HAL
open science

# Quels outils pour évaluer des systèmes fourragers adaptés au changement climatique?

Matthieu Carof, Michel Marie, Jérôme Pavie

## To cite this version:

Matthieu Carof, Michel Marie, Jérôme Pavie. Quels outils pour évaluer des systèmes fourragers adaptés au changement climatique?. Fourrages, 2013, 215, pp.257 - 264. hal-01209249

**HAL Id: hal-01209249**

**https://hal.science/hal-01209249v1**

Submitted on 28 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

# Quels outils pour évaluer des systèmes fourragers adaptés au changement climatique ?

M. Carof[1, 2, 3], M. Marie[4, 5], J. Pavie[6]

**Les perturbations du climat, actuelles et futures, sont l'un des moteurs du changement des pratiques agricoles. La conception de nouveaux systèmes s'accompagne nécessairement d'une phase d'évaluation pour juger de leur pertinence vis-à-vis de différents critères. De nombreux outils sont disponibles et choisir le plus adapté est une étape cruciale.**

*RÉSUMÉ*

*En exploitation d'élevage, les éleveurs (seuls ou accompagnés) et les chercheurs sont conduits à imaginer de nouveaux systèmes fourragers, localement adaptés aux besoins et à l'évolution climatique. L'utilisation d'outils pour réaliser l'évaluation des systèmes est courante pour les scientifiques et les conseillers ; la difficulté réside dans le choix de l'outil à mobiliser. Un guide récent analyse, sur la base de caractéristiques simples (type de système à évaluer, dimensions de la durabilité évaluées, utilisateurs-cibles de l'outil, etc.), les outils capables d'évaluer sur de nombreux critères les systèmes fourragers adaptés au changement climatique. Une liste d'outils est proposée et deux d'entre eux (EDEN, MCASTER) sont présentés à titre d'illustration.*

*SUMMARY*

***Tools for evaluating that forage systems are adapted to climate change***

*Current and future climate changes are one of the driving factors of change in farming practices. New systems being developed by farmers (alone or with the help of farm advisors) and researchers require an evaluation phase in order to assess the relevance of new practices with regard to determined criteria. A wide range of tools are available, and choosing the right ones is crucial. A recent guide, relying on basic characteristics (type of system, parameters for evaluating sustainability, end users, etc.) has analyzed tools which may be used to check if forage systems are adapted to climate change based on multiple criteria. A list of tools is proposed, two of which are presented in detail.*

## 1. Les systèmes fourragers et le changement climatique

Le système fourrager est le système de pilotage d'une exploitation d'élevage qui assure la correspondance entre les besoins des animaux (ces derniers étant constitutifs du système d'élevage) et l'offre en paille, fourrages, *etc.* (ces derniers étant constitutifs du système de culture) ; il met en relation le système d'élevage et le système de culture (Vignau-Loustau et Huyghe, 2008). Élément décisionnel du système de production, sa modification implique de modifier le(s) système(s) de culture de l'exploitation, le(s) système(s) d'élevage et les relations entre ces ensembles.

En accord avec la définition précédente, **la réussite d'un système fourrager résulte de l'atteinte et du maintien d'un équilibre subtil entre besoins des animaux et offre**. Si la finalité est facile à saisir - une allocation de ressources optimale avec les besoins des animaux -, la mise au point d'un système fourrager efficient reste un exercice délicat qui, au cours du temps, a eu tendance à se complexifier par addition de nouvelles contraintes. On peut

*AUTEURS*
1 : AGROCAMPUS OUEST, UMR1069 SAS, F-35042 Rennes ; matthieu.carof@agrocampus-ouest.fr
2 : INRA, UMR1069 SAS, F-35042 Rennes
3 : Université Européenne de Bretagne
4 : INRA, UR55 Agrosystèmes Territoires Ressources, F-88500 Mirecourt
5 : Université de Lorraine, ENSAIA, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy
6 : Institut de l'Elevage, F-14053 Caen

*MOTS CLÉS* : Agriculture durable, changement climatique, développement agricole, diagnostic, innovation, pratiques agricoles, système fourrager, système de production.

*KEY-WORDS* : Agricultural development, climatic change, diagnosis, farmers' practices, forage system, innovation, production system, sustainable agriculture.

*RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE* : Carof M., Marie M., Pavie J. (2013) : "Quels outils pour évaluer des systèmes fourragers adaptés au changement climatique ?", *Fourrages*, 215, 257-264.

évoquer ainsi certaines attentes sociétales nouvelles, la variabilité des conjonctures économiques et, bien sûr, les conséquences du changement climatique.

L'adaptation à cette dernière contrainte est l'un des enjeux majeurs de l'élevage de demain (*cf.* par exemple, Van Tilbeurgh *et al.*, 2013). Ainsi, l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des aléas climatiques impose dès maintenant une réflexion sur la sécurisation, la flexibilité et la résilience des systèmes fourragers. C'est avant tout un enjeu technique sur lequel repose la pérennité de nombreuses exploitations, déjà exposées aujourd'hui. À plus long terme, les modifications climatiques conduiront inévitablement à une adaptation (i) des pratiques agronomiques et zootechniques, (ii) des modes d'exploitation des prairies et (iii) des choix culturaux ; **ces modifications climatiques remettront profondément en cause les systèmes fourragers aujourd'hui connus**. Par exemple, l'avancement de la pousse de l'herbe en saison ou l'accentuation de sécheresses estivales auront des réponses diverses selon les éleveurs : renforcement du pâturage pour les uns, développement de la part du maïs pour les autres. Selon les cas, les impacts environnementaux sur la gestion de l'eau, le stockage du carbone, la consommation d'énergie, le cycle de l'azote, *etc.* seront très différents. Il en est de même pour les impacts économiques, peut-être également pour les impacts sociaux.

**Les éleveurs seront les acteurs principaux de la construction de ces nouveaux systèmes fourragers** adaptés au changement climatique. Tout en proposant des adaptations de leur système fourrager qui empêcheront le changement climatique de rompre l'équilibre entre besoins et offre, les éleveurs seront invités à réduire leur empreinte environnementale et à conserver des exploitations rentables, viables et vivables. Ces objectifs risquent parfois d'être difficiles à concilier ; il convient donc d'être en mesure de rechercher des solutions par une approche pluridisciplinaire (agronomie, zootechnie, *etc.*) et multicritère.

Les auteurs de cet article souhaitent (i) présenter le cadre général qui conduit à la proposition de nouveaux systèmes fourragers, (ii) définir l'évaluation et signaler l'existence d'une grille d'analyse pour choisir un outil d'évaluation parmi d'autres, (iii) lister, sur la base de synthèses récentes, des outils permettant de mettre en œuvre une évaluation et (iv) présenter deux exemples d'outils d'évaluation. L'objectif est de donner au lecteur **une aide pour choisir des outils d'évaluation et un aperçu de ceux qui existent.**

## 2. La conception de nouveaux systèmes fourragers

### Les modifications à apporter aux systèmes fourragers

Comme indiqué précédemment, l'impact du changement climatique sur les systèmes fourragers invite les éleveurs à en imaginer de nouveaux qui soient à la fois **plus résilients** (c'est-à-dire capables de retrouver un fonctionnement « normal » après des fluctuations climatiques d'importance) et **plus robustes** (c'est-à-dire capables, d'année en année, de performances égales même dans un environnement climatique perturbé) (Lopez-Ridaura *et al.*, 2005). En même temps, ces nouveaux systèmes devront **contribuer le moins possible au changement climatique et assurer la durabilité de l'exploitation**.

Les modifications du système fourrager pourront concerner plusieurs de ses caractéristiques. Par exemple, Lemaire *et al.* (2006) et Moreau (2009) proposent des pistes potentiellement innovantes : la substitution du maïs par le sorgho grain ou des céréales immatures ensilés, l'extension de la période de pâturage, le choix de variétés adaptées au changement climatique ou bien encore l'introduction d'une plus grande diversité floristique dans les prairies. Bien évidemment, ces propositions de modification devront s'établir dans le respect de la cohérence globale des systèmes en évolution.

### La démarche de conception

Pour une exploitation donnée, ou un groupe d'exploitations similaires, la conception d'un nouveau système fourrager s'inscrit dans une démarche globale incluant quatre étapes (figure 1), que l'on soit dans une démarche de recherche ou dans une démarche d'accompagnement au changement. Meynard (2008) précise que cette démarche générique comprend en fait deux familles : l'une qualifiée de « boucle de progrès », où l'on cherche à améliorer pas-à-pas les systèmes existants afin qu'ils s'adaptent à de nouveaux objectifs et l'autre dite de « conception de novo », où l'on s'affranchit de l'existant pour construire des systèmes en rupture.

L'étape 1 implique souvent un **diagnostic du système existant** pour identifier les problèmes actuels et le cadre de contraintes dans lequel les alternatives au sys-

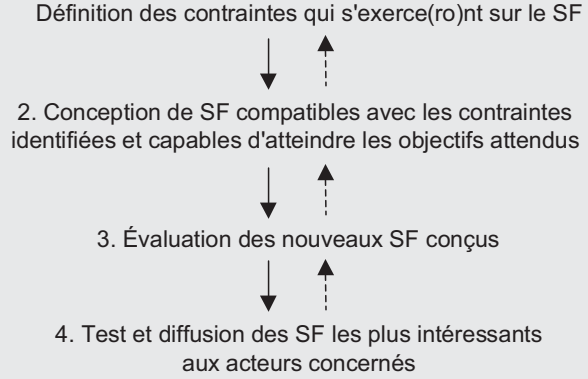


Figure 1 : **Le cadre théorique pour la conception de nouveaux systèmes fourragers** (SF) **comprend 4 étapes dépendantes les unes des autres** (adapté de Vereijken, 1997 ; Loyce et Wéry, 2006).

*Figure 1 :* ***The theoretical framework for developing new forage systems*** *(SF)* ***integrates 4 interdependent stages*** *(after Vereijken, 1997 ; Loyce and Wéry, 2006).*

| Caractéristique de l'outil | Description |
|---|---|
| Type de système évalué | Un outil évalue un type de système, défini initialement par ses créateurs. Classiquement, il s'agit du système de culture, du système d'élevage ou du système de production |
| Échelles spatio-temporelles de l'évaluation | Le type de système à évaluer et la nature des indicateurs utilisés pour l'évaluation déterminent les échelles auxquelles le système est évalué |
| Dimensions évaluées de la durabilité et critères associés | Un outil privilégie une, deux ou trois dimensions de la durabilité pour évaluer un système. Chaque dimension (économique, environnementale, sociale) peut être appréciée au travers d'un seul critère ou de plusieurs |
| Utilisateurs pouvant utiliser l'outil | Pour un outil donné, la nature des critères et des indicateurs, la possibilité de définir des priorités entre les dimensions évaluées de la durabilité et le type d'informations en sortie de l'évaluation restreignent le panel d'utilisateurs pouvant utiliser l'outil (par ex. des scientifiques, des conseillers agricoles, des agriculteurs) |
| Type d'information en sortie de l'évaluation | La qualité des supports visuels en sortie de l'évaluation (par ex. des graphiques synthétiques en radar) facilite la comparaison des systèmes alternatifs, leur classement ou la sélection du meilleur |
| Capacité à générer des systèmes alternatifs | L'outil est-il capable de générer des systèmes alternatifs à l'existant ou faut-il avoir recours à un autre outil pour l'étape de conception ? |

TABLEAU 1 : **Les outils d'évaluation se distinguent, dans un premier temps, selon 6 caractéristiques facilement accessibles** (d'après CAROF *et al.*, 2013).

*TABLE 1 :* ***Evaluation tools are at first distinguished based on 6 easily accessible characteristics*** *(after CAROF et al., 2013).*

tème en place seront conçues. Ces contraintes peuvent être, par exemple, la surface exploitable, l'accès aux crédits ou, en ce qui concerne le changement climatique, la répartition annuelle des précipitations.

La **génération de systèmes fourragers alternatifs** à l'existant (étape 2) peut se faire en utilisant différentes méthodes comme le prototypage ou la modélisation. Cette dernière méthode est particulièrement intéressante parce que les modèles permettent d'explorer des situations non permises par l'expérimentation et élargissent le « champ des possibles ». À titre d'exemple, COLÉNO et DURU (1999) proposent un modèle pour mettre au point et tester des règles de décision relatives au pâturage tournant. D'autres méthodes ont été présentées pendant les Journées AFPF et les auteurs renvoient le lecteur aux articles correspondants.

Au cours de l'étape 3, les résultats de l'évaluation sont interprétés par **les concepteurs** afin que ces derniers **sélectionnent le(s) système(s) fourrager(s)** alternatif(s) **le(s) plus prometteur(s)**. Les éléments constitutifs de ces nouveaux systèmes fourragers pourront ensuite **être testés** en station expérimentale et/ou chez des agriculteurs (étape 4). Cette étape d'évaluation fournit également des informations précieuses aux acteurs des filières agricoles - au premier rang desquelles, les agriculteurs - sur les avantages mais également les limites de ces nouveaux systèmes. À noter qu'une évaluation conduisant à « mal » noter les nouveaux systèmes proposés peut renvoyer à une nouvelle étape de conception, en se focalisant sur les composantes du système responsables de cette « mauvaise » évaluation.

**La recherche participative facilite la réalisation des différentes étapes** puisque les acteurs sont directement impliqués dans le processus global de conception (par ex. GOUTTENOIRE *et al.*, 2013). Le jeu du Rami fourrager, mis au point par MARTIN *et al.* (2011, 2012) est un exemple de démarche de conception associant l'expertise d'éleveurs et la modélisation.

## 3. Les caractéristiques générales des outils d'évaluation

### Une définition de l'évaluation et des termes s'y rapportant

Évaluer un système agricole consiste en fait à quantifier un (ou plusieurs) indicateur(s) afin de déterminer le degré de maîtrise d'un (ou plusieurs) critère(s). Un indicateur est une variable que l'on peut mesurer, simuler ou expertiser et qui renseigne sur l'état d'un critère ; ce dernier est un caractère, principe, élément auquel on se réfère pour juger le système évalué. Par exemple, la teneur en nitrate dans le sol pendant la période d'interculture peut être un indicateur d'un critère « impact du système sur la qualité de l'eau » ; la quantité de gaz à effet de serre émis par un système peut être un indicateur d'un critère « contribution du système au réchauffement climatique ».

### Six caractéristiques pour choisir un outil d'évaluation

Pour réaliser l'évaluation de nouveaux systèmes agricoles, plusieurs outils ont été développés ces dernières années et les synthèses sur le sujet sont nombreuses (par ex. HALBERG *et al.*, 2005 ; LE GAL *et al.*, 2011). En complément de celles-ci, CAROF *et al.* (2013) proposent un guide, simple, pour aider une personne impliquée dans une démarche de conception à distinguer puis choisir un outil d'évaluation sur la base de 6 caractéristiques, rappelées dans le tableau 1. Sur le même thème, les travaux de LEBACQ *et al.* (2013) sont également à mentionner.

Appliqué à l'évaluation de systèmes fourragers adaptés au changement climatique, le guide peut être pré-rempli de la manière suivante (figure 2). Bien évidemment, un certain nombre de questions restent posées : seule la personne (ou le collectif de personnes) impliquée

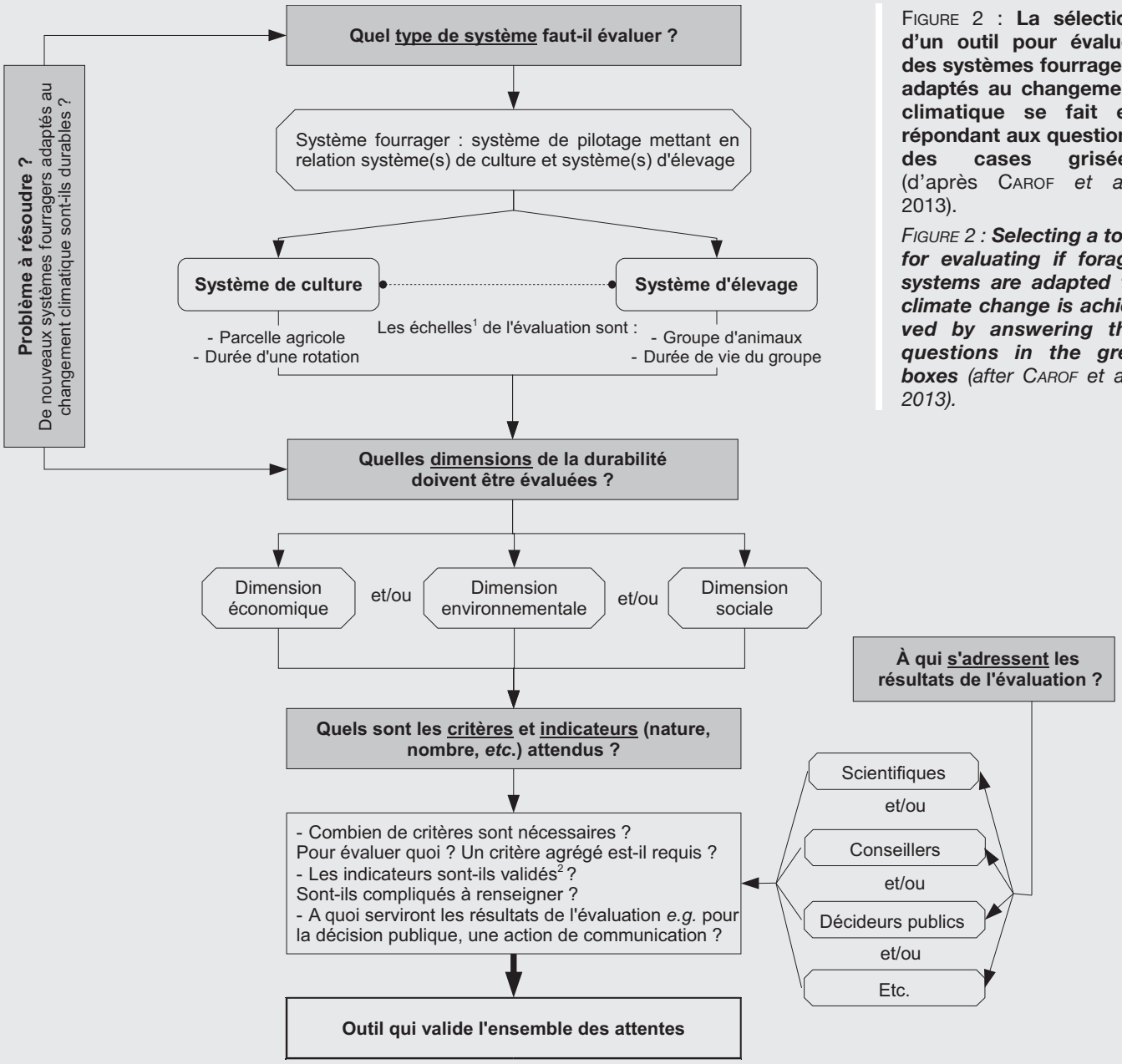


FIGURE 2 : **La sélection d'un outil pour évaluer des systèmes fourragers adaptés au changement climatique se fait en répondant aux questions des cases grisées** (d'après CAROF *et al.*, 2013).

*FIGURE 2 :* ***Selecting a tool for evaluating if forage systems are adapted to climate change is achieved by answering the questions in the grey boxes*** *(after CAROF et al., 2013).*

dans une réelle démarche de conception pourra y répondre. Certains points du guide appliqué à la sélection d'un outil pour évaluer les systèmes fourragers adaptés au changement climatique méritent un commentaire :

- L'outil recherché doit **évaluer le système fourrager, c'est-à-dire** (i) **les conséquences économiques et/ou environnementales et/ou sociales des actes techniques mis en œuvre** au champ et sur les animaux **et** (ii) **l'équilibre entre besoins des animaux et offre** en paille, fourrages, *etc.* Cependant, comme le lecteur pourra s'en rendre compte au chapitre suivant, peu d'outils s'intéressent à ce type de système. Beaucoup d'outils évaluent le système de production, qui certes inclut le système fourrager mais peut également inclure d'autres aspects d'une exploitation non liés au système fourrager ; dans ce cas, l'évaluation ne porterait pas que sur le système fourrager. D'autres outils évaluent soit le système de culture, soit le système d'élevage mais pas directement le lien entre ces deux ensembles, qui est au cœur de l'analyse systémique dans les exploitations avec élevage.

- Le **choix des critères et indicateurs** retenus pour l'évaluation de nouveaux systèmes fourragers est à la discrétion des personnes impliquées dans la démarche de conception. Toutefois, il semble important que des critères concernant la contribution des systèmes fourragers au changement climatique soient présents afin d'éviter d'en concevoir de nouveaux qui seraient eux-mêmes plus émetteurs de gaz à effet de serre que les systèmes actuels !

- Dans le guide, trois dimensions sont mises en avant, correspondant à une définition généralement

| Nom de l'outil | Type de système évalué | Utilisateurs cibles [1] | | | | Dimension évaluée [2] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | C | S | Au. | Éco. | Env. | Soc. |
| DIALECTE | Système de production | (X) | X | | | | X | |
| EDEN | Système de production | | X | X | | X | X | X |
| IDEA | Système de production | X | X | | X | X | X | X |
| INDIGO | Système de culture | (X) | X | X | | | X | |
| MASC | Système de culture | (X) | X | X | | X | X | X |
| MCASTER [3] | Système de production | | | X | | X | X | X |
| MEACROS | Système de culture | (X) | X | X | X | X | X | X |
| MODAM | Système de production | (X) | | X | X | X | X | |
| MOTIFS [4] | Système de production | X | | | | X | X | X |

1 : A : Agriculteur ; C : Conseiller ; S : Scientifique ; Au. : Autre (décideur public, étudiant, *etc.*). (X) : les agriculteurs peuvent être une des cibles de l'outil mais sa complexité d'utilisation peut nécessiter une tierce personne.
2 : Éco. : économique ; Env. : Environnementale ; Soc. : Sociale
3 : Marie et Bacchin (2011) ; Marie et Merchier (2012)
4 : Meul *et al.* (2008)

Tableau 2 : **Les 3 caractéristiques** (type de système évalué, utilisateurs cibles et dimension évaluée) **qui permettent de faire un premier tri dans une liste, non exhaustive, des outils d'évaluation actuels**.

*Table 2 :* ***The 3 characteristics*** *(type of system, target users and evaluated parameters)* ***used to sort out current evaluation tools included in a non exhaustive list****.*

admise **de la durabilité** (von Wirén-Lehr, 2001). Certains auteurs considèrent **également** une dimension « technique » (par ex. Colomb *et al.*, 2012) pour évaluer **la productivité** des systèmes ainsi que **la pérennité de leur capacité de production.**

## 4. Les outils d'évaluation

Les outils d'évaluation des systèmes agricoles sont régulièrement référencés par les scientifiques (par ex. van der Werf et Petit, 2002 ; Halberg *et al.*, 2005 ; Bockstaller *et al.*, 2009 ; Vertès *et al.*, 2010 ; Le Gal *et al.*, 2011 ; Carof *et al.*, 2013). Le tableau 2 ne se veut pas exhaustif mais est une information volontairement partielle des outils multicritères existants, présentés dans les différents articles cités précédemment. Pour ne pas alourdir le référencement bibliographique de cet article, le lecteur consultera les synthèses mentionnées auparavant pour trouver - sauf exception précisée dans le tableau - l'article décrivant tel ou tel outil. Notez que certains de ces outils n'évaluent que très partiellement l'impact du système étudié sur le changement climatique (par ex. DIALECTE, IDEA).

Cette liste ne contient pas des outils se limitant à une dimension et à un seul critère ; par exemple, l'outil Dia'terre (ex-Planete) n'est pas présent parce que l'évaluation est une analyse énergétique du système de production (consommations énergétiques, émissions de gaz à effet de serre). Il en est de même pour les outils s'appuyant sur le concept d'« émergie » (par ex. Bastianoni *et al.*, 2001) ; l'émergie d'une ressource ou d'un produit est « définie en convertissant toutes les ressources (matières premières) et les entrées d'énergie sous la forme de leurs équivalents énergétiques solaires (*solar energy unit,* seJ) » (Amponsah, 2011).

## 5. Deux exemples d'outils d'évaluation

Pour concrétiser les outils d'évaluation, les auteurs de cet article ont choisi d'en présenter deux exemples sur la base de travaux réalisés dans leurs unités de recherche respectives.

### EDEN : l'analyse de cycle de vie pour évaluer la durabilité d'exploitations agricoles

Développé par van der Werf *et al.* (2009), EDEN est un outil basé sur le cadre conceptuel de l'analyse de cycle de vie (ACV) ; il sert à évaluer la durabilité d'exploitations d'élevage laitier, en associant les indicateurs d'impact environnemental de l'ACV à des indicateurs de performances économique et sociale. Dans cette analyse « du berceau à la sortie de la ferme », **le système évalué est l'exploitation agricole et son amont** (la production des intrants) ; les produits ne sont plus inclus dans le système dès lors qu'ils quittent l'exploitation (vente, transfert d'effluents, *etc.*).

Les **indicateurs environnementaux** qualifient les impacts « directs » (affectant le territoire de l'exploitation) et « indirects » (associés à la production, en amont, des intrants utilisés sur l'exploitation) du système évalué ; les résultats sont exprimés par 1 000 kg de lait corrigé en matière grasse et en protéines et par ha de surface utilisée. Les indicateurs renseignent sur l'eutrophisation (en kg équivalent $PO_4$), l'acidification (en kg équivalent $SO_2$), le changement climatique (en kg équivalent $CO_2$), la toxicité terrestre (en kg équivalent 1-4 DCB), l'utilisation d'énergie non renouvelable (en MJ) et l'occupation de terre (en ha/an). Empruntés à la méthode IDEA, les **indicateurs économiques** informent, par exemple, sur la viabilité économique, le taux de spécialisation ou la sensibilité aux aides ; les **indicateurs sociaux** relatent la qualité de vie, la contribution à l'emploi, l'implication sociale et l'intensité du travail.

Le tableau 3 regroupe les indicateurs environnementaux d'EDEN appliqué à une exploitation laitière d'Ille-et-Vilaine dans laquelle les pratiques fourragères ont été modifiées afin de s'adapter au changement climatique (allongement de la période de pâturage et réduction de la durée de pâturage en été). L'exemple a une portée pédagogique uniquement (un certain nombre de cohérences systémiques seraient à vérifier avant de faire l'analyse approfondie de cet exemple). Le lecteur notera

| Impact potentiel [1] | Système actuel | Système testé |
|---|---|---|
| Eutrophisation (kg équivalent $PO_4$) | 5,8 | 6,9 |
| Acidification (kg équivalent $SO_2$) | 10,1 | 10,3 |
| Changement climatique (kg éq. $CO_2$) | 1 250 | 1 270 |
| Utilisation d'énergie non renouvelable (MJ) | 4 248 | 4 284 |

1 : Seuls ces 4 indicateurs d'impact environnemental sont présentés ici. Les impacts potentiels sont exprimés pour 1 000 kg de lait corrigé en matière grasse et en protéines.

TABLEAU 3 : **EDEN permet de comparer les évolutions d'un système d'exploitation en évaluant leurs impacts potentiels totaux sur l'environnement** (4 indicateurs ici présentés)**, l'économie et le social** (VAN DER WERF *et al.*, 2009).

*TABLE 3 :* ***EDEN is used to compare the evolution of farming systems based on the evaluation of their potential environmental*** *(4 indicators here presented)****, economic and social impact*** *(VAN DER WERF et al., 2009).*

que l'adaptation des pratiques de pâturage au changement climatique dans le système testé ici accentue légèrement les impacts environnementaux par rapport aux conditions initiales.

## MCASTER : l'agrégation multicritère pour évaluer la durabilité de systèmes de production

MCASTER (MARIE et BACCHIN, 2011 ; MARIE et MERCHIER, 2012) est un outil d'évaluation multicritère de systèmes de production avec élevage, implémenté dans le logiciel d'aide à la décision DEXi (BOHANEC, 2012). **Trente-cinq critères** basiques appartenant aux **dimensions économique, environnementale et sociale de la durabilité** sont décrits par une valeur quantitative, variant de 0 à 10, établie grâce à des indicateurs construits à partir (i) de pratiques[1], qui correspondent à des pressions exercées sur le système et (ii) de mesures directes, qui évaluent l'état actuel du système. Les critères sont organisés selon une arborescence hiérarchique, ce qui permet une association des critères basiques en critères agrégés jusqu'à un critère d'évaluation unique pour chacune des trois dimensions de la durabilité.

Cet outil explore l'**impact sur les ressources abiotiques** par 12 indicateurs concernant :

- les risques de pollution de l'eau (émission de produits phytosanitaires dans les eaux profondes et de surface, pertes de nitrates et de phosphore) ;

- les risques de pollution de l'air (émission de produits phytosanitaires, $NH_3$, gaz à effet de serre : $N_2O$, $CH_4$, $CO_2$) ;

- la qualité du sol (teneur en matières organiques, disponibilité du phosphore) ;

- la consommation d'énergie.

1 : Certains indicateurs de pratiques dérivent de la méthode INDIGO (BOCKSTALLER *et al.*, 1997).

L'outil explore également l'**impact sur les ressources biotiques** par 7 indicateurs concernant :

- les habitats (zones de régulation écologiques, diversité des cultures) ;

- la fertilité du sol (densité des lombrics) ;

- le contrôle biologique des ravageurs (carabidés, faune aviaire) ;

- la diversité végétale sauvage et domestique.

Les **aspects sociétaux** (6 indicateurs : circuits courts, qualité des produits, gestion du paysage, gestion du bâti, services rendus, participation à l'emploi), **sociaux** (4 indicateurs : pénibilité du travail, hygiène et sécurité au travail, implications sociales et autonomie décisionnelle) **et économiques** (6 indicateurs empruntés à la méthode IDEA : viabilité économique, spécialisation économique, autonomie financière, sensibilité aux aides, transmissibilité économique, efficience) sont aussi pris en compte.

Un exemple de sa mise en œuvre sur un système agricole bovin laitier herbager (SH : 37 vaches et 80 ha de prairies permanentes) et un système en polyculture - élevage bovin laitier (SPCE : 60 vaches, 105 ha de cultures de rente, fourragères et de prairies temporaires et 50 ha de prairies permanentes) est présenté figure 3 en ce qui concerne les aspects environnementaux.

Ces résultats prennent en compte de manière globale le système de production mais il reste possible, à un niveau d'agrégation inférieur, d'identifier la part revenant au système d'élevage et au système de culture ou même aux seules cultures fourragères ; il est donc possible de se centrer plus particulièrement sur le système fourrager. L'outil permet de caractériser les liens entre changement climatique et performances du système en termes de durabilité.

Dans le cas présenté, l'influence des cultures et des modes culturaux sur la production de gaz à effet de serre peut être mise en évidence. Ainsi, les émissions de protoxyde d'azote sont plus fortes dans les prairies - permanentes ou temporaires - de graminées que dans les prairies temporaires d'association luzerne - dactyle tandis que les cultures céréalières sont moins émettrices. La sensibilité aux aléas climatiques (variabilité entre années) des 2 systèmes étudiés est en cours d'étude avec les mêmes outils.

## Conclusion

L'évaluation de systèmes fourragers adaptés au changement climatique doit permettre non seulement de s'assurer que l'équilibre entre les besoins des animaux et les ressources fournies par le(s) système(s) de culture perdure mais également d'apprécier les autres conséquences - économiques, environnementales et sociales - que des adaptations des systèmes fourragers engendreront. L'évaluation de nouveaux systèmes fourragers doit donc être multidimensionnelle et multicritère. Pour cela, il existe de nombreux outils d'évaluation ; une liste, non

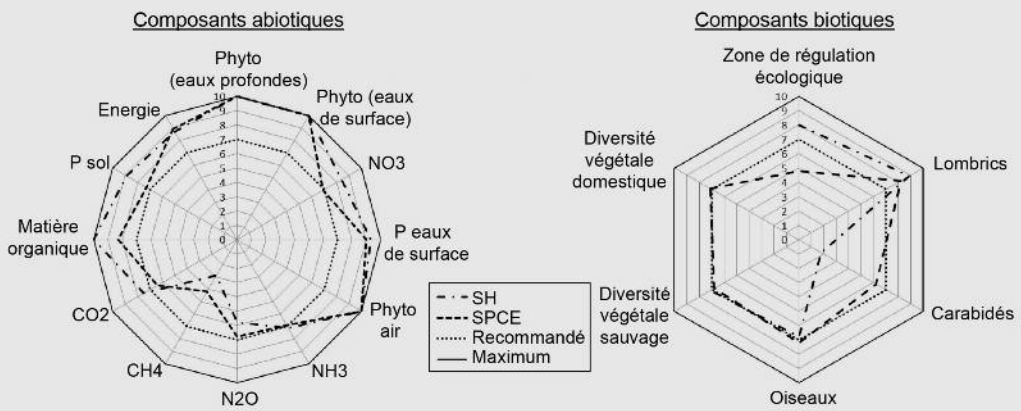


FIGURE 3 : **MCASTER permet, par exemple, de comparer les différents critères environnementaux d'un système bovin laitier herbager** (SH) **et d'un système de polyculture - élevage bovin laitier** (SPCE) (MARIE et BACCHIN, 2011 ; MARIE et MERCHIER, 2012).

*FIGURE 3 :* ***For example, MCASTER can be used to compare environmental criteria for a grass-based dairy cattle system*** *(SH)* ***versus criteria for a mixed cropping dairy cattle system*** *(SPCE) (MARIE and BACCHIN, 2011 ; MARIE and MERCHIER, 2012).*

exhaustive, a été présentée dans cet article. L'utilisateur impliqué dans un processus de conception pourrait aussi s'affranchir de cette liste en faisant lui-même une sélection d'indicateurs individuels qu'il jugerait pertinents (cf. le guide de sélection proposé par LEBACQ *et al.*, 2013). En tous les cas, le choix d'un outil est une étape cruciale pour la réussite du processus de conception.

Le lecteur aura noté, enfin, que peu d'outils évaluent spécifiquement le système fourrager tel qu'il a été défini en introduction. Les outils s'intéressent souvent au système de production qui englobe le système fourrager mais aussi des caractéristiques de l'exploitation qui en sont éloignées bien que souvent liées ou dépendantes. La modélisation, qui est souvent une démarche complexe réservée aux chercheurs, ouvre des perspectives plus larges en fournissant des résultats d'impacts de scénarios - tests de systèmes, ce qui permet d'améliorer la finesse et la fiabilité des outils évoqués précédemment.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et les systèmes fourragers",
les 26-27 mars 2013.

## *RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

AMPONSAH N. Y. (2011) : *Contribution à la théorie de l'éMergie : application au recyclage*, thèse de doctorat, École des Mines de Nantes, Université Nantes-Angers-Le Mans (France), 189 p. + annexes.

BASTIANONI S., MARCHETTINI N., PANZIERI M., TIEZZI E. (2001) : "Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy)", *J. Clean. Prod.*, 9, 365-375.

BOCKSTALLER C., GIRARDIN P. (2003) : "How to validate environmental indicators", *Agric. Syst.*, 76, 639-653.

BOCKSTALLER C., GIRARDIN P. VAN DER WERF H. M. G. (1997) : "Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems", *Eur. J. Agron.*, 7, 261-270.

BOCKSTALLER C., GUICHARD L., KEICHINGER O., GIRARDIN P., GALAN M.B., GAILLARD G. (2009) : "Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review", *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 223-235.

BOHANEC M. (2012) : *DEXi: program for multi-attribute decision making, Version 3.04*, Jozef Stefan Institute, Ljubljana (Slovénie), http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html

CAROF M., COLOMB B., AVELINE A. (2013) : "A guide for choosing the most appropriate method for multi-criteria assessment of agricultural systems according to decision-makers' expectations", *Agr. Syst.*, 115, 51-62.

COLÉNO F.C., DURU M. (1999) : "A model to find and test decision rules for turnout date and grazing area allocation for a dairy cow system in spring", *Agr. Syst.*, 61, 151-164.

COLOMB B., CAROF M., AVELINE A., BERGEZ J.E. (2012) : "Stockless organic farming: strengths and weaknesses evidenced by a multicriteria sustainability assessment model", *Agron. Sustain. Dev.*, 33 (3), 593.

GOUTTENOIRE L., COURNUT S., INGRAND S. (2013) : "Participatory modelling with farmer groups to help them redesign their livestock farming systems", *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 413-424.

HALBERG N., VAN DER WERF H. M. G., BASSET-MENS C., DALGAARD R., DE BOER I.J.M. (2005) : "Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems", *Livest. Prod. Sci.*, 96, 33-50.

LEBACQ T., BARET P. V., STILMANT D. (2013) : "Sustainability indicators for livestock farming. A review", *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 311-327.

LE GAL P.Y., DUGUÉ P., FAURE G., NOVAK S. (2011) : "How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review", *Agr. Syst.*, 104, 714-728.

LEMAIRE G., DELABY L., FIORELLI J.L., MICOL D. (2006) : "Systèmes fourragers et élevage", *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*, Paris (France), Expertise scientifique collective INRA, Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F.,Thomas A. (éd.), 312-322.

LOPEZ-RIDAURA S., VAN KEULEN H., VAN ITTERSUM M.K., LEFFELAAR P.A. (2005) : "Multiscale methodological framework to derive criteria and indicators for sustainability evaluation of peasant natural resource management systems", *Environm. Sustain. Dev.*, 7, 51-69.

Loyce C., Wery J. (2006) : "Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture", *L'agronomie aujourd'hui*, Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (éd.), Versailles (France), Synthèses, éd. Quæ, 77-95.

Marie M., Bacchin M. (2011) : "Crops and fodder for sustainable organic low input dairy systems", *62nd Ann. meet. Europ. Fed. An. Sci*, Stavanger (Norvège), p. 162, http://www.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2011Stavanger/Papers/Published/S25_Marie.pdf

Marie M., Merchier M. (2012) : "Biotic components of sustainability: assessing ecosystem services in livestock farming system", *63nd Ann. meet. Europ. Fed. An. Sci*, Bratislava (Slovaquie), p. 280, http://www.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2012Bratislava/Papers/Published/37_Marie.pdf

Martin G., Felten B., Duru M. (2011) : "Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems", *Environ. Modell. Softw.*, 26, 1442-1453.

Martin G., Duru M., Magne M. A., Theau J.P., Piquet M., Felten B., Sautier M., Thenard V. (2012) : "Le Rami fourrager : un support pour la conception de scénarios de systèmes fourragers avec des éleveurs et des conseillers", *Fourrages,* 210, 119-128.

Meul M., Van Passel S., Nevens F., Dessein J., Rogge E., Mulier A., Van Hauwermeiren A. (2008) : "MOTIFS: a monitoring tool for integrated farm sustainability", *Agron. Sustain. Dev.*, 28, 321-332.

Meynard J.M. (2008) : "Introduction générale - Produire autrement : réinventer les systèmes de culture", *Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?*, Reau R., Doré T. (éd.), Dijon (France), Educagri éd., 11-27.

Moreau J.C. (2009) : "Prospective à l'échelle des systèmes d'élevage herbivore, adaptations et pistes de réflexion", *Actes du colloque Changement climatique - Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, Institut de l'Elevage et Arvalis-Institut du végétal, 113-122.

van der Werf H.M.G., Petit J. (2002) : "Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 93, 131-145.

van der Werf H.M.G., Kanyarushoki C., Corson M.S. (2009) : "An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment", *J. Environ. Manage.*, 90, 3643-3652.

Van Tilbeurgh V., Vertès F., Léon A. S., Aussems E., Thenail C. (2013) : "Adaptation stratégique ou tactique dans les élevages laitiers", *Changement climatique dans l'Ouest : évaluation, impacts, perceptions*, Mérot P, Dubreuil V., Delahaye D., Desnos P. (éd.), Rennes (France), Presses Universitaires de Rennes, 309-324.

Vereijken P. (1997) : "A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms", *Eur. J. Agron.*, 7, 235-250.

Vertès F., Bockstaller C., Espagnol S., Petit J., Guichard L., Raison C. (2010) : "Méthodes et outils d'évaluation environnementale en systèmes d'élevage et stratégies d'utilisation", *Élevages et environnement*, Espagnol S., Leterme P. (éd.), éd. Quae et Educagri éd., 15-64.

Vignau-Loustau L., Huyghe C. (2008) : "Chapitre 1 : Le système fourrager", *Stratégies fourragères. Pâturage - Ensilage - Foin*, Paris (France), éd. France Agricole, 11-65.

von Wirén-Lehr S. (2001) : "Sustainability in agriculture - an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practice", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 84, 2, 115-129.

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

**www.afpf-asso.org**

AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France
Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com