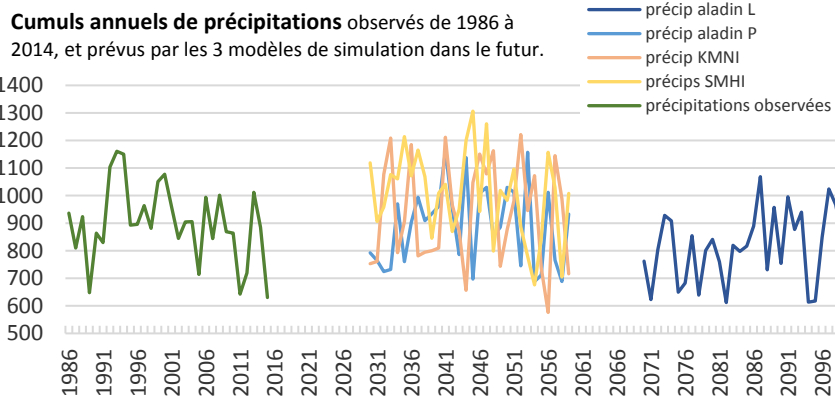
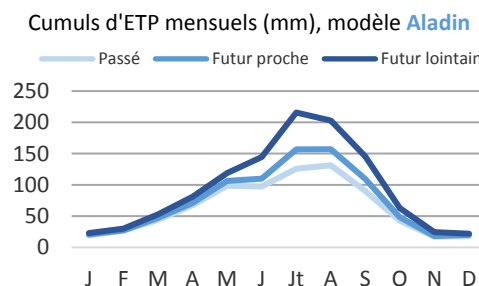
Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

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 13 mars (une année sur deux entre le 10 et le 20 mars), elle pourrait passer aux alentours du 9 mars dans le futur proche (entre le 7 et le 12 selon les modèles), et du 1^{er} mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette herbe précoce.

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, c'est qu'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 en fin d'hiver et au début du printemps et une sécheresse estivale plus prononcée, tandis que les modèles **SMHI** et **Aladin** présentent des profils différents. Les trois modèles prévoient moins de précipitations en juillet, et même en août et septembre pour **SMHI** et **KMNI**. 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 20/04 et le 10/06	2/10	1/10	3/10	+7%	-7%	-3%	+3%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	2/10	2/10	2/10	+17%	+10%	+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 du Périgord noir se caractérise par des températures clémentes, et un cumul de précipitations plutôt élevé. Les températures sont en augmentation sur les dernières décennies, et cette tendance s'accroît 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 sur les animaux.

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre, dans le passé comme dans le futur. Leur répartition dans l'année diffère selon les modèles. L'évapotranspiration, elle, augmenterait dès le printemps et jusqu'à l'automne, ce qui accentuerait l'importance du déficit hydrique estival et donc les risques de sécheresse.

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 de coteau	50 cm	20 %	65 mm
Sol de vallée	120 cm	7,5 %	85 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.

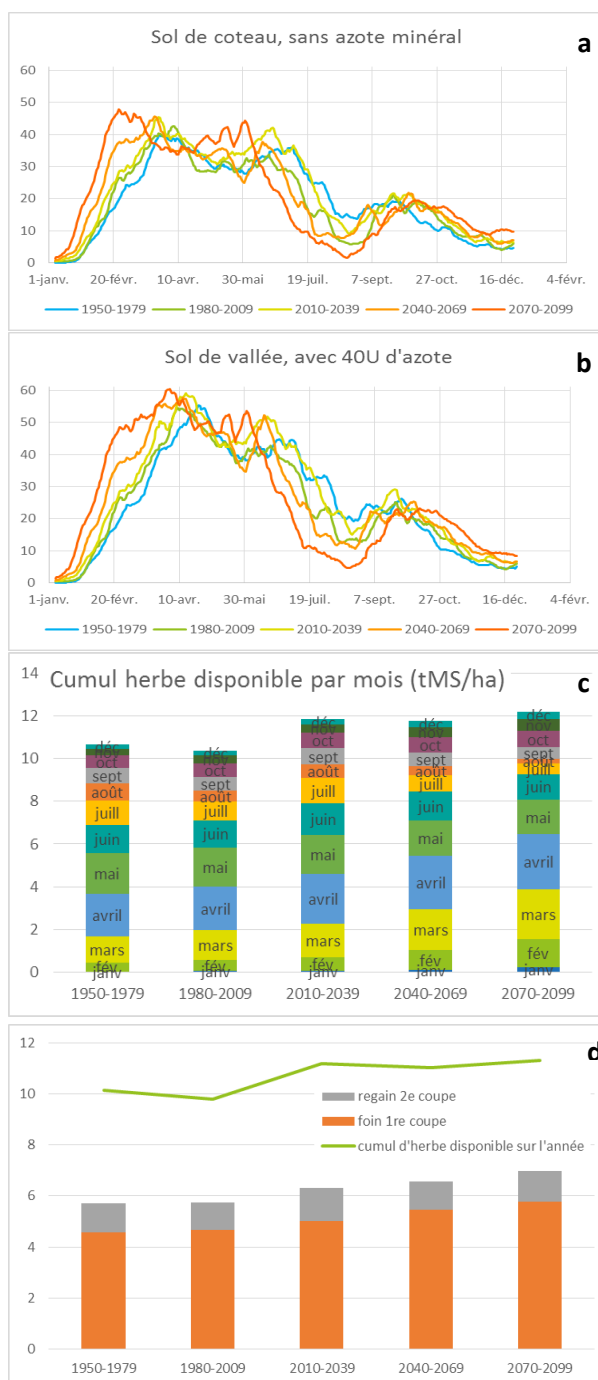
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. 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 augmentation, notamment du fait du démarrage plus précoce. Cependant, si le cumul annuel d'herbe disponible augmente, la répartition de la production ne permet pas forcément de récolter des quantités plus importantes de foins. Le pâturage prend alors toute sa place pour profiter de cette herbe supplémentaire.

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 (dans le cas d'une prairie fertilisée sur sol de vallée), et **d)** rendements moyens des récoltes de foins et cumul d'herbe disponible sur l'année, pour un sol de vallée et une prairie fertilisée.



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.

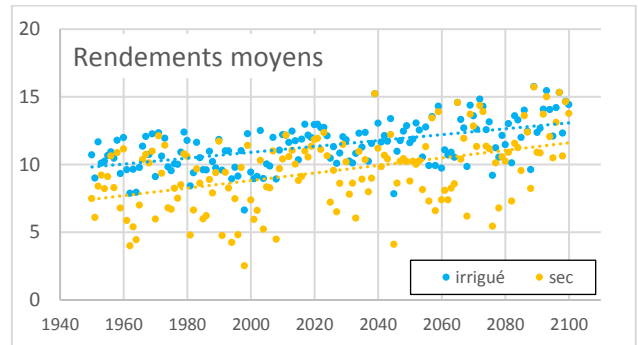
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. D'autre part, si l'ensemble des rendements simulés augmente, la variabilité interannuelle serait toujours aussi marquée. L'irrigation permet d'atténuer cette variabilité.

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 une semaine 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.

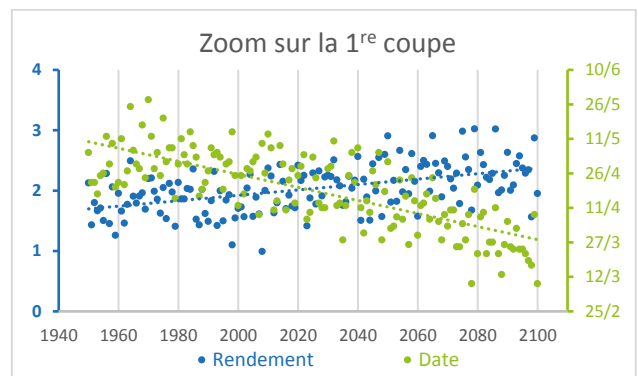
Le détail des rendements cumulés en fonction du nombre de coupes et de leur espacement dans la saison (non présenté ici) montre des rendements assez proches. Les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté, et du temps de travail nécessaire.

D'autre part, l'augmentation des températures au printemps et en été permettrait d'accélérer la croissance des plantes et ainsi de faire une coupe supplémentaire avant la sécheresse estivale.

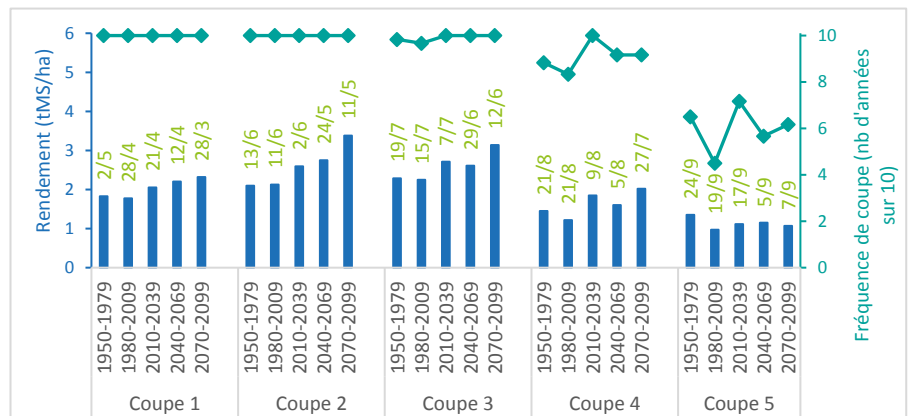
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations (en moyenne sur les deux sols).



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



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

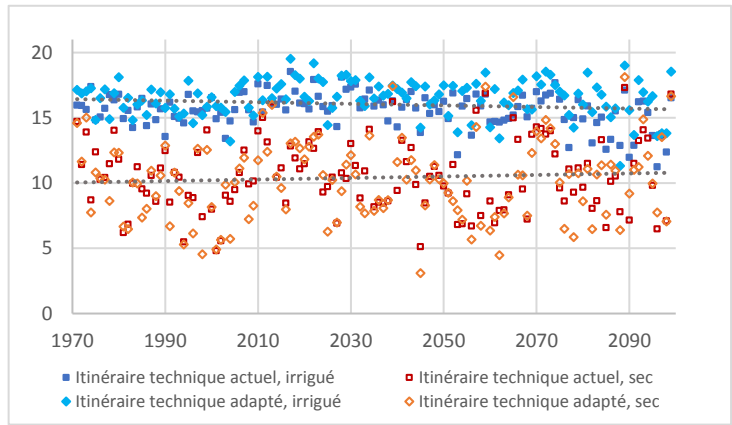


Maïs

Les simulations sont réalisées pour :

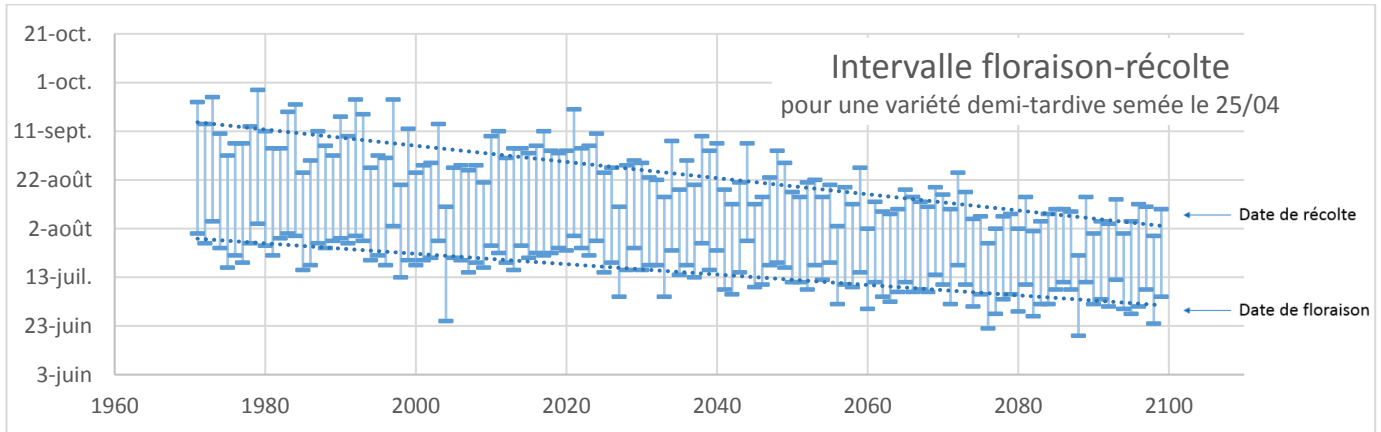
- deux types de variétés : une dite « demi-tardive » ou DT dont l'indice est compris entre 400 et 480, et une dite « tardive » ou T d'indice 450 à 560.
- deux dates de semis : la normale actuelle (25 avril) et 15 jours plus tôt,
- les deux types de sol présentés précédemment,
- avec ou sans irrigation.

Par la suite, on parlera d'itinéraire technique actuel pour une variété d'indice 400 à 480 semée le 25 avril, et d'itinéraire technique adapté pour une variété d'indice 450 à 560 semée le 10 avril.



Rendements obtenus pour chaque année simulée, dans deux configurations précocité x date de semis (actuelle et adaptée), avec et sans irrigation, en moyenne sur les 2 sols.

Les rendements obtenus seraient stables dans l'ensemble, avec une importante variabilité interannuelle qui semble s'accroître 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 serait de plus en plus précoce, tandis qu'un creux de production en été et une reprise à l'automne apparaîtraient puis s'accroîtraient. La saison de pâturage s'allongerait donc au début du printemps et à l'automne, mais avec une rupture en été.

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

En ce qui concerne le maïs, les rendements augmenteraient, et resteraient variables d'une année sur l'autre, notamment sans irrigation. Là aussi, les dates de floraison et récolte avanceraient nettement.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

Le groupe, constitué d'éleveurs et de techniciens de la zone, s'est appuyé sur un cas particulier pour construire le système à étudier. Il s'agit d'une ferme disposant de 83 ha de SAU : 27 ha de prairies sur sol de coteau, 19 ha de prairies sur sol de vallée, 3 ha de luzerne, 24 ha de maïs irrigué et 10 ha de céréales autoconsommées. Le troupeau est constitué de 80 vaches laitières à 8 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 25 % et des vêlages étalés à 29 mois. Une vingtaine de génisses est donc élevée chaque année. La ration des vaches laitières est composée aux trois quarts d'ensilage de maïs et d'ensilage d'herbe, de foin et d'un peu de paille pour le quart restant. Les génisses, elles, sont au pâturage dès le printemps, avec un complément en foin l'été ; elles sont nourries de foin et d'ensilages en hiver.

Le climat

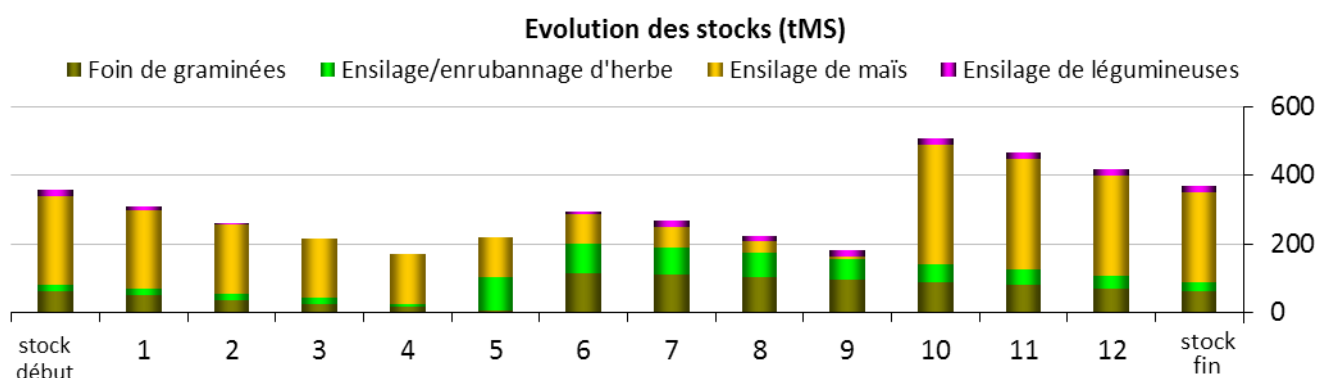
Ce système a été confronté à trois contextes climatiques différents. Dans un premier temps, il a été paramétré et équilibré dans le climat moyen de la période de référence 1971-2000. Ensuite, à l'aide du Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la période 2040-2069. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par une forte sécheresse estivale, ce qui correspond à la période de floraison du maïs. Le printemps reste relativement favorable, permettant ainsi de réaliser les fauches précoces dans des conditions similaires à celles connues actuellement.

	1971-2000	2040-2069	« Année sèche »
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
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100°C cumulés)	- 0,2	- 15	- 11
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28^{\circ}\text{C}$, entre 1100°C cumulés et le 5 juillet)	2	12	16
Bilan hydrique à la floraison du maïs (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains)	- 64	- 95	- 157
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	46	40	29

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 2040-2069)

Sans adaptation, le système génère 25 TMS supplémentaires, principalement constituées d'ensilage ou de foin de graminées. La production de maïs et d'ensilage de luzerne reste similaire. Le chargement corrigé (celui qui rend compte de la productivité réelle de la SFP) passe de 1,77 à 1,84 UGB/ha SFP. Deux voies d'adaptations sont envisagées : un ajustement à la marge, et une reconfiguration plus poussée, avec introduction de luzerne et d'ensilage de mélanges céréales-protéagineux immatures.

<u>Avec ajustements marginaux</u>	<u>Avec reconfiguration du système</u>
<p>On réduit légèrement les surfaces en prairies temporaires, et on augmente les surfaces en céréales. On maintient le volume de lait produit, et on conserve le mode d'alimentation des vaches laitières. On profite de l'avancée des stades de végétation pour mettre les génisses à l'herbe plus tôt dans l'année.</p> <p>Le chargement augmente de 8 % par rapport au cas de départ. L'augmentation des surfaces en céréales réduit le déficit en paille mais ne permet pas de le combler.</p>	<p>On maintient la production de lait, mais en modifiant les surfaces. On introduit 12 ha de méteil en dérobée avant le maïs, sur les parcelles irrigables et 7 ha supplémentaires de luzerne. En contrepartie, on réduit les surfaces en prairies de graminées. Une partie du maïs devient « à double fin ». On modifie les rations en conséquence : pour les vaches, on diminue l'ensilage de maïs et on supprime le foin de graminées et la paille alimentaire au profit de foin de luzerne et d'ensilage d'herbe. On avance la mise à l'herbe des génisses pour profiter de l'herbe de début de printemps. Les besoins en concentré énergétique augmentent, ils sont couverts par la production de céréales à paille et/ou le maïs grain. Les besoins en concentré protéique, eux, diminuent presque de moitié.</p> <p>Le chargement augmente de 13 % par rapport au cas de départ. Le déficit en paille se réduit plus que dans le cas avec ajustements marginaux, mais il reste présent.</p>

Dans le cas de l'année « sèche »

<p>Sans nouvelle adaptation, le système devient déficitaire en maïs et en herbe. La quantité d'herbe disponible pour le pâturage diminue en été : il en manque de mi-juillet à mi-septembre. Le chargement corrigé diminue de 11 % (par rapport au système adapté au futur moyen).</p> <p>Des achats de fourrages permettent de compenser ce déficit : 16 tMS d'herbe enrubannée et 38 tMS de maïs, soit 415 kg de MS/UGB.</p>	<p>Sans adaptation, le système devient déficitaire en maïs et en luzerne. Les ensilages précoces de prairies et méteil sont possibles et offrent de bons rendements, mais le foin est de qualité médiocre car la pluviométrie est importante. En revanche, les possibilités de pâturage sont restreintes de mi-juillet à mi-septembre. Ce système est cependant moins affecté par ce type de déroulement climatique que le cas « ajusté ». Le chargement diminue de 1 % par rapport au cas reconfiguré.</p> <p>Deux leviers ont ensuite été testés pour corriger la situation déficitaire en maïs et excédentaire en ensilage d'herbe ou méteil : ensiler des surfaces de maïs initialement destinées à une récolte en grain, et adapter les rations.</p>
--	---

<p>Système reconfiguré, adaptation des surfaces</p> <p>La sécheresse intervenant dès la floraison du maïs, les 6 ha de maïs destinés à une récolte en grain sont ensilés (ce levier pourra également être utilisé l'année suivante pour reconstituer les stocks). Du fait de la hausse des rendements des ensilages de printemps, 7 ha de prairies destinés à des récoltes en ensilage sont pâturés de manière peu intensive.</p> <p>On maintient la production de lait, en augmentant légèrement la part d'ensilage de maïs dans la ration des vaches laitières, au détriment de foin de luzerne. On anticipe la mise à l'herbe des génisses, ce qui diminue leurs besoins en foin au printemps et permet d'économiser les stocks pour faire face au déficit estival. La dynamique des stocks de fourrages retrouve un équilibre. La production de céréales permet de répondre aux besoins en concentrés énergétiques, aux dépens des cultures de vente. Les besoins en concentrés protéiques augmentent. Le chargement diminue de 10 % (par rapport au système reconfiguré).</p>	<p>Système reconfiguré, adaptation des rations</p> <p>On maintient le niveau de production laitière, en diminuant le maïs et la luzerne dans la ration des vaches laitières. En contrepartie, on augmente la part de l'ensilage de graminées pour utiliser le surplus d'herbe ensilée au printemps. Comme dans la voie d'adaptation par les surfaces, on anticipe la mise à l'herbe des génisses pour économiser du foin au printemps et répondre aux besoins en été.</p> <p>Les stocks de fourrages retrouvent un équilibre (stock fin = stock début). Les besoins en concentrés énergétique et protéique augmentent. Les surfaces en céréales à paille et/ou le maïs grain permettent d'apporter l'énergie nécessaire. Le chargement reste similaire (- 1 % par rapport au système reconfiguré).</p>
---	---

Dans cette zone, les éleveurs n'ont pas cherché à profiter de l'augmentation des rendements (liée notamment à l'effet CO₂, de l'ordre de + 10 % par rapport au passé) pour augmenter la production laitière. Ils ont préféré diversifier les productions, en augmentant les surfaces en céréales et en cultivant du maïs à double fin, ce qui leur permet de sécuriser le système face aux aléas (cette pratique est déjà répandue chez les éleveurs du Sud-Ouest). La reconfiguration du système avec luzerne et méteils n'était pas la première option envisagée, mais elle présente de nombreux avantages et augmente l'autonomie et la résistance du système par rapport à l'aléa testé.

D'autres leviers ont été évoqués, et qualifiés selon leur caractère durable (D) ou conjoncturel (C).

➤ **Au niveau de la production fourragère**

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(D) Faire du sorgho grain ensilé à la place du maïs quand l'eau est contingentée.	
(C et D) Faire des méteils à la place de l'ensilage d'herbe.	Attention aux conséquences sur le maïs suivant.
(D) Maintenir ou développer la luzerne. (C) Développer l'irrigation de la luzerne.	
(D) Semer des mélanges RG + trèfles d'hiver (sugarosum, Michaélis, de Perse).	
(D) Mettre en place davantage de couverts hivernaux (RG, seigle, triticale) récoltés tôt, avant le semis du maïs. (C) Voir implanter le couvert avec la culture précédente, si le désherbant ne le détruit pas. Ex : semis dans un maïs au stade 4 feuilles, ou dans une céréale au stade montaison.	
(C) Acheter du maïs grain humide, trop cher à produire pour en faire soi-même.	
(C) Ensiler du maïs épi pour augmenter l'énergie.	
(C) Sursemmer : du méteil dans les luzernes, des légumineuses à grosses graines (pois, vesces, féveroles) dans les prairies, du trèfle dans les céréales de printemps.	
(C) Faire des méteils remontants (seigle), semés en septembre, pâturés puis récoltés en grain.	

➤ **Au niveau de la conduite du troupeau laitier**

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(C) Faire du pâturage tournant, aller chercher l'herbe dès qu'il y en a et limiter le gaspillage de printemps et d'automne <i>Note des rédacteurs : le cas de départ était peu optimisé par rapport au pâturage, une situation courante dans la région.</i>	Si le parcellaire le permet : les parcellaires sont fréquemment très divisés dans la zone.

➤ **Au niveau de l'exploitation**

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(D) Travailler avec un fort stock de sécurité (évalué à environ 6 mois !)	
(D) Déléguer l'élevage des génisses.	Contraintes en bio, et coûts supplémentaires
(D) Restructurer les exploitations : faire que chacun dispose d'un parcellaire regroupé autour des bâtiments (important pour bien valoriser le pâturage).	
(D) Agrandir la SAU pour avoir plus de marge de manœuvre.	Attention à la problématique travail. Faut-il adapter la surface à un objectif de production ou adapter le troupeau au potentiel de production fourrager ?
(D) Prendre une assurance récolte sur prairie et maïs.	

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 était déjà bien préparé à surmonter une sécheresse estivale par l'utilisation de l'irrigation et de la luzerne. En accroissant la place de celle-ci dans l'assolement, et en cultivant du méteil, on a montré (mais ce n'était pas la première idée des éleveurs), qu'on améliore encore la résilience du système. Cela revient en effet à produire du fourrage en toutes saisons (de la fin de l'hiver à l'automne) et à obtenir des compensations entre saisons.

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 éleveurs de la zone apprécient de disposer d'un « stock de sécurité » important. Ce levier devrait faire l'objet d'une étude spécifique : avec quel fourrage, pour quel niveau de risque, quel coût, et quelles répercussions sur la conduite des surfaces y compris pâturées...

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 obligatoires 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 l'affouragement en vert, 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 : il nous a été dit que c'est sans doute plus difficile à gérer que la sécheresse par rapport au système fourrager. L'adaptation des bâtiments a été évoquée, mais aussi l'idée de ne plus faire de lait en été, sans méconnaître que les laiteries sont contre et que c'est techniquement très difficile (maîtrise de la reproduction) et coûteux.

Quel avenir ?

La production laitière dans le Périgord Noir fait face à certains handicaps comme le morcellement des parcelles et des sols pas faciles. En même temps, déjà bien préparée à la gestion de l'aléa sécheresse, et capable d'aller plus loin encore en jouant des atouts que confère la diversification des ressources fourragères, la zone n'est pas la plus fragilisée par rapport aux aléas climatiques. Il reste que les techniques mises en œuvre sont coûteuses : baisser les coûts passe par la pâture, qui reste à réintroduire et réinventer.

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 multi-disciplinaire 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.

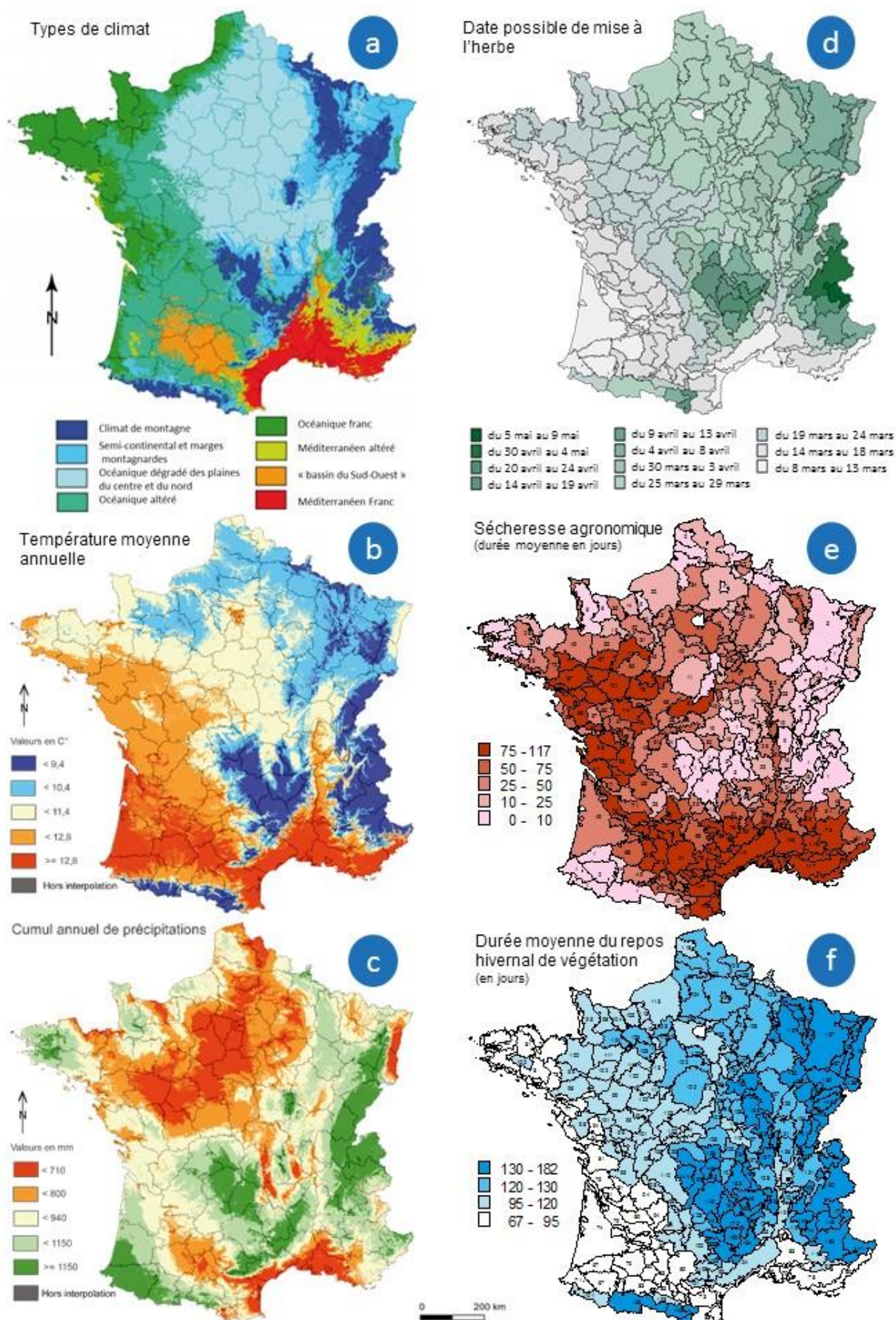
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



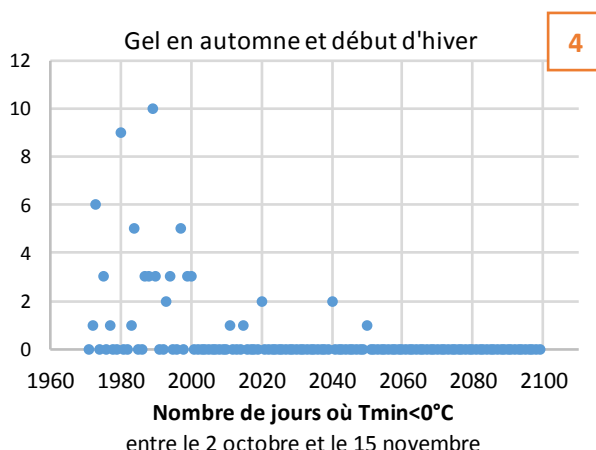
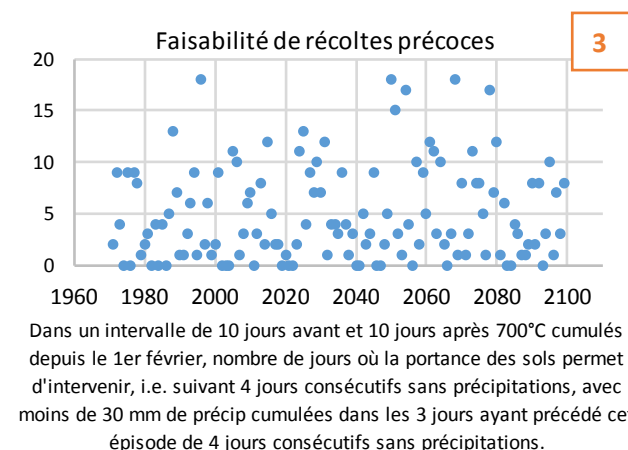
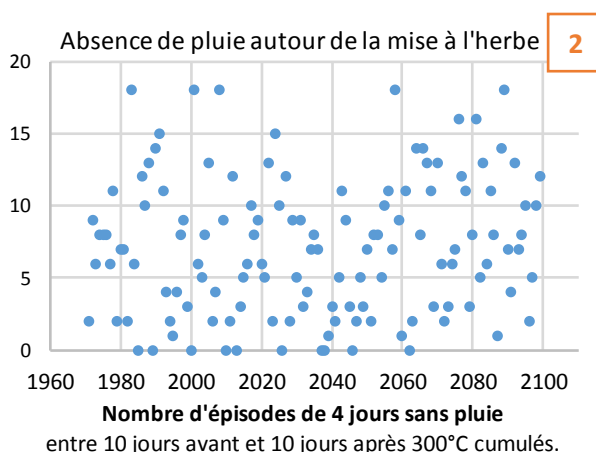
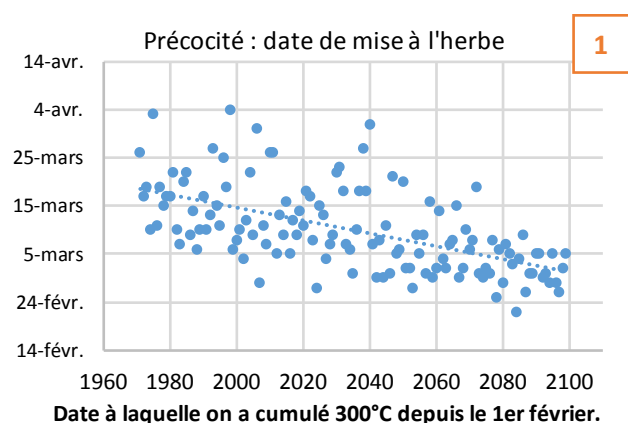
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

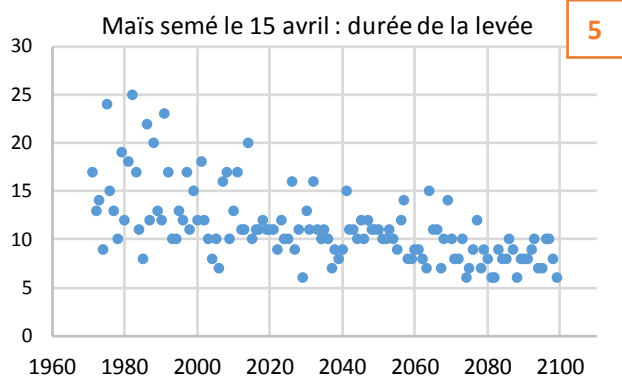
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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.

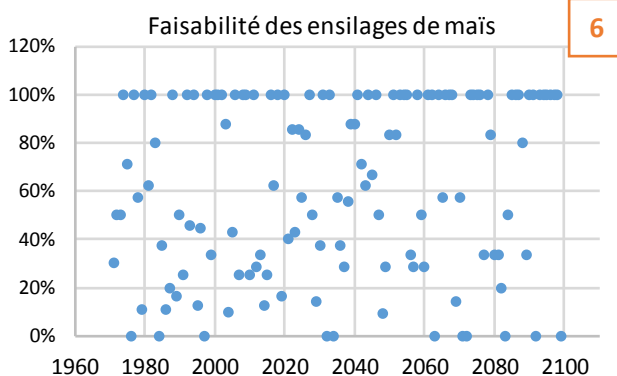
Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires [2]. En plein printemps, les récoltes précoces seraient facilitées par une plus grande fréquence d'épisodes 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).

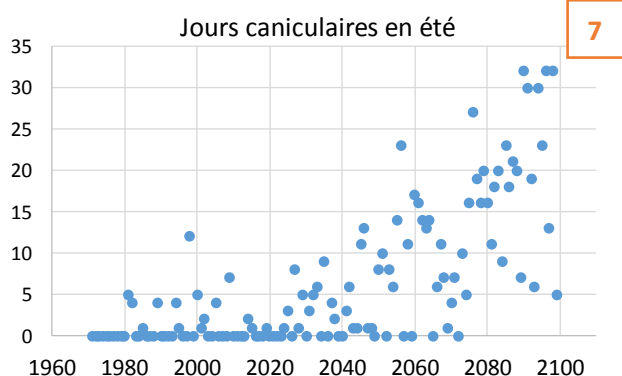




Nombre de jours nécessaires pour cumuler 80°C en base 6 à partir du 15 avril. En bonnes conditions, le maïs lève en 7 jours. Une levée en plus de 10 jours traduit un stress léger, une levée en plus de 20 traduit un fort stress (L. Maunas, Arvalis).



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



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

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

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Olivier Dejean et Camille Ducourtieux (*Chambre d'Agriculture de Dordogne*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : L. Page /*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 de Dordogne), 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

