

Le suivi de la pousse des prairies par le Ministère en charge de l'agriculture : aspects institutionnels et fonctionnels

A. Triquenot¹, F. Ruget², F. Souverain³

1 : Service de la statistique et de la prospective, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, Complexe agricole d'Auzeville, BP 32688, 31326 Castanet-Tolosan ; alice.triquenot@agriculture.gouv.fr

2 : Institut national de recherche en agriculture, alimentation et environnement (INRAE), Unité EMMAH (Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes), Domaine Saint Paul, Site Agroparc – CS 40509- 84914 Avignon cedex 9 ; francoise.ruget@inra.fr

3 : Météo-France, Direction des Services Météorologiques - Conseil et Services - Division AGRO - 42 avenue Gustave Coriolis - 31057 Toulouse ; franck.souverain@meteo.fr

Résumé

Le dispositif d'Informations et Suivi Objectif des Prairies (ISOP) mis en place il y a plus de 20 ans par le Ministère en charge de l'agriculture constitue un outil incontournable de suivi de la pousse des prairies. Il repose sur un modèle de production STICS, combiné à des données relatives au climat, aux sols et aux pratiques d'exploitation des prairies, pour estimer la variabilité interannuelle de la pousse de l'herbe à l'échelle des régions fourragères. Fruit d'une étroite collaboration avec l'Institut National de Recherche en Agriculture, Alimentation et Environnement (INRAE) et Météo-France, il fait aujourd'hui référence en matière d'estimation du potentiel de production fourragère en France.

Après une brève description de l'architecture globale du dispositif ISOP et des données utilisées en entrée, sont abordées les principales valorisations des résultats issus du modèle : suivi mensuel de la pousse des prairies, permettant d'alerter au fil de l'eau sur des déficits pressentis dans certaines zones, ou encore contribution aux éventuels dossiers de demande de reconnaissance de calamité agricole à l'issue de la campagne. Un diagnostic des forces et faiblesses du modèle est ensuite proposé, avant d'évoquer les mises à jour prévues pour améliorer significativement la qualité des estimations dans certains cas particuliers, notamment en situation de sécheresse.

Introduction

Les prairies sont particulièrement sensibles à la sécheresse et aux fortes chaleurs. Les épisodes caniculaires ou de déficit hydrique de ces dernières années ont affecté les stocks de fourrages. Les éleveurs étant mis à mal, un nombre croissant de départements déposent des demandes de reconnaissance de calamité agricole. Dans un tel contexte, le besoin de suivre l'avancement de la pousse des prairies tout au long de la campagne, et d'alerter en cas de déficit, est réaffirmé. La complexité du mode d'exploitation des prairies (fauches plus ou moins fréquentes conjuguées à des consommations directes par les animaux) et la variabilité des effets de la météo selon les caractéristiques des prairies concernées (sols, espèce présentes, etc.), rendent ce suivi particulièrement délicat.

Face à ces défis, le Service de la statistique et de la prospective (SSP) du Ministère en charge de l'agriculture s'est associé à l'Institut National de Recherche en Agriculture, alimentation et Environnement (INRAE, anciennement INRA) et Météo-France, au milieu des années quatre-vingt-dix, pour construire un dispositif d'estimation du potentiel de production fourragère en France. Fruit d'une étroite collaboration entre les trois partenaires, le dispositif ISOP (Informations et Suivi Objectif des Prairies) fournit depuis l'année 2000 des estimations de rendement des prairies temporaires et permanentes productives à l'échelle de la région fourragère¹ (RF). Il fonctionne en France métropolitaine, y compris le pourtour méditerranéen, mais hors petite couronne parisienne et Corse.

A travers ISOP, le SSP poursuit un double objectif : appréhender à l'aide d'un modèle le potentiel de production des prairies, selon les conditions climatiques de l'année, à une échelle suffisamment fine (régions fourragères), et fournir chaque mois des indicateurs de tendance exprimés en rapport à une production de référence dite « normale », diffusés sous forme de publications conjoncturelles sur Agreste.

L'utilisation d'un modèle permet de réaliser des estimations de production ne reposant plus uniquement sur des déclarations d'agriculteurs (subjectivité des réponses, coût de collecte annuelle de l'information) mais sur un outil objectif prenant en compte la diversité des climats, des terroirs et des systèmes de production des prairies. Ce modèle permet également de suivre l'évolution de la production tout au long de la campagne.

¹Chaque région fourragère représente une aire géographique homogène d'un point de vue des conditions pédoclimatiques et des modes de conduite des prairies (Hentgen, 1982), d'une surface moyenne d'environ ½ département, mais variable selon les zones (cf. figure 1, carte "Suivi spatial"). Les résultats de modélisation reposent sur les pratiques culturelles dominantes, les sols dominants et le climat moyen local.

1. Caractéristiques d'ISOP

Le dispositif ISOP repose sur le modèle de croissance STICS (BRISSEON & *al.*, 1998) appliqué aux prairies (RUGET *et al.*, 2001 ; RUGET *et al.*, 2006), associé à une base de données agro-pédoclimatiques. Il fonctionne en continu tout au long de l'année au pas de temps journalier. Le cycle de production s'échelonne du 1er février au 31 octobre. Le dispositif ISOP est opérationnel pour deux types de prairies : les prairies temporaires et les prairies permanentes productives.

Le dispositif comprend en entrée trois séries de données :

Les données climatiques journalières caractéristiques de la région fourragère issues du réseau de Météo-France, obtenues par interpolation pondérée des stations disponibles.

Les données de sols au 1/1 000 000ème fournies par Infosol (anciennement Unité de Recherches en Sciences du Sol d'Orléans - INRAE).

Les données sur les pratiques culturales résultant de l'enquête sur les prairies représentative à l'échelle de la région fourragère et réalisée en 1998 par le SSP (anciennement SCEES), fournies par l'UMR EMMAH (anciennement Unité de bioclimatologie d'Avignon - INRAE). Les pratiques sont schématisées en séquence et mode d'utilisation (qui permettent de définir un nombre et un rythme), et fréquence de fertilisation azotée (hiver et à certaines utilisations). Les fauches ou pâtures ne sont distinguées que par leur rythme d'utilisation (plus fréquent pour les pâtures que pour les autres modes (foin ou ensilage). L'enquête n'avait fait apparaître que de très rares cas d'irrigation, ce qui explique qu'elle ne fasse pas partie des pratiques simulées. Ces données d'entrée (climat, sol et pratiques) alimentent le modèle STICS, adapté aux prairies, fourni par l'UMR EMMAH d'Avignon (INRAE cf. figure 1).

Les estimations de production sont fournies par région fourragère et par type de prairie. Elles sont simulées tout au long de l'année en fonction des données météorologiques de l'année en cours et comparées à une "normale" (moyenne calculée sur une série climatique qui a évolué depuis la création de l'outil, et qui correspondra à la période 1989-2018 à partir de 2020).

Il s'agit de valeurs moyennes, par région fourragère, exprimées en **quantités de matière sèche cumulée depuis le 1er février (quintaux/ha)**. Les résultats sont édités au pas de temps mensuel, d'avril à octobre, pour les besoins du SSP (situation au 20 de chaque mois) sous forme d'un indicateur exprimant le **rapport entre la production cumulée de l'année en cours et la production de référence (« normale »)** à la même date.

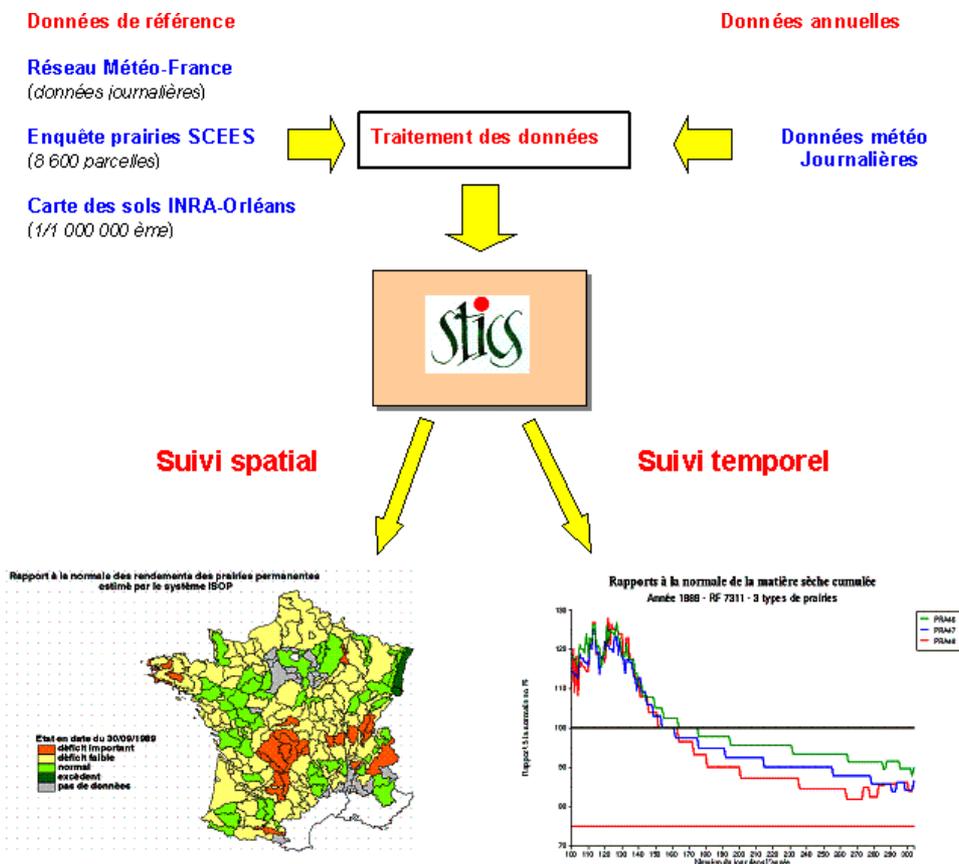


FIGURE 1 : Architecture du dispositif ISOP

Source : Informations et Suivi Objectif des Prairies, Guide d'utilisation - Agreste Chiffres et Données Agriculture – N°134 – mars 2001

2. Valorisation des résultats d'ISOP par le SSP

ISOP répond au besoin du SSP d'établir des estimations de production des prairies, en temps quasi réel, pour anticiper les éventuelles difficultés d'alimentation des troupeaux (et préparer des indemnisations). Au pas de temps mensuel, le modèle permet d'établir un bulletin conjoncturel publié tout au long de la campagne, sous forme de carte dans l'Infos Rapides prairies diffusé sur Agreste. Par ailleurs, les estimations issues du modèle sont confrontées à des expertises régionales, deux fois par an, pour estimer la production disponible des prairies, via une enquête annuelle pilotée par le SSP (cf. ci-après).

2.1 Suivi de la pousse de l'herbe au cours de l'année

Les résultats issus du modèle sont diffusés par le SSP chaque mois, d'avril à octobre, sous forme d'une publication synthétique « Infos rapides » mise en ligne sur le site Agreste : ces publications proposent une analyse synthétique de l'avancement de la production des prairies permanentes productives par région, illustrations à l'appui (carte et graphiques). La figure 2 présente le type de carte fournie par ISOP et commentée chaque mois dans cette publication. Ces résultats sont directement les sorties d'ISOP, non modifiées par une quelconque autre source.

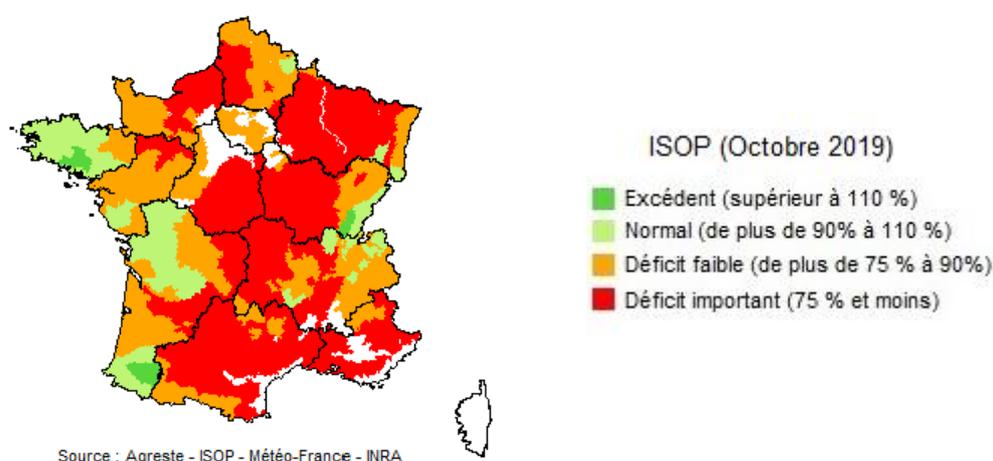


FIGURE 2 : Indicateur de rendement des prairies permanentes, par régions fourragères, fourni par ISOP, au 20 octobre 2019 (à l'issue de la campagne agricole 2019).

Source : Agreste Infos Rapides – octobre 2019 – n°2019 – 163 7/7

2.2 Liens avec le dispositif de suivi annuel des prairies par le SSP et élaboration de la statistique agricole annuelle (SAA)

Le SSP pilote également un dispositif de suivi annuel des prairies par les services délocalisés de la statistique agricole depuis les années 1990. Il permet d'estimer la production de fourrage disponible pour les agriculteurs en deux temps pour deux périodes successives : en juillet, pour la production d'herbe de printemps, et en décembre, pour la production d'été-automne. Ce dispositif s'appuie sur des expertises régionales, utilisant diverses sources pour estimer la production fourragère : les résultats du modèle ISOP, combinées à des remontées de terrain en mobilisant des réseaux d'experts locaux ou des enquêtes collectées directement auprès d'agriculteurs.

Cette production disponible ne coïncide pas toujours avec la production agronomique récoltable (tenant compte de ce qui reste sur pied après l'utilisation) estimée par ISOP. Ces deux productions peuvent en effet diverger en niveau à la suite d'épisodes climatiques défavorables qu'ISOP, dans sa version actuelle, ne prend pas en compte. C'est notamment le cas des fortes pluies, des inondations, de l'enneigement précoce, du gel, etc. qui peuvent interdire l'accès aux prés ou causer des dégâts que seule une expertise locale permet d'estimer.

Le dispositif de suivi consiste donc, pour les Services régionaux de l'information statistique (Srise) des Directions régionales de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt (DRAAF), à se rapprocher d'experts régionaux, voire dans certains cas à enquêter directement un panel d'exploitants², pour confirmer ou modifier les évolutions constatées par ISOP. Ces évolutions sont ensuite appliquées aux rendements de référence issus de ce dispositif (qui diffèrent en

² C'est notamment le cas en Auvergne (un peu plus de 100 exploitants sont interrogés chaque année depuis 2006) et en Limousin (environ 200 agriculteurs interrogés en 2019).

niveau de celles d'ISOP), pour estimer la production d'herbe, par région fourragère et département, en vue d'établir la SAA (la statistique agricole annuelle).

Les résultats de ce dispositif de suivi sont diffusés uniquement aux Services de l'Etat (Srise dans les DRAAF) à l'échelle du département, même si les estimations obtenues à l'échelle de la région fourragère sont parfois utilisées par les Srise dans leurs échanges avec les Directions départementales des territoires (DDT) en cas de calamité agricole.

Ces estimations de productions d'herbe de printemps et d'été-automne permettent d'alimenter la statistique agricole annuelle (SAA) produite par le SSP et qui sert de référence nationale sur l'ensemble des productions agricoles.

3. Mobilisation d'ISOP et d'autres estimateurs dans le cadre des calamités agricoles

En cas de calamité agricole sécheresse sur fourrage, les DDT mobilisent plusieurs sources pour constituer leur dossier de demande de reconnaissance : les simulations d'ISOP confrontées à celles d'autres modèles (indicateur de production fourragère d'Airbus-Defense and Space, estimations réalisées par Geosys), les résultats du dispositif de suivi annuel des prairies par le SSP, et d'autres données collectées sur le terrain par des services non statistiques. Des données météorologiques viennent également compléter le dossier. Tous ces éléments doivent se concevoir comme un faisceau d'indices permettant d'étayer la demande.

Les résultats d'ISOP, disponibles à l'échelle de la région fourragère, sont systématiquement joints à la demande de reconnaissance de calamité agricole. La combinaison de données pédologiques, agronomiques et météorologiques fait d'ISOP un outil de simulation de la pousse de l'herbe particulièrement abouti. Son ancienneté est également un atout face à d'autres modèles d'estimation de la production fourragère.

4. Forces et faiblesses d'ISOP

Le modèle produit des données depuis une vingtaine d'années. Il bénéficie ainsi d'une série historique longue³. Toutes les caractéristiques d'alimentation du modèle (données d'entrée) sont définies à l'échelle de la région fourragère, ce qui garantit une certaine finesse.

Des comparaisons peuvent être faites entre les résultats bruts issus du dispositif ISOP et la statistique agricole annuelle (SAA) départementale produite par le SSP⁴, qui, alors qu'elle s'appuie maintenant sur une consolidation des résultats ISOP par des experts régionaux pour évaluer la production annuelle des prairies par département, en était totalement indépendante jusqu'à la mise en service d'ISOP (Figure 3).

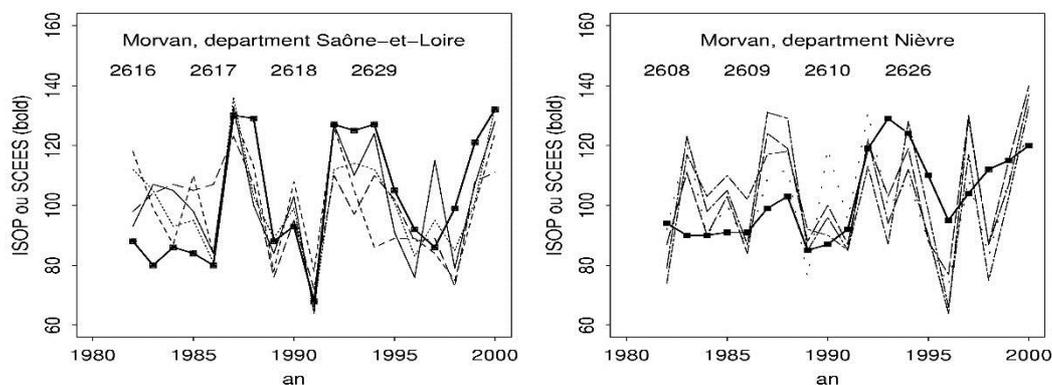


FIGURE 3a : **Comparaison d'estimations d'ISOP et de résultats de la SAA pour quelques régions fourragères de la Nièvre et de la Saône et Loire** (traits gras : SAA, traits fins : données ISOP par RF)

Source : ISOP, Agreste (Données SAA antérieures à la mise en service d'ISOP)

Note : les valeurs des deux graphiques ci-dessus sont exprimées (comme dans les sorties publiques d'ISOP) en pourcentage de la pousse de référence interannuelle. Cette pousse de référence interannuelle est calculée comme la moyenne sur une période de référence (1982-1996 dans cet exercice, correspondant à la version initiale d'ISOP) de la production annuelle de chaque RF estimée par ISOP.

³ Cf. Guide d'utilisation d'ISOP version 3 (D166, 06/2010) p. 17.

⁴ Voir précisions sur l'élaboration de la SAA page 6.

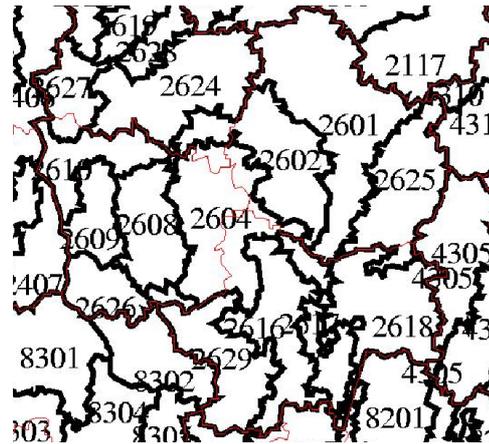


Figure 3b : **Emplacements des régions fourragères de la Nièvre et de Saône-et-Loire**
(en gras : limites de RF, en trait fin : limites des départements)

La figure 3 compare des simulations issues du dispositif ISOP antérieures à 2000, et des résultats issus de la SAA (non influencée par ISOP qui n'existait pas à l'époque). Cette comparaison met en évidence une variabilité entre les régions fourragères d'une même zone, que ne permet pas quantifier la SAA, et une assez bonne cohérence entre les évolutions interannuelles des productions. Dans l'exemple ci-dessus, on peut cependant noter un décalage parfois important, dans la Nièvre, pour des niveaux de production faible (1996 et 98) ou élevés (1986-87). A contrario, en Saône et Loire, les simulations sont proches des données SAA. Cet exemple a pour but d'illustrer la variabilité plus grande des estimations d'ISOP que celles de la SAA, partiellement liée à l'introduction d'une échelle plus fine dans ISOP que dans la SAA, ce qui peut être considéré comme un apport d'ISOP.

Certaines faiblesses d'ISOP sont connues, car liées à la constitution du dispositif. D'autres –explicables, mais pas nécessairement solubles – sont apparues au fur et à mesure de l'utilisation du modèle. Quelques-unes de ces faiblesses sont illustrées ci-dessous.

4.1 Limites liées aux données d'entrées du modèle

En matière de climat, un très grand nombre de stations d'observations est utilisé. La méthode employée est une moyenne, sur la région fourragère, de données météorologiques elles-mêmes spatialisées à la maille de 14 km * 9 km (soit environ 130 km²), à partir des 5 mesures les plus proches. Cette méthode est excellente lorsque les champs de variables sont assez stables, moins dans le cas contraire, lorsqu'il y a de brusques variations d'un paramètre (précipitations) avec une frontière de relief, ou de très fortes variations sur l'ensemble d'une région (température et altitude). De plus, même si toutes les stations sont utilisées pour la spatialisation, leur présence et leur représentativité est plus faible en zone d'altitude. La même fiabilité ne peut donc être accordée aux estimations de zones de montagne qu'à celles de plaine.

Une hypothèse doit, par ailleurs, être faite pour qualifier les sols des prairies. En effet, nous ne disposons en France que de cartes d'associations de sols, dites Unités Cartographiques de Sols (UCS), contenant toujours plusieurs Unités Typologiques de Sols (UTS), c'est-à-dire types de sol et leurs fréquences. Ces cartes ne permettent donc pas de savoir précisément sur quels sols spécifiques se trouvent les prairies. En l'absence de connaissances systématiques et facilement transposables sur les choix des agriculteurs pour installer ou maintenir des prairies, la répartition des prairies sur les sols est faite proportionnellement à la surface des sols les plus fréquents de la région fourragère, ce qui constitue une hypothèse forte.

4.2 Limites liées aux insuffisances du modèle

D'autres limites sont plutôt liées au modèle lui-même. En voici les principaux exemples.

Dans le cadre de ces calamités sécheresse, les DDT sont la plupart du temps amenées à établir un zonage infra-départemental. Mais localement, les résultats d'ISOP peuvent ne pas refléter de déficits sur un territoire précis, notamment suite à des épisodes climatiques défavorables spécifiques. ISOP est donc parfois contesté sur le terrain, plus ou moins localement, mais uniquement pendant les années de sécheresse, notamment en 2001, 2003, 2007, 2011, 2015 et 2018.

La production d'été-automne (juillet à octobre) paraît souvent surestimée, même dans les simulations d'expérimentation (pas seulement dans ISOP). Cette surestimation vient probablement de l'absence de limitation explicite de la croissance du couvert à l'automne autrement que par les facteurs classiques de la croissance (température, rayonnement, eau et azote), alors que les capacités de développement de la plante (mise en place de nouveaux organes, ici les feuilles) sont différentes de celles du printemps. De plus, la fin d'été est une période délicate à simuler car la production dépend du niveau de dessèchement du sol, et de l'état de l'enracinement de la prairie. La surestimation de la reprise de production en période de pluie après une sécheresse sévère constatée en 2018 peut aussi provenir du fait que la version du modèle utilisée actuellement ne simule pas la sénescence des feuilles pendant la sécheresse. Ainsi, le modèle simule une reprise de la production dès que l'eau, à nouveau présente (pluie), ne limite plus la production, alors qu'en réalité un délai est nécessaire pour que de nouvelles feuilles se mettent en place et que la croissance puisse redémarrer.

La version utilisée du modèle ne simule pas les effets d'anoxie (inondations) et ne tient pas compte des propriétés de portance des sols, donc d'éventuelles modifications de dates de pâturage ou de récolte liées à l'état du sol. Aucune limitation n'a par ailleurs été introduite pour représenter l'impossibilité de récolter pendant une période de précipitations fréquentes (végétation trop mouillée). D'autres effets des conditions météorologiques, comme la mortalité du couvert due au gel, ou la protection du couvert par la présence de neige, ne sont pas prises en compte dans la version de STICS actuellement utilisée dans ISOP. De même le modèle, utilisant des températures moyennes, ne tient pas compte des effets de températures caniculaires en journée.

Ainsi, la production estimée, en fonction des conditions pédoclimatiques locales, n'est pas forcément exploitable en totalité, surtout dans les conditions climatiques où la variabilité à l'intérieur d'une région fourragère peut être forte. ISOP est et reste un modèle de prévision, conçu et paramétré à l'échelle de la région fourragère, non mis à jour en cours de saison.

Certaines de ces limites pourraient être corrigées à l'occasion des prochaines mises à jour.

5. Mises à jour du modèle : réalisations passées et perspectives

5.1 Corrections du modèle et extension du champ géographique

La première version du dispositif ISOP a été mise en production en 2000 avec la version 3 de STICS. Quelques corrections ont été apportées en 2004, suite à des dysfonctionnements constatés après la sécheresse de 2003. Une nouvelle version, déployée en 2010, a permis d'étendre le champ géographique du modèle à la zone méditerranéenne.

5.2 Actualisation de la production de référence

En 2020, la période de référence utilisée par le modèle sera mise à jour, en prenant en compte davantage d'années (1989-2018). Cette mise à jour est justifiée par l'allongement de la période de fonctionnement du système, et la possibilité d'utiliser les résultats de 30 années récentes, comme c'est généralement le cas pour les séries variables, en climatologie notamment.

L'évolution globale de la production moyenne (de l'ensemble des RF) vue par ISOP est faible, même si la tendance est plutôt à la baisse, peut-être à cause de la fréquence plus élevée d'années à faible production en fin de période.

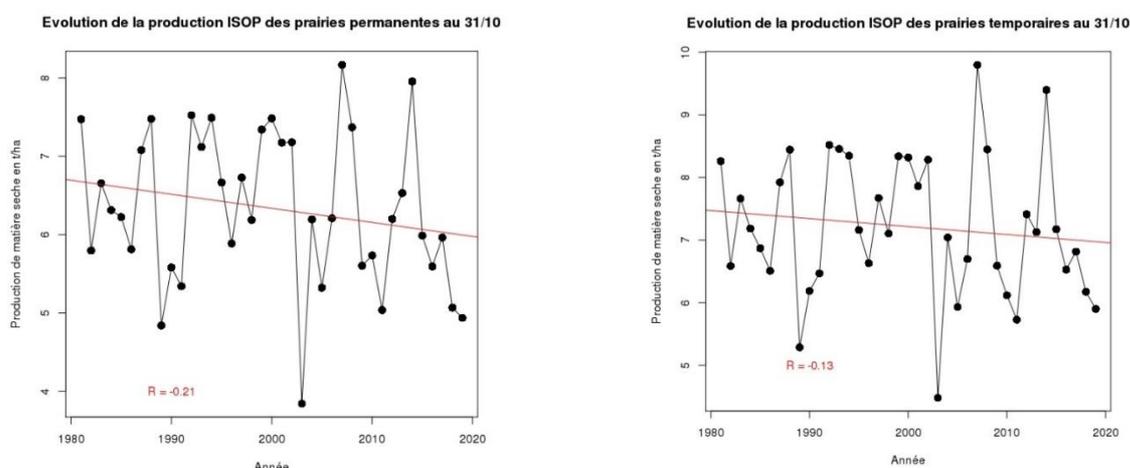


FIGURE 4 : Evolution de la production annuelle moyenne des prairies permanentes, et temporaires, pour l'ensemble des RF, pour toute la période de fonctionnement d'ISOP (de 2000 à 2019)

Source : ISOP, Météo-France, 2019

5.3 Evolution du modèle STICS et mise à jour pour ISOP

Depuis la création d'ISOP, divers travaux d'évaluation et de mise à jour (à la marge), du modèle ont été faits. Des travaux particulièrement importants de mise à jour sont envisagés à partir de 2020, afin d'implémenter la version 10 du modèle STICS. Cette évolution, particulièrement structurante, devrait apporter de nettes améliorations de la qualité des estimations et permettre de lever certaines des limites identifiées précédemment, notamment grâce à l'introduction des mécanismes suivants :

Amélioration de la simulation de la vie des feuilles (sénescence et chute).

En cas de températures hautes, prise en compte des seuils de température haute s'exerçant lors de la mise en place des feuilles, et, plus largement, sur la production de la période estivale.

Intégration de la mortalité de racines aux coupes, pouvant rendre la production de fin d'année plus sensible à la sécheresse.

Application d'un frein photopériodique à la mise en place des feuilles, d'autant plus fort que la photopériode est plus courte, ce qui ralentit donc la croissance de la 2^{ème} partie de l'année.

Possibilité de suppression du cumul des quantités produites mais non encore récoltées, ce qui évitera de faire apparaître des diminutions de production qui ne sont que l'absence de récolte d'une partie restée sur pied.

Les 4 premières sources d'améliorations listées ci-dessus devraient permettre de réduire l'excès de production d'été et d'automne en cas de forte chaleur, donc de ralentir la reprise de pousse en fin d'été, et ainsi de mieux équilibrer la production de printemps et d'automne.

Dans le cadre d'une étude commanditée par le MAA (Graux et *al.* 2017) autour d'un enjeu « Directive Nitrate », donc dans l'objectif d'estimer les productions maximales accessibles (Graux et *al.*, 2020) ont comparé les productions estimées par STICS (V8.5) et des observations régionales, réparties sur 4 régions (Pays de Loire, Bretagne, Auvergne et Franche-Comté). Ces observations pourraient utilement compléter les tests de la version 10 de STICS, qui sera utilisée. Néanmoins, l'objectif d'ISOP reste d'estimer les variations interannuelles des productions moyennes régionales (intégrant les éventuelles difficultés de mise en œuvre des pratiques recommandées) et non d'estimer des niveaux de potentialités régionales, ce qui ne rend pas les travaux réalisés pour la directive Nitrates directement applicables pour la montée en version de STICS v10 dans ISOP.

Conclusion

La question de l'estimation de la production des prairies se pose dans tous les pays de l'UE, avec les mêmes objectifs que ceux du Ministère en charge de l'agriculture : assurer un suivi conjoncturel de la production au cours de la campagne, et apporter un éclairage objectif vis-à-vis des demandes d'indemnités suite à des aléas climatiques exceptionnels (en lien avec les dispositifs assurantiels). Le suivi de la pousse des prairies est également un sujet d'étude dont les chercheurs, français comme européens, se sont largement emparés, dans le cadre d'études portant sur l'impact possible du changement climatique sur les surfaces agricoles (Rounsevell et *al.*, 2005, Smit et *al.*, 2008, Hermans et *al.*, 2010) ou sur la production de biomasse (Ketzer et *al.*, 2017). Le Centre commun de recherche (CCR), rattaché à la Commission européenne, a plutôt recours aux données de la télédétection (Lecerf, comm.pers.) pour estimer les rendements des prairies. Mais si ces questions sont beaucoup étudiées à travers l'UE, en particulier au sein du CCR, la France est le seul pays européen où un modèle de culture (Lopez-Lozano, comm.pers.) est utilisé dans le suivi mensuel de la production des prairies. La mise à jour de ce modèle à partir de 2020 devrait contribuer à renforcer son utilisation, y compris en situation de sécheresse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agreste Infos Rapides – octobre 2019 – n°2019 – 163 77

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.-H., Ruget F., Nicoullaud B., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Dürr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Mchet J.-M., Meynard J.-M., Delécolle R. (1998). STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn, *Agronomie*, 18, 311-346.

Graux A.-I., Delaby L., Peyraud J.-L. (coord.), Casellas E., Faverdin P., Le Bas C., Meillet A., Raynal H., Resmond R., Ripoche D., Ruget F., Théron O., Vertès F. (2017). Les prairies françaises : production, exportation d'azote et risques de lessivage. Rapport d'étude pour le Ministère de l'Agriculture, INRA (France), 75.

Graux A.-I., Resmond R., Casellas E., Delaby L., Faverdin P., Le Bas C., Ripoche D., Ruget F., Théron O., Vertès F., Peyraud J.-L. (2020). High-resolution assessment of French grassland dry matter and nitrogen yields, *European Journal of Agronomy*, 112, in press.

Hentgen A. (1982) : "Une méthode pour améliorer la connaissance de la production disponible des surfaces herbagères au niveau national", *Fourrages*, 92, 15- 49.

Hermans C.M.L., Geijzendorffer I.R., Ewert F., Metger M.J., Vereijken P.H., Woltjer G.B., Verhagen A. (2010): "Exploring the future of European crop production in a liberalised market, with specific consideration of climate change and the regional competitiveness": *Ecological Modelling*, 221, 2177-2187.

Ketzer D., Rösch C., Haas M. (2017): "Assessment of sustainable Grassland biomass potentials for energy supply in Northwest Europe", *Biomass and Bioenergy*, 100, 39-51. Informations et Suivi Objectif des Prairies, Guide d'utilisation - Agreste Chiffres et Données Agriculture – N°134 – mars 2001

Rounsevell M.D.A., Ewert F., Reginster I., Leemans R., Carter T.R. (2005): "Future scenarios of European agricultural land useII. Projecting changes in cropland and grassland", *Agr. Ecosyst and Environ.*, 107, 117-135.

- Ruget F., Delécolle R., Le Bas C., Duru M., Bonneville N., Rabaud V., Donet I., Perarnaud V., Paniagua S. (2001) : "L'estimation régionale des productions fourragères". Colloque Ager-Mia, 31 août 2000, in Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision, ed Cirad-INRA, Montpellier, Collection Repères, Malézieux, Trébul, Jaeger ed., 263-282.
- Ruget F., Novak S., Granger S. (2006) : "Du modèle STICS au système ISOP pour estimer la production fourragère. Adaptation à la prairie, application spatialisée". Revue Fourrages, n°186, 241-256.
- Smit H. J., Metzger M. J., Ewert F. (2008) : "Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe", Agr. Syst., 98, 208-219.
- Strullu L., Beaudoin, N., Thiébeau, P., Julier, B., Mary, B., Ruget, F., Ripoche, D., Rakotovololona, L., Louarn, G. (2020). Simulation using the STICS model of C&N dynamics in alfalfa from sowing to crop destruction. European Journal of Agronomy, 112, in press.