

# Dans les filières bovines, apprivoiser le changement climatique La méthode déployée dans le cadre de Climalait et Climaviande

J.C. Moreau<sup>1</sup>, A. Madrid<sup>1</sup>, T. Brun<sup>†2</sup>, F. Ruget<sup>3</sup>

## RESUME

*Le changement climatique est déjà à l'origine d'adaptations des systèmes fourragers dans les exploitations d'élevage bovin. Les évolutions tendanciennes générées par le changement climatique ne sont pas très connues des éleveurs, qui redoutent surtout les aléas de forte ampleur (sécheresse, et pas seulement). L'adaptation consiste donc souvent à sécuriser l'offre de fourrages dans le cadre d'une autonomie accrue. Il est important pour bien identifier des leviers de sécurisation de préciser les caractéristiques et les impacts agronomiques et zootechniques du climat à venir et leur variabilité interannuelle, à différentes saisons. Les projets CLIMALAIT et CLIMAVIANDE ont développé et mobilisé des connaissances et des outils nouveaux sur ces aspects, qui sont ensuite intégrés à l'échelle du système d'exploitation et avec des éleveurs par la médiation d'un jeu de plateau. Celui-ci se prête à la formulation de voies d'adaptation et de propositions à adapter à chaque contexte local.*

## SUMMARY

### **Mitigating the effects of climate change in the cattle industry: the Climalait and Climaviande approaches**

*Climate change is impacting forage systems, and cattle farmers are having to adapt. However, farmers tend to be more concerned about extreme events, such as drought, but remain largely unfamiliar with the gradual effects of climate change. As a result, adaptation measures generally involve ensuring forage supply as part of an overall attempt to increase self-sufficiency. The best way to identify appropriate adaptation measures is to explore how future climatic conditions will affect agronomic and zootechnical parameters and their seasonal variation among years. The Climalait and Climaviande projects have sought to provide this information as well as new tools that can be incorporated into farming systems. A board game developed as part of these projects allows farmers to formulate adaptation measures and modifications that are suitable to their local context.*

Des études antérieures ont permis d'apprécier les effets contrastés des évolutions climatiques sur différentes productions fourragères, selon les sols et les contextes de production. Ces travaux ont permis de dégager les tendances en matière de rendement, de saisonnalité de la pousse de l'herbe ou d'anticipation de dates de récolte. Les évolutions tendanciennes ainsi mises au jour ne sont pas spectaculaires : à l'horizon 2050 par exemple, et même dans le scénario qui mène à un doublement du CO<sub>2</sub> en fin de siècle, les rendements évoluent entre -10 et +10 %, selon les zones et les cultures (Brisson et Levrault, 2010; Ruget et al., 2013).

Cependant, sur le terrain, les éleveurs sont plus préoccupés par les aléas climatiques et leurs conséquences que par les évolutions tendanciennes des

rendements. L'adaptation au changement climatique, à l'échelle d'un élevage, recouvre des questionnements sur les animaux et leur logement, sur les filières et l'adaptation de leurs cahiers des charges de production, sur le territoire et ses ressources (eau, érosion), et sur le système fourrager et ses composantes. En ce qui concerne ce volet agronomique, les leviers évoqués recouvrent souvent ceux qui sont proposés pour la sécurisation des systèmes fourragers : **sécuriser maintenant son système fourrager, pour un éleveur, c'est déjà s'adapter au changement climatique** (Noury et al., 2013).

Dans ce contexte, l'interprofession laitière française, le CNIEL, a initié et financé sur 2015-2018 une étude nommée Climalait, dont l'objectif était d'évaluer les impacts du changement climatique sur les

## AUTEURS

1 : Institut de l'élevage, Service Fourrages et Pastoralisme, BP 42118, 31321 Castanet-Tolosan Cedex

2 : Institut de l'élevage, Service Data'Stat, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12

3 : INRAE UMR Emmah, Domaine Saint-Paul – Site Agroparc, 228 route de l'Aérodrome, CS40509, 84914 Avignon Cedex 9

MOTS-CLES : changement climatique, climalait, climaviande, adaptation des systèmes fourragers, autonomie

KEY-WORDS: Climate change, climalait, climaviande, adaptation of forage systems, self-sufficiency

REFERENCE DE L'ARTICLE : Moreau J.C., Madrid A., Brun† T., Ruget F. (2020). « Dans les filières bovines, apprivoiser le changement climatique. La méthode déployée dans le cadre de Climalait et Climaviande ». Fourrages 244, 9-18

différents systèmes d'élevage laitiers français et de fournir aux éleveurs et aux conseillers les moyens de réfléchir à différentes pistes d'adaptation. Par la suite Interbev, l'interprofession Bétail et Viande, s'est aussi intéressée au sujet et finance un projet similaire, appelé Climaviande. La filière caprine s'empare actuellement de la question dans le cadre d'un projet PEI appelé « Résilience des systèmes d'élevage caprins de Nouvelle-Aquitaine ».

## 1. Méthodes et outils développés ou adaptés pour les actions Climalait et Climaviande

La démarche repose sur trois étapes principales :

- Décrire les tendances climatiques, selon les scénarios et modèles climatiques,
- Apprécier les différences d'impacts selon les cultures, évaluer les aléas (fréquences et conséquences), identifier les enchaînements d'aléas qui posent problème,
- Dégager des pistes d'adaptation, les évaluer collectivement en soumettant un système à un climat différent.

Dans chacune des 23 zones étudiées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), le travail a été mené avec un groupe d'éleveurs, en étroite collaboration avec les conseillers locaux, et en s'appuyant sur les documents, outils et supports de réflexion, sommairement décrits ci-après.

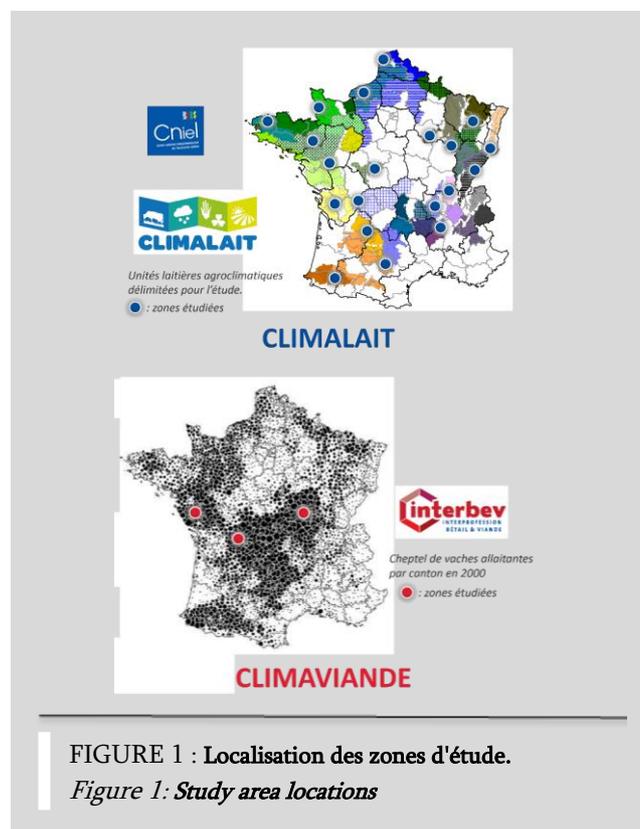


FIGURE 1 : Localisation des zones d'étude.  
Figure 1: Study area locations

### 1.1. L'exploration des données climatiques « brutes » : la fiche agroclimatique

Ce premier outil vise à bien faire comprendre dès le début que les évolutions du climat sont estimées par différents modèles qui ne produisent pas exactement les mêmes conclusions. Il permet d'explorer les évolutions déjà avérées sur le passé et de comparer le futur modélisé au passé, à partir de plusieurs scénarios ou modèles climatiques. Cet outil permet de visualiser les évolutions tendanciennes de paramètres climatiques simples (températures, précipitations, ETP) ou plus élaborés (indicateurs agroclimatiques tels que des calculs de bilans hydriques par exemple, mais aussi zooclimatiques comme le THI : *Temperature Humidity Index*). Il est paramétrable par l'utilisateur qui peut ainsi moduler la définition des événements extrêmes afin d'en évaluer la fréquence.

Concrètement, il s'agit d'un jeu de feuilles de calcul connectées entre elles, et alimentées avec des données climatiques historiques et simulées, pour une zone donnée. L'adaptation de la fiche pour une nouvelle zone demande de savoir utiliser les serveurs de mise à disposition de données climatiques. Dans le cadre de Climalait et Climaviande, elle est réalisée par l'Institut de l'élevage. Par la suite, son utilisation est possible par toute personne maîtrisant Excel.

### 1.2. Évaluer les aléas climatiques et leurs conséquences : le module de sélection des profils climatiques

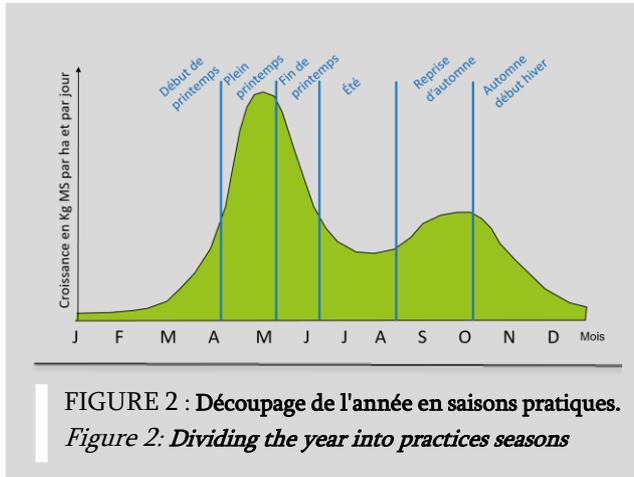
Ce module spécifique a été conçu pour caractériser les aléas climatiques et leurs conséquences, mais aussi pour mettre en évidence des enchaînements climatiques similaires, à l'échelle de l'année.

#### ◆ Paramètres d'entrée et construction de l'outil

Le module est alimenté à partir des données climatiques spécifiques à la zone étudiée, issues du modèle Aladin (mis en œuvre par Météo-France et le CNRM) dans le cadre du scénario RCP 8.5 (scénario sans politique climatique, dans lequel le réchauffement pourrait atteindre 4°C à l'horizon 2071-2100). Ces données sont préalablement valorisées sous la forme d'indicateurs agroclimatiques liés aux « saisons pratiques » de la prairie et du maïs, ainsi que de résultats de simulations de culture à partir des mêmes données climatiques.

Une saison pratique est une période de temps liée aux stades de développement de la plante et aux décisions à prendre à ce moment-là. Par exemple, pour la prairie, le début du printemps n'est pas le 21 mars mais la période lors de laquelle doit être prise la décision de mettre les animaux à l'herbe, laquelle décision dépend de la vigueur du redémarrage de la prairie, mais aussi des conditions d'accès à la ressource (portance du sol), et des conditions météorologiques (absence de

gelées blanches). L'année a été découpée en 6 saisons pratiques (début de printemps, plein printemps, fin de printemps, été, reprise d'automne, automne-début hiver) pour chacune desquelles deux à trois indicateurs ont été sélectionnés (figure 2).



À titre d'exemple, pour le plein printemps, la précocité de l'année est caractérisée par le nombre de jours entre la mise à l'herbe (estimée par la date à laquelle on atteint 300 °C cumulés depuis le 1<sup>er</sup> février) et le stade épi 10 cm (900 °C). Des conditions de portance dégradées sont mises en évidence par le nombre de jours qui suivent un épisode de 5 jours avec plus de 40 mm de précipitations au total. La faisabilité d'une récolte précoce est évaluée par le nombre de jours suivants un épisode de 4 jours sans pluie avec moins de 30 mm de précipitations cumulées dans les 3 jours précédant cet épisode de 4 jours sans pluie, dans un intervalle de 20 jours autour de la date d'atteinte du seuil de 700 °C cumulés depuis le 1<sup>er</sup> février.

Un travail similaire a été conduit sur le maïs, permettant de caractériser les conditions autour des stades clés que sont la levée, la floraison et la récolte.

La majorité des saisons pratiques et donc des indicateurs est définie à partir de sommes de températures, condition nécessaire pour prendre en compte les évolutions du climat dans les données modélisées pour le futur. Les mêmes indicateurs calculés sur les données climatiques historiques sont également présentés afin que l'utilisateur puisse retrouver ses repères. Le calcul des indicateurs est réalisé sous SAS par le service Data'Stat d'Idele, puis les résultats sont mis en forme et intégrés dans le module par Idele.

#### ◆ Utilisation

Une fois l'outil adapté à la zone étudiée, l'utilisateur peut choisir jusqu'à 4 indicateurs, et en retenir les valeurs extrêmes (soit par des approches statistiques telles les premier ou dernier quartiles, ou la moyenne  $\pm 1$  écart-type, soit en définissant lui-même les seuils, par expertise ou en référence à une année du passé). Par exemple, s'il s'intéresse aux années

caractérisées par un nombre important de journées caniculaires en été, il pourra retenir que les années entrant dans le dernier quartile, ou que les années lors desquelles ce nombre de jours est supérieur à la moyenne  $\pm 1$  écart-type, ou encore que les années « pires que 2003 ».

L'utilisateur définit ainsi une succession d'aléas climatiques, qui peut se rencontrer sur une ou plusieurs années, et peut évaluer visuellement sa fréquence et son positionnement tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle. L'outil indique alors les rendements attendus pour les années sélectionnées, et la tendance par rapport à une période de référence qui peut elle aussi être fixée librement. Pour la culture du maïs, sont disponibles aussi les dates de récolte et de floraison ainsi que les consommations en eau d'irrigation s'il s'agit de cultures irriguées. Cette méthode a l'intérêt de bien illustrer la force du lien qu'il peut y avoir (ou pas) entre le climat (apprécié au travers d'indicateurs agro-climatique) et ses conséquences sur la production fourragère.

### 1.3. Évaluer les conséquences du changement climatique sur les cultures fourragères : utilisation du modèle STICS

La modélisation est une approche judicieuse pour étudier les conséquences du changement climatique, qui a maintenant été utilisée dans plusieurs projets (Graux et al., 2013). Des simulations sur la période 1970-2100 ont été réalisées grâce au modèle STICS (Brisson et al., 1998) pour une prairie de graminées, du maïs ensilage et de la luzerne ainsi que, parfois, du sorgho grain ensilé et des enchaînements raygrass-maïs. STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard) est un modèle de culture qui simule la croissance et le développement de multiples cultures, au pas de temps journalier, à partir des données climatiques journalières locales, des itinéraires techniques pratiqués et de paramètres descriptifs du sol. Les sols pris en compte sont élaborés à partir de la description des sols français de la base (BDGSF) construite par l'INRAE d'Orléans et choisis de telle sorte qu'ils soient représentatifs de ceux de la région. De même, les itinéraires techniques sont ceux pratiqués dans la zone, ou qui pourraient l'être dans un futur plus ou moins proche (semis de maïs plus précoces, choix de variétés plus tardives, modalités d'irrigation différentes, déprimage des prairies, ajout d'une coupe supplémentaire par rapport aux pratiques actuelles...) Après une phase de test réalisée sur les données climatiques historiques afin de pouvoir contrôler la pertinence des résultats, les simulations sont réalisées à partir de données climatiques issues du modèle Aladin dans le cadre du RCP 8.5, pour chacune des zones étudiées.

Les processus pris en compte dans le modèle permettent de simuler les principaux effets du changement climatique sur la productivité végétale (Rugé et al., 2012) : essentiellement l'effet défavorable

des températures élevées et les effets de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère (effet d'augmentation de la production et de diminution de la consommation d'eau par fermeture des stomates). Par construction, les itinéraires techniques sont conçus de façon à pouvoir s'adapter aux variations du climat, aussi bien aux variations interannuelles qu'aux variations à long terme liées aux évolutions climatiques : concernant la prairie et la luzerne, les coupes étant déclenchées lorsqu'un cumul de températures préalablement fixé est atteint, s'il y a assez de biomasse, les dates de coupe s'adaptent automatiquement à la température, et les fertilisations sont associées aux coupes dans les pratiques intensives. Cependant, les simulations ont été conduites pour chaque année séparément, ce qui ne permet pas de mettre en évidence un effet des conditions climatiques d'une année sur la prairie en année suivante.

Outre qu'elles permettent de mettre au jour les évolutions tendanciennes, ces simulations sont destinées à nourrir le module de sélection des profils climatiques décrit ci-dessus et permettent de disposer de la matière nécessaire à la fabrication des pièces de jeu du Rami fourrager® pour les années correspondant aux choix réalisés à l'étape précédente. Pour cela, des coefficients de pertes sont appliqués aux résultats issus de STICS : à partir de la biomasse totale produite fournie par le modèle, il faut retrancher les quelques centimètres laissés au champ et les pertes à la récolte, soit 15 à 20 % selon l'espèce et le mode de récolte, pour obtenir un rendement « silo ».

La réalisation des simulations STICS nécessite que l'utilisateur soit formé à l'utilisation du modèle et dispose des données d'entrée nécessaires. Dans Climalait et Climaviande, ce travail est mené par Idele avec l'appui de l'INRAE et l'expertise des relais locaux (conseillers de Chambre d'agriculture pour la majorité des zones étudiées) pour la définition des itinéraires techniques et la validation des simulations test.

#### **1.4. Évaluer les conséquences du changement climatique à l'échelle système : utilisation du Rami fourrager®**

Le Rami fourrager® est un jeu de plateau accompagné d'un module informatique, qui permet de traiter collectivement des évolutions de systèmes, à partir d'une co-construction du système support à la réflexion (Martin *et al.*, 2012). Une partie de jeu s'appuie sur le travail réalisé lors des deux précédentes étapes afin d'élaborer les références fourragères nécessaires pour illustrer les différents contextes climatiques à étudier. Ces références prennent la forme de « barrettes-fourrages » pour le jeu de plateau, et d'un fichier numérique pour le module informatique qui effectue les calculs de bilan fourrager permettant de caler chaque système.

Dans le cadre de Climalait et de Climaviande, la réunion autour du Rami fourrager® est préparée au travers d'une première réunion d'information, avec les éleveurs et les conseillers de la zone, lors de laquelle les déroulements climatiques à étudier sont choisis par les participants en fonction des aléas qui leur paraissent les plus difficiles à gérer, ou les plus fréquents. L'atelier en lui-même est animé par trois personnes : un animateur (qui connaît la filière locale et dont la mission est de distribuer la parole et susciter les débats sur les différents points soulevés), une personne qui ne va s'occuper que de la partie informatique, et une troisième personne qui va prendre note de tout ce qui se dit. En effet, lors d'une partie de Rami fourrager®, ce qui se dit entre participants sur les différentes voies d'adaptation du système co-construit est au moins aussi important que les résultats chiffrés des différentes simulations.

Le système étudié peut s'inspirer d'un cas-type, d'un cas concret, ou être construit à partir de l'expérience de chacun (cas consensuel). Cette dernière solution est la plus courante, elle n'empêche pas de s'appuyer sur l'expérience de chacun. Partir d'un cas concret peut être délicat car il est parfois difficile de reproduire les spécificités du cas choisi, et cela peut mettre en évidence des dysfonctionnements de celui-ci. Partir d'un cas-type déjà publié risque d'appauvrir le débat et de créer de la distance entre le corps technique et les éleveurs, ce qui est à l'opposé du principe d'utilisation d'un jeu de plateau.

Dans Climalait et Climaviande, les parties se déroulent généralement en 4 temps :

1. La construction du système de départ, à partir de barrettes-fourrages élaborées en référence au climat actuel.
2. La projection de ce système et son recalage dans le climat du futur (souvent aux alentours de 2050), en mobilisant les versions des barrettes-fourrages conçues par rapport au futur moyen.
3. La confrontation de ce système (recalé sur le futur moyen) au déroulement climatique « à problème » choisi. C'est souvent un déroulement marqué par la sécheresse et/ou d'autres aléas. Le recalcul du système confronté à ce crash-test climatique s'appuie alors sur les barrettes-fourrages construites à partir des choix effectués préalablement par les éleveurs. Le futur moyen est une période de 30 ans définie dans chaque zone de façon à englober les années caractérisées par la succession d'aléas climatiques à laquelle on s'intéresse.
4. La discussion autour de la déformation du système mise au jour par le crash-test. Il s'agit de discuter de ce qui aurait pu être imaginé pour limiter le déficit en fourrages stockés, ou disposer de surfaces encore pâturables en été, ou réduire les besoins des animaux. C'est le moment le plus intéressant le plus vivant et le plus riche de la démarche.

## 2. Aperçu des résultats produits par la démarche

Le détail des résultats pour chaque zone est disponible sur [climalait.idele.fr](http://climalait.idele.fr) ou [cniel-info.com](http://cniel-info.com).

### 2.1. Évolutions tendanciennes des principales cultures fourragères

Les conclusions ci-dessous sont issues des simulations réalisées avec STICS (voir chapitre 1.3). Elles doivent être modulées selon la zone, les sols et les horizons de temps.

#### ◆ La prairie

Les simulations mettent en évidence une **forte déformation de la courbe de pousse**, avec la formation d'un creux d'été ou son amplification. Cette déformation atteint toutes les zones, y compris celles où on compte habituellement sur une pousse estivale permettant de se dispenser de l'apport aux animaux de fourrages grossiers stockés. Pour ce qui concerne le creux d'été, l'évolution la moins spectaculaire se situe en fait dans les zones où celui-ci est déjà marqué (Sud, Sud-Ouest, Poitou-Charentes, Pays de Loire, couloir Rhodanien...)

L'autre déformation marquée de la courbe de pousse d'une prairie se situe sur le début de printemps, avec une pousse plus vigoureuse et plus précoce, conséquence de l'effet conjugué d'un taux de CO<sub>2</sub> plus élevé permettant un accroissement de la photosynthèse et de températures en hausse, à une période de l'année où il y a encore de l'eau disponible dans les sols. Une grande attention a été portée, via le calcul d'indicateurs, aux conditions d'accès à la ressource (faisabilité des fauches, portance...). La pousse automnale et de début d'hiver, elle, est assez souvent à la hausse, mais jamais au point de compenser les pertes de production estivale (figure 3).

À l'horizon 2050, dans la plupart des sites étudiés, le cumul annuel de pousse d'une prairie est à la hausse, entre 5 et 15 %, mais avec une part plus importante de la production au printemps (dans les zones où la production de printemps représente actuellement les deux tiers de la production annuelle, elle pourrait atteindre les trois quarts en fin de siècle). Des travaux antérieurs ont montré que l'essentiel de la hausse du cumul annuel doit être attribué à l'effet CO<sub>2</sub> : sans lui, le changement climatique provoquerait plutôt une baisse tendancielle des rendements de la prairie (Rugé et al., 2012). Cette hausse concerne essentiellement le printemps comme cela a été montré dans de précédentes études (Durand et al., 2010). La part de la production de printemps passera assez souvent d'environ 60% (production de février à juin) à 75% ou plus en fin de siècle. Ces deux chiffres suffisent à imaginer les transformations à imaginer dans des systèmes herbagers pâturants : possibilité de mettre à l'herbe plus tôt, voire de rentrer les animaux plus tard en fin d'automne mais nécessité d'affourager davantage en été.

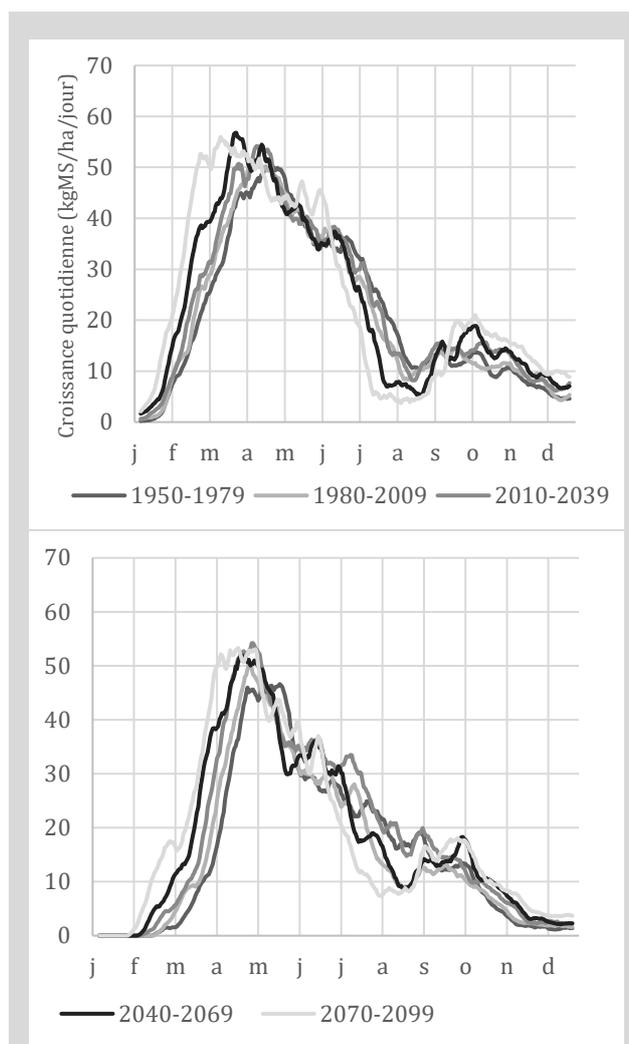


FIGURE 3 : Production de prairies en kg de MS/ha/j, et évolution de 1950 à 2100 en moyennes par périodes de 30 ans, à partir de simulations STICS sur données du modèle ALADIN, RCP8.5. En haut : exemple dans le Tarn pour une prairie sur sol profond (boulbène), en moyenne pour  $N_{\text{minéral}} = 90$  unités et  $N = 0$  ; en bas : exemple sur le plateau lorrain pour une prairie sur sol moyen et argileux, en moyenne pour  $N_{\text{minéral}} = 0$ , 40 et 60 unités.

Figure 3: Grassland production (kg of DM/ha/d) from 1950 to 2100 (30-year means) arising from STICS simulations using ALADIN model data (RCP 8.5 scenario).

La production des prairies a toujours été variable d'une année à l'autre et même à l'échelle de chaque saison, à tel point qu'on peut se demander si une courbe moyenne a du sens. Cet état de fait va perdurer et même s'accroître. L'exploitation de l'herbe va demander de plus en plus de flexibilité, d'observations *in situ*, et d'anticipation : il faudra savoir aller chercher l'herbe quand il y en a, et là où il y en a. Ceci met en avant la nécessité de disposer de parcelles faciles d'accès et bien aménagées, d'outils individuels ou collectifs pour mesurer et anticiper la pousse de l'herbe, mais aussi de couverts végétaux souples à utiliser, et de modes de

récoltes faciles à mobiliser (enrubannage versus chantiers lourds d'ensilage en brin court).

#### ◆ La luzerne

C'était attendu, les rendements de la luzerne pourraient être partout à la hausse (dont, là aussi, une bonne part à imputer à l'effet CO<sub>2</sub>). Cette hausse est à relier à la possibilité qu'il y aura de réaliser des coupes plus nombreuses, la luzerne pouvant démarrer plus tôt sa croissance du fait des températures plus élevées au printemps (Figure 4). Elle continuerait à avoir cette capacité qu'on lui connaît déjà de résister relativement bien à la sécheresse. Il n'en reste pas moins que pour bien l'exploiter, il faudra parfois consentir à sortir la barre de coupe pour seulement 1T de MS utile : pas sûr que cela séduise les éleveurs par rapport à d'autres cultures. Mais on peut aussi cultiver la luzerne au sein de prairies multi-espèces ou d'associations simples, à pâturer. 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.

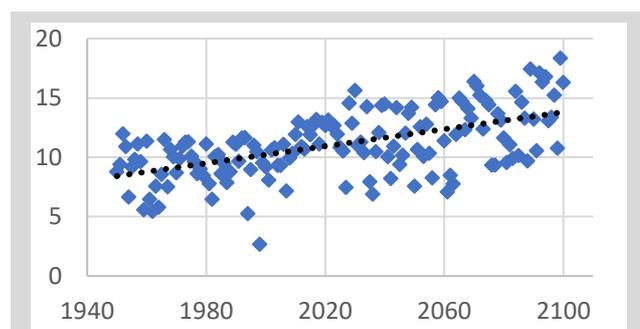


FIGURE 4 : Rendements cumulés moyens en tMS/ha (toutes coupes confondues) d'une culture de luzerne sur le plateau de Langres (région où cette culture est communément intégrée dans les systèmes fourragers) à partir de simulations STICS de 1950 à 2100 sur données du modèle ALADIN, RCP 8.5.

Figure 4: Mean cumulative yields (tonnes of DM/ha; all cuts combined) of lucerne on the Langres plateau (a region where this crop is commonly used in forage systems) from 1950 to 2100 arising from STICS simulations using ALADIN model data (RCP 8.5)

#### ◆ Le maïs

À variété constante, la hausse tendancielle des températures implique un raccourcissement du cycle : le stade de sensibilité au stress hydrique (autour de la floraison femelle) pourrait souvent arriver avant la sécheresse. De ce fait, le maïs s'en sort mieux que prévu, notamment dans les meilleures terres, où les rendements du maïs seraient tendanciellement à la hausse avec ou sans irrigation, quelle que soit la zone. Avec des sols plus superficiels, les rendements seraient tendanciellement plutôt à la baisse, avec une variabilité accrue. Il est à noter que pour cette culture comme pour les autres, nous avons raisonné à matériel végétal

constant, c'est-à-dire en considérant les variétés telles qu'existantes.

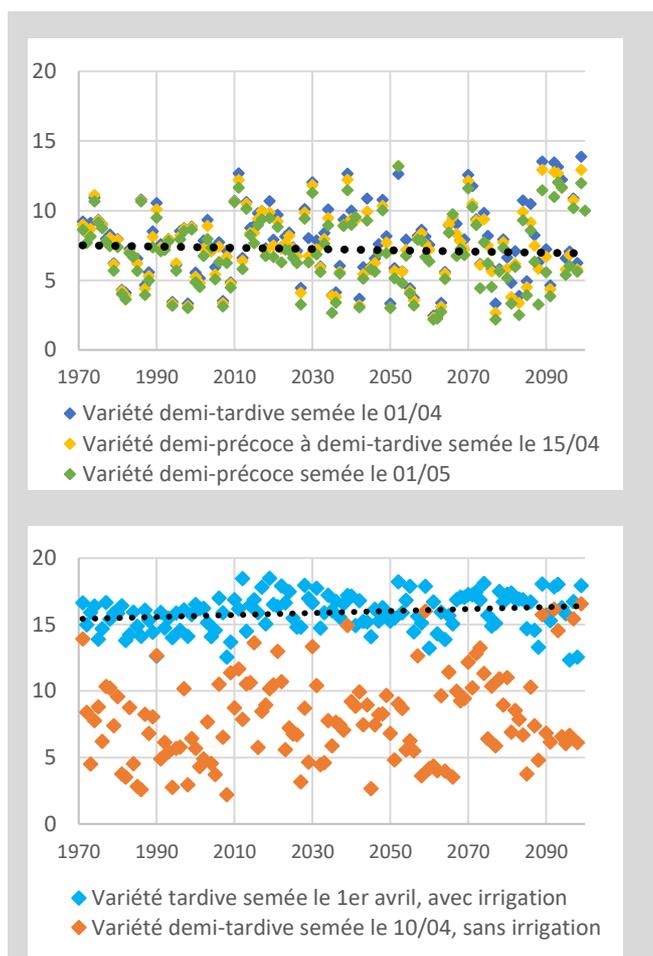


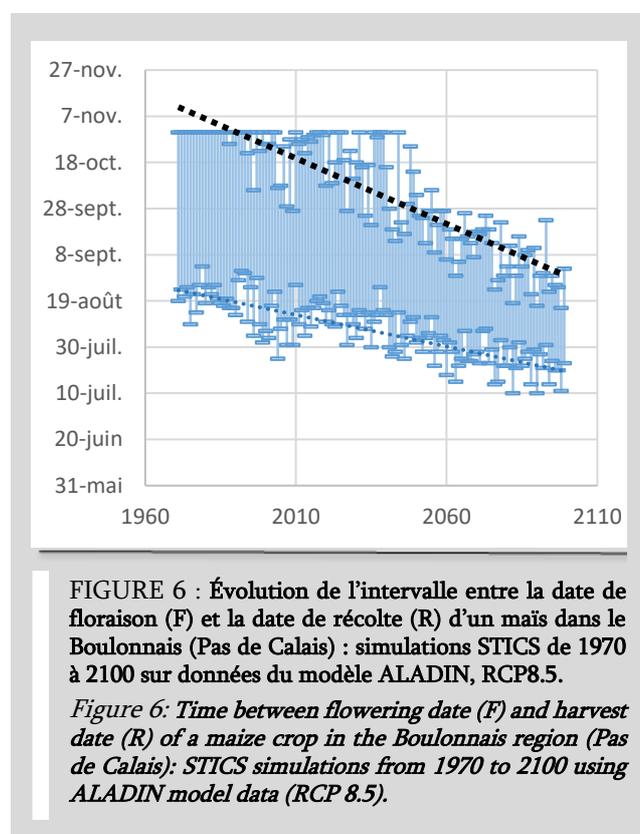
FIGURE 5 : Rendements du maïs à partir de simulations STICS de 1970 à 2100 sur données du modèle ALADIN, RCP 8.5. En haut, sur le plateau de Langres (Haute Marne) en sol moyen, pour trois itinéraires techniques ; en bas, en Saintonge (Charente Maritime) avec et sans irrigation.

Figure 5: Maize yields from 1970 to 2100 arising from STICS simulations using ALADIN model data (RCP 8.5)

Les adaptations de l'itinéraire techniques simulées (semis plus précoce de variétés plus tardives) pourraient permettre une légère augmentation du rendement. En même temps, et malgré l'utilisation de variétés plus tardives, le cycle sera raccourci, avec des dates de récolte et surtout de floraison (stade auquel le maïs est très sensible au déficit hydrique) plus précoces, cette dernière intervenant parfois avant le début de la sécheresse estivale (figure 5). Ce ne sera pas le cas tous les ans, et au-delà de la tendance, nos simulations font apparaître une variabilité inter annuelle des rendements forte et souvent en hausse, de très bonnes années pouvant succéder à des années catastrophiques. Cet élément pèsera par rapport au raisonnement de la place du maïs ensilage dans les systèmes, et notamment quand se présentent des alternatives crédibles comme la culture du sorgho grain ensilé, réputée pour ses

rendements plus réguliers dans les terres peu profondes.

En culture irriguée, les rendements du maïs sont plus réguliers, avec une tendance à la hausse d'ici la fin du siècle. L'irrigation ne paraît pas être la solution à toutes les dérives du climat. Certaines années les rendements du maïs irrigué apparaîtront décevants car d'autres facteurs d'eau vont peser sur la croissance et le développement de cette plante, à commencer par les températures excessives. STICS permet aussi de constater que les besoins en eau pour l'irrigation vont s'accroître, ce qui pourra poser problème avec des volumes de plus en plus limités. En effet, l'augmentation des températures entraînera une augmentation de l'ETP qui suffira la plupart du temps à créer ou accentuer l'état de sécheresse.



Les récoltes en ensilage qui se font à l'heure actuelle du 15 septembre au 15 octobre selon les zones vont partout pouvoir se faire plus tôt : d'ici la fin du siècle plus d'un mois pourrait être gagné. Il y a plusieurs intérêts à cette évolution : une disponibilité en jours plus importante pour installer la culture suivante (céréales à paille, semis de prairies, voire dérobées d'automne si on fait le pari du retour de la pluie), et surtout, la possibilité d'imaginer que le maïs puisse devenir une culture « à double fin possible » (grain ou ensilage), même dans les régions où ce n'est pas possible actuellement, ce qui est déjà un levier de sécurisation des systèmes : à l'image de ce qui se fait déjà dans le Sud-Ouest par exemple, les éleveurs cultivent plus de maïs que le besoin ordinaire de leurs animaux et

peuvent ainsi ensiler davantage de surfaces si les rendements sont à la baisse.

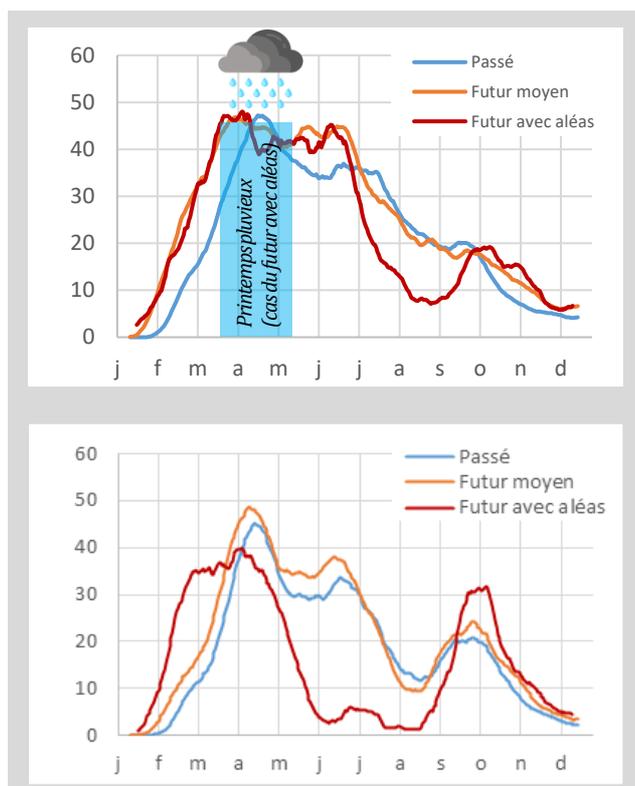
Si le cycle de végétation du maïs se raccourcit, et que sa récolte intervient au milieu de l'été, la période lors de laquelle sa qualité pour la récolte sera optimale (autour de 32 % de MS) va elle aussi se raccourcir, et tout le monde va vouloir ensiler en même temps (Figure 6). Les éleveurs ont connu cela en 2018 et 2019. La seule parade sera de cultiver des variétés de précocité différentes, quitte à ne pas maximiser les rendements.

Les simulations combinées RGI puis maïs montrent une augmentation des rendements des dérobées (sous réserve de pouvoir les implanter dans de bonnes conditions), liée là encore à l'augmentation des températures au printemps, mais une variabilité accrue des rendements du maïs qui les suit.

## 2.2. Les aléas impactant l'accès à la ressource et la variabilité des rendements : une source de préoccupations plus importante que les attentes par rapport à l'évolution tendancielle des rendements

Souvent les éleveurs ont insisté sur ce point : autant l'évolution tendancielle des rendements ne les inquiète pas, autant les difficultés créées par les aléas climatiques les préoccupent. On parle là de sécheresses, souvent, mais aussi d'excès d'eau, car ceux-ci créent d'importantes difficultés pour les récoltes ou le maintien des troupeaux en pâturage. Dans les différents ateliers, deux déroulements climatiques sont ressortis comme étant « les pires » : un printemps trop pluvieux suivi d'un sec et une sécheresse prononcée, du printemps à l'automne, certains systèmes étant plus affectés par l'un ou l'autre (figure 7).

Les indicateurs agro-climatiques calculés (voir chapitre 1.2) permettent d'objectiver ces inquiétudes. Par exemple, on observe généralement peu d'évolution des conditions de portance autour de la date théorique de mise à l'herbe (évaluées par le calcul du nombre de fenêtres de 4 jours sans pluie dans une période de 20 jours autour de la mise à l'herbe), et ce malgré le décalage de cette dernière. Les conditions permettant de réaliser une fauche précoce restent similaires voire s'améliorent légèrement dans certaines zones. Mise à l'herbe comme fauches précoces pourront être réalisées au stade idéal et dans de bonnes conditions seulement certaines années. Mais l'augmentation de la vitesse de croissance de l'herbe au printemps accentuera les conséquences négatives d'une mise à l'herbe ou d'une fauche trop tardive. Face à cela, plusieurs éleveurs ont évoqué le déprimage de certaines prairies, afin de décaler le pic de production sur une partie des surfaces. On retrouve généralement les mêmes résultats pour les fauches tardives.



**FIGURE 7 : Déroulements climatiques choisis par les groupes.** En haut, dans le Cotentin, un printemps pluvieux suivi d'un été sec ; en bas, en Ardèche, un printemps particulièrement sec suivi d'un été chaud et sec et d'un automne favorable à la pousse de l'herbe

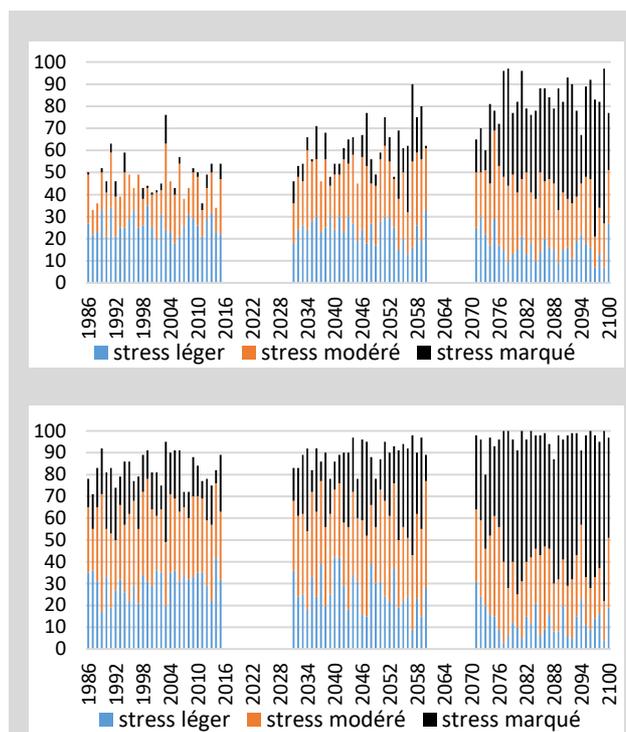
*Figure 7: Climatic sequences chosen by groups. Above, in the Cotentin region, a rainy spring followed by a dry summer; below, in the Ardèche region, a particularly dry spring followed by a hot, dry summer and an autumn favourable to grass growth*

Par ailleurs, l'importante variabilité des rendements a souvent conduit les groupes d'éleveurs à discuter de la notion de stock de sécurité, qui permet le plus souvent de gérer une « mauvaise » année si la suivante est moyenne ou bonne.

### 2.3. Les impacts zootekniques

En 2003 déjà, puis récemment en 2018 et 2019, les éleveurs ont appris à leurs dépens que la canicule peut parfois coûter plus cher qu'une sécheresse. En production bovine laitière, les sanctions liées aux températures excessives sont pour une part immédiate (baisse de la production et des taux, flambées de mammites), et pour l'autre part différées dans le temps (ancestrus, allongement des intervalles vêlage-vêlage).

Dans chaque zone, le calcul du THI montre l'augmentation du nombre de jours de stress thermique, et de la sévérité de ce stress, même dans des zones jusqu'ici peu concernées (Hauts plateaux du Doubs par exemple, figure 8).



**FIGURE 8 : Pour chaque année, nombre de jours selon l'intensité du stress tel que mesuré avec le THI, de 1986 à 2014 (sur données historiques SAFRAN) et sur le futur (modèle Aladin dans le scénario RCP 8.5).** En haut, sur les hauts plateaux du Doubs ; en bas, dans le Périgord noir (Dordogne).

*Figure 8 : Number of days per year with certain stress intensity values as measured using THI, from 1986 to 2014 (using SAFRAN historical data) and in the future (ALADIN model—RCP 8.5)*

Il faudra concevoir des bâtiments confortables à la fois l'hiver et l'été, les savoir-faire actuels étant surtout sur l'hivernage. Les solutions passant par l'agroforesterie devront être examinées avec soin : l'ombre des arbres pouvant abaisser la température de l'air de plus de 6 °C (Béral *et al.*, 2018).

Les éleveurs se sont montrés très attentifs aux aléas du type canicules. Ils se sentent relativement démunis quant aux techniques palliatives à mettre en œuvre. Le CNIEL, également très attentif à cette question a d'ailleurs commencé à financer les premiers travaux d'évaluation de différentes techniques de ventilation en bâtiments. D'autres travaux sont nécessaires sur la voie génétique (sélection d'aptitudes particulières, croisement...)

### 2.4. Adaptations et leviers de sécurisation : pas de recettes miracles, une grande diversité mais quelques questions communes

Lors des projections dans le climat du futur moyen (plutôt favorable), plusieurs voies apparaissent : faire des stocks en années favorables pour disposer d'un stock de sécurité, réduire la SFP pour développer les

céréales ou autres cultures de vente, développer les cultures dérobées, augmenter la production de lait en élevant plus de vaches, faire autant de lait avec plus de vaches, en diminuant les achats de concentrés, engraisser des veaux, élever plus de génisses, finir les vaches de réforme, ou profiter des tendances favorables pour réorienter les systèmes vers plus d'herbe, pour répondre aux enjeux de protection des captages, d'autonomie protéique... Il conviendrait aussi d'évaluer ces divers leviers au regard de leur impact énergétique et sur la production de gaz à effets de serre.

Face aux déroulements climatiques « à problèmes », de nombreux leviers ont été évoqués. Certains sont cités ci-dessous.

#### ♦ **Au niveau de la production fourragère**

Les groupes ont évoqué le sorgho, les méteils et MCPI, l'adaptation des espèces et variétés dans les prairies, la betterave fourragère, le déprimage des prairies... Dans les systèmes en polyculture-élevage, l'ensilage de céréales, l'intégration de paille dans les rations voire le déprimage des céréales ont également été cités. D'autres leviers déjà abordés plus haut ont aussi été cités (variétés de maïs plus tardives, maïs à double fin, développement de la luzerne, implantation de dérobées...), de même que les achats de fourrages, possible qu'à condition de disposer de suffisamment de trésorerie.

Enfin, la question des stocks a été systématiquement soulevée, avec des interrogations autour du dimensionnement d'un stock de sécurité. L'assurance récolte, elle, n'a été que rarement évoquée.

#### ♦ **Au niveau de la conduite du troupeau laitier**

À court terme, face à une de situations difficiles, les solutions évoquées consistent à diminuer temporairement le nombre d'animaux improductifs (par exemple en vendant les vaches de réformes sans les engraisser, ou en vendant des génisses quitte à diminuer le taux de renouvellement) voire réduire la production. À plus long terme, les éleveurs ont cité l'importance d'une bonne gestion du pâturage pour valoriser l'herbe au maximum (qui nécessite parfois de restructurer les exploitations afin que chacun puisse disposer d'un parcellaire groupé autour des bâtiments), la nécessité d'adapter la génétique (au niveau des races ou en croisement) et l'utilisation de dispositifs pour rafraîchir les animaux (isolation, ventilation, agroforesterie...) La délégation de l'élevage des génisses ou à l'inverse la mise en place d'un troupeau tampon (taurillons par exemple, à réduire lors d'une année difficile) ont parfois été citées.

Les leviers évoqués sont très nombreux, de nature très diverse, et si certains s'inscrivent dans la durée, pour conférer au système une capacité (qu'on a parfois mesurée) à être plus résistant ou plus résilient, d'autres sont connus pour être plutôt des variables d'ajustement conjoncturel. Les éleveurs savent que certains leviers

sont les deux à la fois : disposer de cultures à double fin suppose une adaptation des surfaces récoltées en fonction des rendements de l'année, mais disposer de surfaces à double fin dans son assolement, ça se prépare et ça s'anticipe. On remarquera au passage que si les éleveurs rencontrés affirment rarement vouloir aller vers des systèmes de polyculture-élevage, une bonne part des leviers évoqués suppose de rester dans un système de polyculture élevage. Cela serait d'ailleurs cohérent avec la transition écologique européenne également à prendre en compte (Poux et Aubert, 2018).

Enfin, il est clair qu'il reste pour certains leviers des questions techniques quant au mode d'emploi, ou aux conséquences environnementales. Certaines de ces questions sont actuellement à l'étude (réussite des semis en prairie multi-espèces, ambiance et ventilation des bâtiments, intérêt de l'agroforesterie...), d'autres pas encore, et certaines ont été traitées mais il semble exister un déficit de connaissance ou de vulgarisation (pâturage de la betterave, itinéraire de culture du sorgho...)

## **Conclusion**

Climalait et Climaviande étaient pour une bonne part des actions de développement et de sensibilisation plutôt que des programmes de recherche. Ces actions ont permis d'apporter des connaissances utiles à une meilleure maîtrise des différents aspects du changement climatique et de ses impacts, négatifs ou positifs. L'ambition n'était pas d'apporter à chaque éleveur les solutions concrètes et les recettes qu'il pouvait tout de suite mettre en œuvre. Au contraire, il s'agissait plutôt d'entendre et de comprendre ce que chacun percevait du changement climatique, et ce que pouvaient ou devaient être les pistes à étudier, dans un deuxième temps. Bon nombre de ces pistes seront transformées en questions de recherche et en expérimentations.

En général, nous avons rencontré des éleveurs très conscients de la réalité du changement climatique, parfois inquiets pour la planète, mais en même temps assez confiants dans leur capacité d'adaptation. Même dans les zones les plus difficiles où nous sommes passés (Ardèche, Dordogne, Monts du Lyonnais), il existe une certaine capacité à gérer les aléas de type sécheresse. Les inquiétudes sont moins sur la capacité technique à faire face à ces derniers que sur les coûts que cela entraîne, des coûts souvent déjà plus élevés que dans d'autres régions, sans signes de qualité pour compenser par des prix du lait supérieurs.

Par ailleurs, même si nous avons rencontré environ 120 éleveurs, cela suffit-il ? En termes d'impact, non bien sûr, il reste quelques dizaines de milliers d'éleveurs à sensibiliser ! Pour ce qui est de la formulation d'une diversité suffisante d'idées en matière de leviers d'adaptation, un échantillon aussi réduit est suffisant quand la méthode employée et la préparation des acteurs sont à la hauteur des enjeux.

Travailler avec un seul RCP/modèle de climat, est-ce crédible ? Dans le cadre de nos travaux, au niveau de la fiche agro-climatique nous traitons plusieurs RCP (scénarios du GIEC) ou plusieurs modèles de climat, et nous nous sommes repliés sur un seul RCP pour un seul modèle de climat dans le cadre des simulations sur les cultures, réalisées à partir d'un seul modèle. On pourrait nous reprocher cette approche réductrice, mais comparer les évolutions tendanciennes de rendements des cultures fourragères selon les modèles de climat n'était pas notre objet. Notre objet était plutôt l'exploration des aléas climatiques et de la variabilité inter-annuelle dans un horizon de temps compatible avec les capacités à se projeter des éleveurs. Nous avons cherché avec eux des déroulements climatiques problématiques à l'échelle annuelle, dans le futur, et nous les avons projetés dans ces situations. Ce type de crash-tests climatiques aurait pu être préparé avec d'autres séries climatiques que celle que nous avons choisie : les fréquences des aléas étudiés auraient été différentes (Ibara Ngonzi, 2018), mais ça n'aurait pas modifié la pertinence de l'exercice. En effet, en se préparant aujourd'hui à sécuriser son système fourrager par rapport à des événements redoutés, même si on ne peut en mesurer avec certitude la fréquence à venir on se place bien sur une trajectoire d'adaptation.

Il faut maintenant que le matériel laissé dans chaque site (outils, exposés, résultats de simulations, pistes évoquées) soit repris par les personnels habilités à faire du conseil. Par ailleurs, il y a d'autres dispositifs qui se mettent en place et qui contribuent puissamment (ils sont déployés à grande échelle) à sensibiliser les agriculteurs à la réalité du changement climatique, c'est par exemple le cas des observatoires régionaux du changement climatique. Nos propositions de méthode ont aussi comme vocation de prolonger les travaux de ces observatoires.

**Remerciements** aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail, aux conseillers et techniciens locaux qui ont contribué à l'adaptation du paramétrage de STICS aux pratiques locales et plus généralement à la préparation et l'organisation des ateliers autour du Rami fourrager®, au groupe Fourrages de la région Pays de la Loire pour sa participation à la définition des indicateurs agroclimatiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Béral C., Andueza D., Ginane C., Bernard M., Liagre F., Girardin N., Émile J.-C., Novak S., Grandgirard D., Deiss V., Bizeray D., Moreau J.-C., Pottier E., Thiery M., Rocher A., ADEME (2018). « Agroforesterie en système d'élevage ovin : étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique ». Synthèse.
- Brisson N., & Levrault F., (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME. 336 p.
- Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.-H., Ruget F., Nicoulaud B., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Durr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Machet J.-M., Meynard J.-M., Delécolle R., (1998). « STICS : A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn ». *Agronomie*, 18(5-6), 311-346.
- Durand J.-L., Bernard F., Lardy R., Graux A.-I., (2010). « Changement climatique et prairie : l'essentiel des impacts ». Dans N. Brisson & F. Levrault (Éditeurs), Livre vert du projet CLIMATOR. pp. 181-190
- Graux A.-I., Moreau J.-C., Raynal H., Ruget F., Carrère P., Faverdin P., Hill D., (2013). « Adaptation des systèmes d'élevage bovins au changement climatique : intérêts, limites et perspectives des approches de modélisation. » *Fourrages* 215, 231-240.
- Ibara Ngonzi H.P., (2018). « Étude et valorisation de calculs d'indicateurs agroclimatiques issus de différents modèles : signification spatiale et temporelle ». Rapport de stage.
- Martin G., Felten B., Magne M.-A., Piquet M., Sautier M., Theau J.-P., Thénard V., Duru M., (2012). « Le rami fourrager : un support pour la conception de scénarios de systèmes fourragers avec des éleveurs et des conseillers ». *Fourrages*, 210, 119-128.
- Noury J.-M., Fourdin S., Pauthenet Y., (2013). « Systèmes d'élevage et changement climatique : perceptions d'éleveurs et stratégies d'adaptation aux aléas. » *Fourrages*, 215, 211-219.
- Poux X., Aubert P.-M., (2018). « Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine. Enseignements d'une modélisation du système alimentaire européen. » Paris, France.
- Ruget F., Clastre P., Moreau J.-C., Cloppet E., Souverain F., Lacroix B., Lorgeou J., (2012). « Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. I. Estimation par modélisation et analyse critique. » *Fourrages*, 210, 87-98.
- Ruget F., Durand J.-L., Ripoche D., Graux A.-I., Bernard F., Lacroix B., Moreau J.-C., (2013). « Impacts des changements climatiques sur les productions de fourrages (prairies, luzerne, maïs) : variabilité selon les régions et les saisons ». *Fourrages*, 214, 99-109.