

---

# PRAIRIES PERMANENTES

un atout majeur  
pour l'environnement  
et la santé publique

JUIN 2021

# Avis du Conseil scientifique du Comité de bassin Rhin-Meuse

08 juin 2021

## MEMBRES

Marc Benoît, président du Conseil scientifique (INRAe - ASTER) - Activités agricoles, territoire et environnement  
Gilles Drogue (Université de Lorraine - LOTERR) - Hydrologie ; Climatologie  
Sara Fernandez (INRAe - GESTE) - Politique de l'eau  
Serge Garcia (INRAe - BETA) - Économie de l'environnement  
Laure Giamberini (Université de Lorraine - LIEC) - Transfert de polluants  
François Guerold (Université de Lorraine - LIEC) - Écologie ; Sciences de l'environnement  
Philippe Hartemann (Faculté de Médecine Nancy) - Santé publique ; Évaluation du risque  
Lucien Hoffman (LIST Luxembourg) - Sciences de l'environnement ; Agrobiotechnologies  
Florence Le Ber (ENGEES) - Modélisation  
Anne Mathieu (INRAe - AgroParistech) - Agronomie et socio-anthropologie  
Jean-François Munoz (ANSES) - Chimie des eaux  
Anne Rozan (ENGEES - GESTE) - Économie de l'environnement  
Jochen Sohnle (Université de Lorraine - IRENEE) - Droit de l'environnement  
Michèle Trémolières (Université de Strasbourg - LIVE) - Écologie végétale

Avec la contribution de Sylvain Payraudeau (Université de Strasbourg - ITES) - Transfert de polluants

## SOMMAIRE

### 3 — LE RÔLE-CLÉ DES PRAIRIES, ENTRE QUALITÉ DES ALIMENTS ISSUS DES ANIMAUX ET QUALITÉS ENVIRONNEMENTALES

### 4 — L'HERBE AMÉLIORE LA QUALITÉ DE LA VIANDE ET DU LAIT

- 4 L'herbe, aliment des ruminants
- 4 La matière grasse, principal facteur de qualité nutritionnelle
- 5 La viande à l'herbe
- 5 Le lait à l'herbe

### 6 — L'HERBE PROTÈGE LES RESSOURCES NATURELLES

- 6 La prairie : stockage de carbone dans les sols et réduction des Gaz à Effet de Serre liés à l'élevage
- 7 La prairie : protection de la ressource en eau
- 10 La prairie : réservoir de biodiversité

### 13 — CONCLUSION

### 14 — BIBLIOGRAPHIE

# LES PRAIRIES PERMANENTES

## Un atout majeur pour l'environnement et la santé publique<sup>1</sup>

---

### **Le rôle-clé des prairies, entre qualité des aliments issus des animaux et qualités environnementales**

Cette synthèse vise à exprimer l'avis du Conseil scientifique du Comité de Bassin Rhin-Meuse sur les prairies, ces surfaces recouvertes d'herbes utilisées pour faire pâturer le bétail ou pour nourrir les animaux par les produits de fauche.

Elle rassemble les nombreux intérêts, dont certains peu connus, des surfaces en prairies.

Ces intérêts sont de deux ordres principaux :

► **Pour la santé** : augmenter la qualité alimentaire des produits issus des animaux consommant de l'herbe (lait, viande),

► **Pour l'environnement** : réserver des ressources environnementales majeures : biodiversité et ressources en eau, stocker le carbone, limiter les inondations et coulées de boues.

L'intensité des services rendus par les prairies varie en fonction de leur ancienneté (prairies dites permanentes ou prairies temporaires), de leur mode de gestion (pâturage plus ou moins dense ; fauche, plus ou moins précoce ; fertilisation, irrigation ou non) et de caractéristiques environnementales (type de sol et de sous-sol, climat,...).

Les éléments mis en avant sont le reflet des domaines de recherche des membres du Conseil scientifique Rhin-Meuse, ce qui peut expliquer que certains aspects soient plus développés que d'autres.

---

<sup>1</sup> Les références bibliographiques sont regroupées en fin de note, par grands thèmes.

## L'herbe améliore la qualité de la viande et du lait

### L'herbe, aliment des ruminants

Les bovins (vaches, bœufs, veaux,...), ovins et caprins (moutons, agneaux, chèvres...) sont des herbivores ruminants. Ces animaux, avec leurs deux estomacs, ont une grande capacité à digérer la cellulose contenue dans l'herbe, ce qui est impossible pour l'homme, monogastrique.

Dans un but d'intensification récent de la production, les ruminants sont de plus en plus nourris avec du maïs et des céréales, mais également du soja importé d'Amérique latine. Souvent couplé à un élevage conduit en bâtiment de plus en plus étendu tout au long de l'année, ce type d'alimentation n'a pas le même impact environnemental que le pâturage à l'herbe, n'offre pas les mêmes conditions d'élevage (états sanitaires et comportementaux des animaux), et produit de la viande et du lait de qualité nutritionnelle moindre.

### La matière grasse, principal facteur de qualité nutritionnelle

L'OMS a reconnu qu'une mauvaise alimentation, en particulier liée à des produits animaux, est l'un des principaux facteurs de risque pour une série de maladies chroniques, y compris les maladies cardiovasculaires, le cancer, le diabète ainsi que celles liées à l'obésité. De plus en plus documentée, l'influence de l'alimentation des animaux sur les qualités nutritives des produits issus de ces animaux (lait et viande) mérite plus d'attention. Il est important de différencier, en alimentation humaine, quantité de nutriments apportés et qualité et diversité de ces nutriments.

Les matières grasses sont classées en différentes familles en fonction de leur taux de saturation (saturation des atomes de carbone par l'hydrogène), qui jouent des rôles différents dans le fonctionnement des organismes.

### La viande à l'herbe

La composition des protéines et des graisses musculaires est relativement stable entre deux viandes issues de la même espèce, les différences de régime

alimentaire des animaux s'expriment surtout sur les micronutriments et les graisses de dépôt situées hors des muscles.

Le profil des **acides gras saturés** de la viande d'animaux nourris à partir d'herbe est meilleur : le taux d'acide palmitique diminue au profit de l'acide stéarique. Ce dernier se trouve principalement dans les graisses des ruminants. Il aurait un effet de lutte contre l'obésité (sensibilité à l'insuline), un blocage des cellules tumorales et aiderait au raffermissement de la peau (très utilisé en cosmétique).

**Le rôle des acides-gras polyinsaturés** du type oméga 3 et 6 est déterminant dans la composition des membranes cellulaires de l'organisme ou encore le bon fonctionne-

ment du système hormonal. Dans la viande rouge, leur taux est beaucoup plus faible que dans d'autres viandes (environ 8% des acides gras totaux contre ≈ 18% chez le porc et 50% chez le saumon), mais il est difficile de le faire évoluer. La quantité d'oméga 3 et 6 dans l'alimentation humaine est importante, et le rapport oméga 6/oméga 3 doit être inférieur à 5 (Legrand, 2006).

Au vu du déséquilibre dans l'alimentation des européens (rapport proche de 20), un très faible rapport est préférable, pour la santé des consommateurs. **La présence d'herbe pâturée dans la ration des produits d'origine animale ingérés par l'homme permet d'améliorer ce rapport.**

Le rapport des **acides-gras polyinsaturés** oméga 6 et oméga 3 est nettement meilleur quand les animaux mangent de l'herbe (2,2 contre 7,4 pour les animaux nourris au maïs, voir tableau 1).

Les acides-gras polyinsaturés sont très sensibles à la peroxydation, ce qui annule leurs propriétés. Le meilleur moyen de les conserver est d'avoir la présence d'antioxydant comme la vitamine E et les caroténoïdes qui se trouvent en grande quantité dans l'herbe pâturée. Or, les rations herbagères régressent dans le bassin Rhin-Meuse et le maïs, représentant actuellement deux tiers des rations alimentaires, y est majoritaire, à la seule exception de la Petite Région Agricole de la Montagne vosgienne.

*La présence d'herbe pâturée dans la ration des produits d'origine animale ingérés par l'homme permet d'améliorer le rapport oméga 6/oméga 3.*

Viande rouge			
Alimentation	Oméga 6	Oméga 3	$\omega 6/\omega 3$
Herbe	75	35	2,2
Maïs	118	16	7,4

**TABLEAU 1 : Composition de la viande rouge pour deux systèmes d'alimentation (mg/100g) de produit**

Van Elswyk & McNeill 2014 .Van Elswyk M.E., McNeill S.H. (2014). Impact of grass/forage feeding versus grain finishing on beef nutrients and sensory quality: The U.S. experience. Meat Sci 96: 535-540.

Encore peu connus et nécessitant des études plus poussées sur leur intérêt sanitaire, **les acides linoléiques conjugués** sont issus de la dégradation de l'acide linoléique (oméga 6) dans le rumen. Leur présence dans la viande est plus importante quand l'animal pâture.

## Le lait à l'herbe

Composé majoritairement d'eau, le lait ne contient que 4% de matière grasse. Ce taux peut être beaucoup plus élevé lorsque le produit est transformé (fromage, crème...). La composition des acides gras du lait évolue fortement en fonction de l'alimentation des animaux.

**Les acides gras saturés du lait** ont souvent mauvaise réputation. Cela est dû à la présence d'acide gras palmitique qui favorise le cholestérol. Mais **lorsque les animaux consomment principalement de l'herbe, on retrouve surtout de l'acide myristique, qui joue un rôle essentiel** dans le bon fonctionnement des relations entre les protéines et les cellules. Il aurait même un effet positif sur le taux de cholestérol. De plus, le pourcentage d'acide gras dans le lait de vache qui pâture est plus faible que dans les autres rations.

**L'acide-gras monoinsaturé** le plus présent dans le lait de vache est l'acide oléique (oméga 9). Bien connu pour son abondance dans l'huile d'olive, il limite les effets néfastes de certains acides gras saturés par sa faible sensibilité à l'oxydation. Il favorise l'augmentation du "bon cholestérol". Cet acide est le plus présent dans les tissus adipeux humains. Le meilleur moyen d'en augmenter le taux dans le lait est l'incorporation d'un fourrage à base de légumineuse comme par exemple la luzerne.

**Les acides-gras polyinsaturés** essentiels du lait sont les oméga 3 et 6. Le système herbager est le plus intéressant au vu de son très bon rapport  $\omega 6/\omega 3$  (2,9 pour les animaux nourris à l'herbe ; 5,9 pour ceux nourris au maïs, voir tableau 2). L'augmentation du taux d'oméga 3 est corrélée avec la diminution du taux d'acide palmitique.

Lait de vache			
Alimentation	Oméga 6	Oméga 3	$\omega 6/\omega 3$
Herbe	82	28	2,9
Maïs	73	12,5	5,9

**TABLEAU 2 : Composition du lait pour deux systèmes d'alimentation (mg/100g) de produit**

Borreani G., Coppa M., Revello-Chion A., Comino L., Giaccone D., Ferlay A. (2013). Effect of different feeding strategies in intensive dairy farming systems on milk fatty acid profiles, and implications on feeding costs in Italy. *Journal of Dairy Science*, 1-16

**L'acide ruménique** est un acide gras polyinsaturé. La présence d'herbe pâturée dans la ration est le seul moyen d'en faire augmenter le taux dans le lait. Sur animaux de laboratoires, il a fait l'objet de nombreuses études et il aurait un effet protecteur contre les cancers, le diabète de type 2 et certaines maladies cardio-vasculaires. À ce jour, aucune étude ne peut confirmer ces hypothèses chez l'homme.

## L'herbe protège les ressources naturelles

### La prairie : stockage de carbone dans les sols et réduction des Gaz à Effet de Serre (GES) liés à l'élevage

L'élevage est souvent critiqué pour ses impacts environnementaux : pollution de l'air et de l'eau. Les ruminants (bovins et ovins) émettent beaucoup de méthane (CH<sub>4</sub>). La fabrication des engrais de synthèse et la consommation de fuel émettent eux aussi de grandes quantités de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Les émissions se situent, pour le troupeau européen, entre 630 et 863 Millions de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>, soit de 12 à 17% des émissions totales en Gaz à Effet de Serre (GES) des 27 pays de l'Union européenne en 2007 (Dumont B. et Dupraz P. (coord.), 2016).

Pour autant ces mauvais résultats sont à nuancer lorsque l'on parle d'animaux nourris principalement à partir d'herbe.

D'une part parce que l'alimentation des ruminants notamment impacte les quantités de GES émis : l'herbe pâturée avant montée en graines diminue l'émission de méthane par rapport à un stade avancé car elle est moins riche en carbone (Dumont B. et Dupraz P. (coord.), 2016).

Et d'autre part parce que les prairies, comme les forêts, se caractérisent globalement par un stock élevé de carbone même si le stockage de carbone dans les sols dépend du type de sol et du climat et n'est pas permanent car il résulte d'un équilibre dynamique entre la matière organique entrant dans le sol et sa minéralisation, les prairies permanentes ont une capacité de stockage équivalente à celle des forêts en moyenne, supérieure à celle des grandes cultures. Les sols sous prairies représentent 22% du stock total de CO<sub>2</sub> à l'échelle de la métropole.

**Mais surtout les prairies permanentes ont la capacité d'augmenter les quantités de carbone stockées : +240 kg C/ha/an en moyenne pour les forêts et +212 kg C/ha/an pour les prairies permanentes contrairement aux grandes cultures qui déstockent le carbone.** (Pellerin S. et Bamière L. (pilotes scientifiques), 2019).

Ainsi, toutes ces surfaces en couvert permanent, forêts et prairies permanentes, sont à étendre dans nos territoires.

Les prairies temporaires ont un comportement très différent des prairies permanentes, et semblable à une culture annuelle, surtout si leur cycle est très court (Pellerin S. et Bamière L. (pilotes scientifiques), 2019). Plus les prairies temporaires sont de longue durée, deux voire trois ans, meilleures sont alors leurs performances en termes de stockage de carbone.

Une intensification (par apports de fertilisants) modérée et une exploitation de l'herbe par pâturage plutôt que par fauchage peuvent augmenter les capacités de stockage de carbone d'une prairie et représentent un coût (ramené à la tonne de carbone stockée) faible. Mais l'intensification modérée des prairies engendre une émission de GES et nuance donc l'intérêt de cette technique (Pellerin S. et Bamière L. (pilotes scientifiques), 2019). Une fertilisation tenue à un niveau inférieur à 120 KgN/ha/an est optimale.

**L'élevage à l'herbe est donc l'un des seuls émetteurs de gaz à effet de serre à pouvoir compenser de 30 à 80% de ses émissions en méthane,** notamment par le pâturage sur prairies permanentes. (Dumont B. et Dupraz P. (coord.), 2016). Cette compensation dépend du niveau de fertilisation, et elle n'a pas lieu avec les cultures annuelles.

## « Les prairies permanentes ont une capacité de stockage de carbone équivalente à celle des forêts »

Les changements d'usage des sols qui détruisent les prairies (retournement des prairies pour faire des grandes cultures par exemple ou bétonnage des terres agricoles pour urbaniser) diminuent d'autant les stocks et les pratiques stockantes. La perte de 470 000 ha de prairies dans la seule région lorraine depuis 1970 est à l'origine d'un déstockage de carbone des sols responsable de l'émission de 34 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit l'équivalent de 7 ans d'émissions par le transport routier dans cette même région<sup>2</sup>.

L'enjeu principal concernant les prairies est de maintenir (voire augmenter) leur surface et donc le stock existant de carbone.

### La prairie : protection de la ressource en eau

La protection de la ressource en eau est devenue un enjeu majeur dans la préservation des écosystèmes et en santé publique.

D'un point de vue financier, de nombreux retours d'expérience indiquent que le coût pour protéger la ressource est bien moindre que celui pour la traiter et rendre potable une eau polluée. (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2011). Par exemple, à Mangonville, en Meurthe-et-Moselle, traiter les nitrates et les pesticides coûte 3€ par m<sup>3</sup> ; ce qui représente 90 000€/an pour un bassin d'alimentation de 64 ha. Réaffecter ces sommes à une politique de prévention permettrait d'engager des actions conséquentes.

### ■ Pertes en nitrates limitées

L'effet bénéfique des prairies permanentes sur la qualité de l'eau a été souligné dans de nombreuses publications, permettant le maintien de la concentration de l'eau en dessous d'un seuil de 10 mg.L<sup>-1</sup> de nitrates, taux impossible à obtenir avec des cultures annuelles céréalières.

Pour de nombreux auteurs, les prairies permanentes ont un meilleur effet sur la qualité de l'eau que les cultures annuelles, telles que le colza, les céréales ou le maïs (Benoit et al. 2004, Graux et al. 2017, Vandenberghe et al. 2013, Kunrath et al. 2015). Seuls ces couverts permettent des concentrations en nitrates très basses de l'eau lixiviée, pouvant même atteindre 0 kgN.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pour des prairies fauchées correctement fertilisées (Vertès et al. 2007).

Si ces couverts prairiaux permanents sont admis par le consensus scientifique comme parmi les plus protecteurs de la ressource en eau, après les forêts, ils ne sont pas exempts de potentielles pertes en nitrates. De nombreux paramètres jouent sur les risques de lixiviation nitrique, comme le type de sol, le climat local, le mélange d'espèces présentes, le chargement en bétail, et les dates et quantités d'intrants apportées.

Plus un sol est drainant, sablonneux, ou riche en matière organique, et plus le risque de lixiviation sera élevé (Graux et al., 2017, Vertès et al., 2008, Hansen et al., 2007, Bossuet et al., 2006).

<sup>2</sup>Méthodologie de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> liées au retournement de prairies :

STH Lorraine : 1970 : 735 000 ha ; 2017, 418 000 ha (source des données : AGRESTE)

Stockage de carbone dans les sols : prairies permanentes (85 t/ha) ; terres arables (52 t/ha), avec l'hypothèse que le carbone stocké dans les sols artificialisés est du même ordre de grandeur que celui des terres arables (source des données : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-33621-etude-inra-stockage-carbone-sols-france-quatre-pour-mille.pdf>)

Emissions de CO<sub>2</sub> par le transport routier en Lorraine : 5,2 millions de tonnes en 2010 (source des données d'émissions de CO<sub>2</sub> par le transport routier : [http://www.atmo-grandest.eu/sites/prod/files/2017-01/80\\_Rapport-2014-Air-Lorraine-vdef\\_0.pdf](http://www.atmo-grandest.eu/sites/prod/files/2017-01/80_Rapport-2014-Air-Lorraine-vdef_0.pdf))



La température du sol influence également le potentiel d'azote lixiviable (Simon *et al.*, 1997), mais le facteur climatique ayant le plus d'impact sont les « précipitations ». Plus les lames d'eau drainées sont intenses, plus le risque de lixiviation est grand (Graux *et al.*, 2017, Hansen *et al.*, 2007, Shepherd *et al.*, 2001).

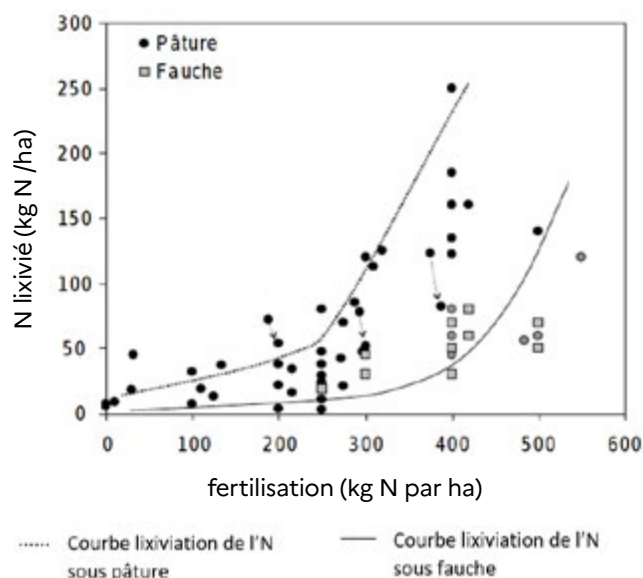
L'alternance sécheresse-humidité augmente également ce risque (Simon *et al.*, 1997). Le rapport trèfle blanc/raygrass est également important. Une proportion trop forte de trèfle blanc entraîne une augmentation de l'azote lixivié (Vertès *et al.*, 2008, Loiseau *et al.* 2001, Simon *et al.*, 1997), et la proportion optimale de trèfle blanc sur une prairie peu fertilisée est comprise entre 20 et 30% (Andrews *et al.* 2007, Peyraud *et al.*, 2008).

**La quantité et la nature de l'azote apporté sur la prairie ont également une incidence :** la lixiviation reste modérée si les intrants sont organiques (fumiers, composts, lisiers) et apportés en quantité inférieures à 200 kg d'azote par hectare et par an (Benoit et Simon, 2004, Cuttle et Scholefield, 1995). Dans le bassin Rhin-Meuse les apports sont de l'ordre de 120 kgN/ha/an.

Mais la période de fertilisation est également déterminante. Réaliser des applications fractionnées du début du printemps au milieu de l'été plutôt qu'en automne ou en hiver, réduira la lixiviation des nitrates (Cuttle et Scholefield, 1995, Cuttle et Bourne, 1993).

Enfin, le pâturage est, après la lame d'eau drainée, selon de nombreux auteurs (Monaghan *et al.* 2007, Benoit and Simon, 2004, Loiseau *et al.*, 2001, Jørgensen *et al.*, 2011, Di and Cameron 2004., Kunrath *et al.*, 2015), le facteur ayant le plus d'incidence sur les quantités d'azote nitrique dans l'eau percolée sous prairie.

Le chargement animal pâturant influe sur trois paramètres importants. Tout d'abord, l'ingestion de légumineuses par le bétail va inhiber la fixation de N<sup>2</sup> dans la pâture (Menner *et al.*, 2005) ; le piétinement va entraîner un tassement du sol qui va augmenter le ruissellement, réduire le taux d'infiltration du sol et limiter la croissance du pâturage (Drewry *et al.*, 2008) ;



**FIGURE 1 : Relations entre la fertilisation annuelle et la lixiviation du nitrate (N) : synthèse de sites expérimentaux** (d'après Walther, 1989 ; Simon *et al.*, 1997 et Laurent *et al.*, 2000). Les ronds gris désignent les pâtures sur sols hydromorphes, les flèches indiquent l'effet des modalités d'apport.

enfin, les excréments du bétail, en particulier urinaires, constituent les facteurs principaux d'augmentation de la lixiviation d'azote sur prairie (Monaghan *et al.*, 2007, Loiseau *et al.*, 2001, Benoit et Simon, 2004, Jørgensen *et al.*, 2011).

Le chargement en bétail est un facteur qui va déterminer les quantités d'azotes lixiviables, augmentant de manière exponentielle avec ce dernier, pour une même lame drainée. Plusieurs études dont celles de Vertès *et al.* 2008 et Simon *et al.*, 1997 préconisent de ne pas dépasser les 500 jours de pâturage UGB. ha<sup>-1</sup>. an<sup>-1</sup>, soit un chargement moyen de 2,7 UGB/ha pour ne pas dépasser le seuil réglementaire de concentration en nitrates de 50mg.L<sup>-1</sup>. Or, ces chargements sont très rarement dépassés dans le bassin Rhin-Meuse.



La relation entre la lixiviation des nitrates et la fertilisation azotée sur des prairies fauchées ou pâturées a été étudiée. La figure 1 nous montre les résultats pour une large gamme de fertilisation et pour divers contextes pédologiques et climatiques.

Dans l'absolu, on observe une différence importante de réponse aux intrants en fonction de la gestion de la prairie (pâture ou fauche). Les deux courbes de lixiviation (voir Figure 1) ont une allure similaire, exponentielle. Cependant, la lixiviation sous prairie pâturée est plus élevée que sous prairie fauchée. La lixiviation sous prairie pâturée augmente de manière exponentielle à partir de 250 kg d'N.ha<sup>-1</sup>, et aux environs de 350 kg d'N.ha<sup>-1</sup> pour les prairies fauchées.

Pour résumer, dès lors que l'on se situe **en dessous de 200 kg/ha/an d'apport d'azote et d'une charge de bétail inférieure à 2,7 UGB, les prairies, permanentes ou temporaires**, quand elles sont gérées non intensivement, **sont des couverts très efficaces pour limiter les pollutions par les nitrates**. Or il s'avère que cela correspond à la plupart des situations rencontrées dans le bassin Rhin-Meuse.

### Rétention des polluants autres que les nitrates

Les prairies comme les haies ou les bandes enherbées ont des capacités tampon dans la régulation des pollutions diffuses par des phénomènes de dilution et piégeage voire dégradation des polluants. (Gascuel-Oudou C. et al, 2007).

Elles reçoivent le plus souvent très peu d'autres intrants que l'azote et sont donc faiblement émettrices de polluants, contribuant ainsi à la dilution des pollutions diffuses (Gascuel-Oudou C. et al, 2007).

Par ailleurs, leur couvert végétal permanent, leur forte teneur en matière organique des premiers centimètres de sol et une activité microbienne importante leur confèrent la capacité de jouer un rôle sur la rétention (sédimentation du phosphore particulaire et adsorption des pesticides), la dilution et dans cer-

tains cas la dégradation des pesticides (dans les rares cas où les prairies permanentes reçoivent des pesticides) (Gascuel-Oudou C. et al, 2007).

Cependant, dans l'absolu, la forte teneur en matière organique facilitant la rétention des polluants peut conduire également à faciliter la survie de microorganismes pathogènes (Gascuel-Oudou C. et al, 2007).

Ainsi lorsque les prairies naturelles servent au pâturage, les animaux vont y déposer des déjections contenant des microorganismes fécaux : des indicateurs de cette contamination comme les coliformes et les streptocoques fécaux mais également microorganismes plus résistants dans l'environnement tels que des parasites (Giardia, Lambliia...) ou des sporulés. Le changement climatique conduit par ailleurs à la survenue d'épisodes pluvieux plus abondants et violents qui auront pour effet de «lessiver» la prairie et, éventuellement contaminer la ressource en eau par ces microorganismes. Ce phénomène sera d'autant plus important que les ressources sont sensibles aux activités de surface (karsts notamment) et devra être pris en compte soit par des prescriptions nouvelles pour les périmètres de protection concernés, soit par l'adaptation des traitements dans les usines de potabilisation (filtration sur membrane, désinfection par UV,...) (Communication personnelle Ph Hartemann, 2020).

Cependant, en réalité, compte tenu de l'origine de ses ressources en eau potable (essentiellement eaux souterraines protégées), le bassin Rhin-Meuse peut être considéré comme globalement préservé de ces risques mais une attention devrait néanmoins être de mise pour certains cas particuliers (prise d'eau de surface ou eau souterraine vulnérable notamment).

## Atténuation des phénomènes de crue et ruissellement

Les prairies permanentes présentent un couvert végétal pérenne, une certaine rugosité, une forte teneur en matière organique et un grand chevelu racinaire qui leur confèrent la capacité de résister à l'érosion et d'assurer une bonne aptitude à l'infiltration de l'eau (Gascuel-Oudou C. *et al.*, 2007). Si une prairie temporaire dure au moins deux ans, elle acquiert une partie de ces qualités :

- ▶ La diminution de la vitesse de ruissellement à l'arrivée dans une surface en herbe permet la sédimentation des particules en suspension (Gascuel-Oudou C. *et al.*, 2007).
- ▶ La localisation des prairies (et des dispositifs végétaux en général) a une influence primordiale dans l'efficacité de leur rôle tampon.
- ▶ Les prairies, assimilables à de grandes bandes enherbées, infiltreront d'autant mieux qu'elles seront placées en amont, là où les écoulements entrants sont encore faibles et diffus.

Ainsi les couvertures en prairies constituent une très bonne protection contre les phénomènes d'érosion de surfaces en lit majeur mais surtout sur de légères pentes. Elles représentent donc une protection efficace contre les coulées de boue. Elles sont néanmoins moins efficaces que les *Miscanthus*, les haies arbustives ou les fascines mortes en cas de fort écoulement entrant (voir Figure 2).

Les prairies permanentes de bas-fonds permettent également de jouer le rôle de zones tampons entre les zones agricoles et les eaux de surface en interceptant les flux de polluants (nitrates et pesticides) produits à l'amont via le ruissellement ou les écoulements souterrains (Catalogne et Le Hénaff, 2016).

Néanmoins, le chargement animal peut induire un piétinement qui réduit la capacité d'infiltration des sols (Gascuel-Oudou C. *et al.*, 2007), d'où une recommandation d'un chargement modéré de l'ordre de 2,7 UGB/ha/an.

## La prairie : réservoir de biodiversité

En Europe, l'évolution naturelle des milieux tend vers la forêt. Créées par l'homme pour faire pâturer les animaux domestiques il y a plusieurs millénaires, les prairies ont développé une grande biodiversité. Un territoire riche en biodiversité est avant tout un territoire avec une grande diversité de milieux (forêts, mares, prairies, haies, champs,...). Ainsi la notion de biodiversité peut se définir comme la richesse de différentes formes de diversité : diversité écologique (diversité des écosystèmes), diversité des espèces (richesse spécifique) ou diversité génétique (intra-espèces).

Type de dispositif	Largeur typique (m)	Capacité de rétention des sédiments instantanée	Autorégénération (durabilité sans curage)	Faible écoulement entrant		Fort écoulement entrant	
				réduction de la vitesse de l'eau	infiltration dans le dispositif	réduction de la vitesse de l'eau	infiltration dans le dispositif
Bande enherbée	10 m	3	3	3	4	2	2
Bande de <i>Miscanthus</i>	5 m	4	4	5	4	4	3
Haie arbustive	1 m	2	4	4	3	3	2
Fascine morte	0,8 m	5	1	5	1	5	1

### Légende

1	très faible	5	très fort
---	-------------	---	-----------

Source : Paul van Dijk (ARAA)

**FIGURE 2 : Atténuation du ruissellement : comparaison entre bande enherbée, bande de *Miscanthus*, haie arbustive, et fascine morte**

Projet GERIHCO (GEstion des Risques et Histoire des COulées boueuses) <http://gerihco.engees.unistra.fr/>

## Quelques fonctions et services de la biodiversité prairiale

Les bénéfices d'un accroissement de la biodiversité sur les services rendus par l'écosystème (i.e. stabilité de la production, fertilité du sol, résistance aux espèces invasives) sont globalement bien reconnus (Hervieu, 2002, Milne, 2004).

Ainsi, la diversité végétale a un effet positif sur l'augmentation de l'activité microbienne dans le sol et le stockage du carbone (Lange *et al.*, 2015).

La biodiversité prairiale offre des perspectives intéressantes pour la bio-régulation des cultures à proximité. Une propriété des prairies permanentes est leur valeur pour les insectes pollinisateurs. La diversité botanique des prairies permanentes est corrélée positivement avec la richesse et l'abondance des insectes pollinisateurs (Garrido *et al.*, 2019; Griffin *et al.*, 2017). La densité des pollinisateurs est plus faible à grande distance de ces prairies ce qui entraîne une baisse du nombre de visites par fleur (Steffan-Dewenter *et al.*, 2001) et réduit la banque de graines, au moins pour certaines espèces (Jennersten 1988, Knight *et al.*, 2005).

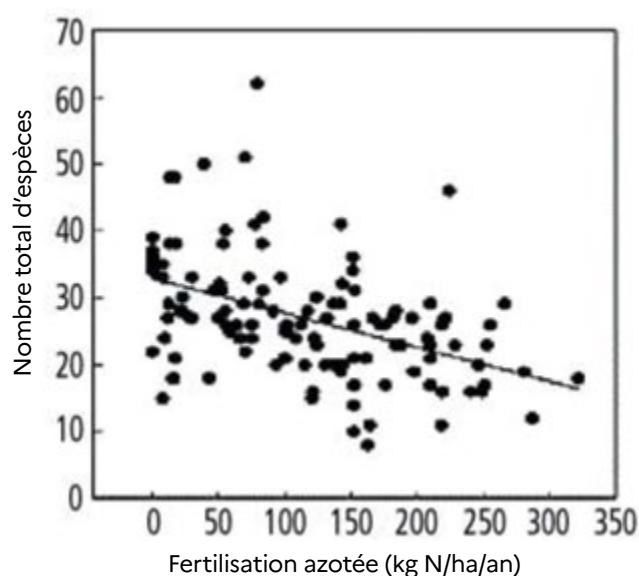
Afin de maintenir une diversité notable et des populations de pollinisateurs viables – ce qui est loin d'être commun de nos jours - Öckinger & Smith (2006) suggèrent qu'il est essentiel de préserver les quelques fragments encore existant de prairies semi-naturelles.

## Effet des pratiques agricoles sur la biodiversité prairiale

Les prairies possèdent un avantage vis-à-vis des cultures dans la mesure où elles sont le plus souvent exemptes des pratiques les plus délétères. Globalement, elles possèdent donc une biodiversité supérieure à celle des parcelles cultivées même si des différences peuvent apparaître entre elles en fonction de leur mode de gestion (pâturage ou fauche notamment).

Les pratiques agricoles telles que l'usage des pesticides, la fertilisation et le travail du sol peuvent avoir des effets négatifs sur les formes de diversité :

- Le **labour**, en détruisant la prairie permanente impacte directement la richesse spécifique.



**FIGURE 3 : Impact de la fertilisation azotée sur la richesse spécifique des végétaux pour 117 prairies permanentes allemandes**

(Klimek *et al.* 2007)

- L'**irrigation** est globalement favorable aux organismes du sol mais conduit à une diminution de la diversité végétale. Elle est très peu pratiquée sur prairies.

- Un **pâturage** plus intensif, c'est-à-dire avec une forte densité de bêtes à l'hectare, réduit la richesse spécifique (hormis pour les oiseaux avec néanmoins une plus faible abondance des individus) en favorisant par exemple des plantes à durée de vie courte et de petite stature. Persistent principalement les espèces tolérantes à un prélèvement répété et au tassement des sols.

La richesse spécifique des communautés d'arthropodes est favorisée par un pâturage peu intensif (Dumont B. et Dupraz P. (coord.), 2016).

- La **fertilisation** d'une prairie pour augmenter son rendement se traduit généralement par une perte de biodiversité (Borer *et al.*, 2017; Melts *et al.*, 2018). La richesse spécifique diminue rapidement sous l'impact de la fertilisation (voir Figure 3), mais à l'inverse la végétation d'une prairie subitement peu fertilisée peut mettre plusieurs dizaines d'années à retrouver un bon état de conservation (Willems & Nieuwstadt, 1996).

Les prairies lorraines n'échappent pas à cette règle (Plantureux, 1996). L'abondance et la diversité des orthoptères sont les plus faibles dans les prairies intensifiées (Weiss *et al.*, 2013). Une fertilisation importante aboutit généralement à une banalisation de la flore - structurée par quelques graminées à stratégie agressive - et une homogénéisation des faciès de végétation.

Pour **l'ensilage d'herbe** (conservation anaérobie par fermentation), la récolte a lieu très tôt dans la saison de croissance et le nombre de coupes par an augmente par rapport à la fenaison (conservation par séchage sur prés). Peu d'espèces végétales clonales peuvent résister à ce régime et la valeur écologique de ces espèces est faible, comme le souligne Muller (2002). Plusieurs coupes par saison réduisent non seulement le nombre de têtes de graines et de plantes à fleurs (et donc le nombre et le type d'invertébrés attirés par ces pelouses), mais servent également à éliminer la ressource alimentaire végétative pour les insectes qui se nourrissent des plantes. L'encouragement à une repousse rapide de l'herbe immédiatement après la coupe signifie également que la période pendant laquelle ces aliments sont accessibles aux oiseaux est très courte (McCracken & Tallowin, 2005).

D'une manière générale les prairies de fauche sont plus riches en espèces végétales que les prairies pâturées.

Concernant les communautés d'oiseaux, pâture ou fauche perturbent la disponibilité des sites de reproduction en particulier lorsque les dates de fauche d'un secteur sont concentrées sur une période restreinte et précoce (Leroux X. *et al.*, 2008).

Au-delà des impacts immédiats ou à court terme sur la biodiversité de l'occupation des sols et des pratiques agricoles associées, il est démontré que l'effet sur la biodiversité des perturbations passées peut perdurer sur des décennies. Ce constat sur **l'inertie de la biodiversité dans sa réponse aux changements de mode d'occupation du sol et aux pratiques agricoles renforce l'importance de sanctuariser les prairies existantes** afin

d'éviter un impact à long terme, les prairies âgées à proximité des cultures pérennes agissant comme des zones refuges (Le Provost G. *et al.*, 2020).

### La biodiversité se joue aussi à l'échelle du paysage

Parmi quelques résultats importants, la perte d'habitat à grande échelle induit une perte de biodiversité (Staude *et al.*, 2017). L'impact positif des Mesures Agro-Environnementales (MAE) est fortement dépendant de la proportion de milieux semi-naturels dans le paysage (Concepción *et al.*, 2012). La richesse et l'abondance de pollinisateurs sont dépendantes de la présence de forêts (Griffin *et al.*, 2017) notamment pour les papillons prairiaux (Öckinger *et al.*, 2012). En effet, en parallèle de la végétation prairiale, la structure du paysage (forêts, mares, haies, réseau de prairies...) joue un rôle majeur pour certaines formes de vie. La structure paysagère est donc indissociable de la qualité et de la diversité des communautés végétales et des espèces des prairies pour permettre le maintien d'une part des espèces.

Et donc **le rôle bénéfique des prairies sur le maintien de la biodiversité est d'autant plus marqué que les prairies s'inscrivent dans une mosaïque paysagère diversifiée.**

### La biodiversité un rempart face aux conséquences des changements climatiques

La diversité spécifique est généralement bénéfique pour le maintien de la production face aux aléas climatiques (Capitaine *et al.*, 2008, Litrico *et al.*, 2016). De la même manière, la diversité génétique au sein des prairies favorise la stabilité de la production, le maintien des différentes espèces et la différenciation des niches écologiques (Meilhac *et al.*, 2019). Toutefois, l'implantation de prairies diversifiées peut être compliquée lors des premières années à cause de la durée d'implantation plus lente (Coutard *et al.*, 2007, 2012).

## CONCLUSION

Les produits issus de bétail nourri à l'herbe sont reconnus de meilleure qualité nutritionnelle et organoleptique pour la santé humaine que pour ceux nourris aux céréales.

Les prairies permanentes assurent une protection intégrale des nappes contre les herbicides, et ce quel que soit leur mode de gestion (pâturage, fauche), car elles sont très peu traitées. De plus, elles retiennent de manière efficace voire dégradent les apports latéraux, d'où la promotion des bandes enherbées, offrant dans le paysage des zones de rétention et de dilution des matières actives ou de leurs métabolites.

Les prairies permanentes assurent également une très bonne protection contre la pollution par les nitrates si elles sont fertilisées et pâturées de manière extensive ou semi-extensive (pas plus de 2,7 UGB par hectare, pas plus de 200 kg d'azote par ha). C'est du reste le cas dans la plupart des exploitations herbagères du bassin Rhin-Meuse.

L'élevage à base de prairies permanentes est un des modes d'élevage les plus efficaces en termes de limitation des gaz à effet de serre, en ce sens que le stockage dans les sols et la fertilisation limitée compensent en grande partie les émissions par les ruminants. Cela n'est pas le cas pour les grandes cultures, dont les émissions sont très importantes du fait du coût carbone de la fabrication des engrais et de l'émission de protoxyde d'azote lors de leur épandage.

Après les forêts, dans le bassin Rhin-Meuse, les prairies permanentes sont les plus importants réservoirs de biodiversité. En fonction des objectifs de gestion

patrimoniale (variables selon la typologie des espaces à protéger : espaces naturels sensibles...), les modes de gestion optimaux (modalités de pâturage ou de fauche) peuvent varier, à condition de limiter la fertilisation et de ne pas irriguer.

Enfin, pour protéger le sol de l'érosion et éviter le ruissellement, les coulées boueuses et leurs inondations associées, les prairies permanentes constituent un rempart très efficace contrairement aux grandes cultures.

Les prairies temporaires offrent également une bonne protection contre les pollutions par les pesticides et les nitrates dès lors qu'elles ne sont pas gérées de manière annuelle et intensivement, ce qui est encore généralement le cas dans le bassin Rhin-Meuse. Elles limitent les coulées de boues et le ruissellement dès lors qu'elles couvrent suffisamment le sol lors des épisodes pluvieux et que leur développement végétal (racines et feuilles) est suffisant. Elles sont néanmoins de moindre intérêt pour la biodiversité et le stockage du carbone. Elles sont donc à étendre, même si elles sont moins efficaces que les prairies permanentes.

Ainsi les prairies permanentes représentent un usage des sols remarquable pour les quatre enjeux majeurs que constituent la protection des ressources en eau, la prévention des inondations, la biodiversité et les émissions de gaz à effet de serre, et ce presque au même titre que les forêts.

Pour les éleveurs, la reconnaissance financière de ces bénéfiques pour la santé humaine et l'environnement permettrait une meilleure rentabilité économique.

## BIBLIOGRAPHIE

### I Qualité des produits animaux

**Béranger C., Bonnemaire J.** (2008). Prairies, herbivores, territoires : quels enjeux? Editions Quae.

**Bourre J. M.** (2003). Alimentation animale et valeur nutritionnelle induite sur les produits dérivés consommés par l'homme : Les lipides sont-ils principalement concernés ? *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 10(5-6), 405-424

**Coulon J. B., Priolo A.** (2002). La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *Productions Animales* 5 (15), 333-342.(2002).

**Couturier C., Charru M., Doublet S., Pointereau P.** (2016). Le scénario Afterres 2050. Décembre 2016. Association Solago.

**Chilliard Y., Bauchart D., Lessire M., Schmidely P., Mourot J.** (2008). Qualité des produits : modulation par l'alimentation des animaux de la composition en acides gras du lait et de la viande. *INRA Prod Anim*, 21, 95-106

**Duru M., Magrini M.B.** (2017). Alimentation animale et santé humaine : quels défis pour l'agronomie ? *Agronomie, environnement et sociétés*. Vol n°7 105-114, 06/2017

**Enjalbert F., Meynadier A.** (2016). Alimentation des vaches laitières et composition en acides gras du lait. 2016. *Bull. Acad. Vét France*, Tome 169-n°3

**Laise S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., et al.** (2019). L'efficacité nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : une nouvelle approche pour évaluer la contribution de l'élevage à l'alimentation humaine. *INRA Productions Animales*, 2019, 31 (3), pp.269-288.

**Flamion N.** (2012). Intégrer des critères de qualité de viande dans les objectifs de sélection en bovin allaitants, qu'en pensent les acteurs de la filière ? *Collection l'essentiel*

**Lebret B., Prache S., Berri C., Lefèvre F., Bauchart D., Picard B., Alami-Durante H.** (2015). Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. *INRA Productions animales*, 28(2), 151-168.

**Legrand P.** (2006). Intérêt nutritionnel des lipides des produits laitiers. *Informations Diététique* 3/2006, 4-8.

**Mano J. Y., Axelos M. A., Peyraud J. L., Dupraz P., Veissier I., Allès, B., Roturier C.** (2018). Compte-rendu de la journée d'information et d'échange co-organisée par l'INRA et l'association de consommateurs CLCV sur le thème « Consommer de la viande : des enjeux et des impacts multiples ». *Viandes & Produits Carnés*, 1.

**Monin G.** (1991) Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Productions animales*, 4 (2), 151-160.

**Plantureux S.** (1996). Biodiversité, type de sol et intensité de l'exploitation de prairies permanentes du Plateau lorrain. *Acta bot. Gallica*, 1996, 143 (415 : 339-348).

**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, Study N°09/18. Iddri-AScA, Paris, France (78 p).

**Renard G.** (2002). L'amélioration génétique de la qualité de la viande dans les différentes espèces : situation actuelle et perspectives à court et moyen termes. *Viandes et produits carnés*, 22, G-CO.

### I Intérêt environnemental

**AESN** (2011) - Le préventif coûte-t-il plus cher que le curatif ? Argumentaire économique en faveur de la protection des captages - Phase 3 - Ecodécision

### I Perte en nitrates

**Benoît M. and Simon J.-C.** (2004) – Grassland and water resources : recent findings and challenges in Europe . *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, p.117-128.

**Deneufbourg M., Vandenberghe C., Heens B., Marcoen J.-M.** (2013). Suivi de la lixiviation du nitrate en plein champ par la technique lysimétrique : retour de huit années d'expérience. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17(S1), 177-186.

**Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., et al.** (2005). Global Consequences of Land Use. *Science* 22 Jul 2005: Vol. 309, Issue 5734, 570-574.



**Graux A.I., Delaby L., Peyraud J.L., Casellas E., Faverdin F., et al.** (2017). Les prairies françaises : production, exportation d'azote et risques de lessivage. [Rapport de recherche] Ministère de l'Alimentation, l'Agriculture et de la Forêt. p.74. hal-01814120

**Laurent F., Vertès F., Farrugia A., Kerveillant P.** (2000). Effet de la conduite de la prairie pâturée sur la lixiviation du nitrate. Propositions pour une maîtrise du risque à la parcelles, *Fourrages*, 164, 397-419.

**Simon J.C., Vertès F., Decau M.L., Le Corre L.** (1997). "Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage d'azote sous prairies, *Fourrages*, 151, 249-262.

**Vandenbergh C., Toffoli M., Florent Bachelart F., Imbrecht O., Lambert R., Marcoen J-M.** (2013). Contrôle de l'azote potentiellement lessivable dans le sol en début de période de lixiviation. Établissement des valeurs de référence. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17(S1), p.231-236.

**Vertès F., Simon J.-C., Laurent F., Besnard A.** (2007). Prairie et qualité de l'eau. Evaluation des risques de lixiviation d'azote et optimisation des pratiques. *Fourrages*, 192, 423-440.

**Walther W.** (1989). The nitrate leaching out of soils and their significance for groundwater", Nitrogen in Organic Wastes applied to Soils, Hansen J.A. et Henriksen eds., Academic Press, London, 346-356.

## | Stockage du carbone

**Dumont B.** (coord), **Dupraz P.** (coord.), **Aubin J., Benoit M., Bouamra-Mechemache Z., Chatellier V., Delaby L., Delfosse C., Dourmad J.Y., Duru M., Frappier L., Friant-Perrot M., Gaigné C., Girard A., Guichet J.L., Havlik P., Hostiou N., Huguenin-Elie O., Klumpp K., Langlais A., Lemauviel-Lavenant S., Le Perchec S., Lepiller O., Méda B., Ryschawy J., Sabatier R., Veissier I., Verrier E., Vollet D., Savini I., Hercule J., Donnars C.** (2016), Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe. Synthèse de l'expertise scientifique collective, INRA (France).

Pellerin Sylvain et Bamière Laure (pilotes scientifiques), Launay Camille, Martin Raphaël,

**Schiavo Michele, Angers Denis, Augusto Laurent, Balesdent Jérôme, Basile-Doelsch Isabelle, Bellassen Valentin, Cardinael Rémi, Cécillon Lauric, Ceschia Eric, Chenu Claire, Constantin Julie, Darroussin Joël, Delacote Philippe, Delame Nathalie, Gastal François, Gilbert Daniel, Graux Anne-Isabelle, Guenet Bertrand, Houot Sabine, Klumpp Katja, Letort Elodie, Litrico Isabelle, Martin Manuel, Menasseri Safya Mézière, Delphine, Morvan Thierry, Mosnier Claire, Roger-Estrade Jean, Saint-André Laurent, Sierra Jorge, Théron Olivier, Viaud Valérie, Grateau Régis, Le Perchec Sophie, Savini Isabelle, Réchauchère Olivier** (coordinateur), 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 114 p.

## | Rétention polluants et atténuation ruissellements

**Gascuel-Odoux C., Merot P., Dorioz J.M., Massa F., Grimaldi C., Poulenard J.** - (2007) Rôle des prairies dans les pollutions diffuses. Effet de la localisation et des bordures (haies, dispositifs enherbés, berges) *Fourrages*, 192, 409-422

Projet GERIHCO (GEstion des Risques et Histoire des COuléés boueuses)

<http://gerihco.engees.unistra.fr/>

## | Biodiversité

**Borer E.T., Grace J.B., Harpole W.S., MacDougall A.S., Seabloom E.W.** (2017). A decade of insights into grassland ecosystem responses to global environmental change. *Nature Ecology & Evolution* 1, 0118.

**Capitaine M., Pelletier P., Hubert F.** (2008). Les prairies multi spécifiques en France : histoire, réalités et valeurs attendues. *Fourrages*, 194, 123-136.

**Catalogne C., Le Hénaff G.** (avec les contributions de **Guyot G., Réal B., Ouvry J.F., Grimaldi C., Billy C., Tournebize J., Carluet N., Payraudeau S., Schott F.X.**), 2016. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de



contaminants d'origine agricole, Document élaboré dans le cadre du Groupe Technique « Intégration des zones tampons dans la gestion des bassins versants pour la prévention des pollutions diffuses agricoles », 69 p. <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/guide-d-aide-a-l-implantation-des-zones-tampons-pour-l-attenuation-des-transferts-de-contaminants-d-1>

**Concepción E.D., Díaz M., Kleijn D., Báldi A., Batáry P., Clough Y., Gabriel D., Herzog F., Holzschuh A., Knop E., Marshall E.J.P., Tschardt T., Verhulst J.** (2012). Interactive effects of landscape context constrain the effectiveness of local agrienvironmental management: Landscape constrains the effectiveness of local management. *Journal of Applied Ecology* 49, 695–705.

**Coutard J.P.** (2007). Privilégier les prairies à flore variée, *Actes des journées AFPP*, 198-199.

**Coutard J.P., Pierre P.**, 2012. Les prairies à flore variée pour l'autonomie des élevages de ruminants, *Renc. Rech. Ruminants*, 12, 257-260.

**Garrido P., Mårell A., Öckinger E., Skarin A., Jansson A., Thulin C.-G.** (2019). Experimental rewilding enhances grassland functional composition and pollinator habitat use. *Journal of Applied Ecology*.

**Griffin S.R., Bruninga-Socular B., Kerr M.A., Gibbs J., Winfree R.** (2017). Wild bee community change over a 26-year chronosequence of restored tallgrass prairie: Bee communities of restored tallgrass prairie. *Restoration Ecology* 25, 650–660.

**Hervieu B.** (2002) Multi-functionality : a conceptual framework for a new organisation of research and development on grassland and livestock systems, Proc. 19th EGF, *Grassland Sci. in Europe*, 7, 1-2.

**Jennersten O.** (1988). Pollination in *Dianthus deltoides* (Caryophyllaceae): effects of habitat fragmentation on visitation and seed set. *Conservation Biology*, 2, 359–366.

**Lange M., Eisenhauer N., Sierra C. et al.** (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nat Commun* 6, 6707.

**Le Provost Gaëtane, Badenhauer Isabelle, Le Bagousse-Pinguet Yoann, Clough Yann, Henckel Laura, Violle Cyrille, Bretagnolle Vincent, Roncoroni Marilyn, Manning Peter and Gross Nicolas** (2020) Land-use history impacts functional diversity across multiple trophic groups, January 21, *PNAS vol 117 n°3 1573-1579*

**Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., RogerEstrade J., Sarthou J.P., Trommetter M.** (éditeurs). (2008) Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France)

**McCracken D.I. & Tallowin J.R.** (2005) Swards and structure: the interactions between farming practices bird food resources in lowland grasslands. *Ibis* (146) :108-114

**Meilhac J., Durand J.L., Beguier V., Litrico I.** (2019) Increasing the benefits of species diversity in multispecies temporary grasslands by increasing within-species diversity. *Ann Bot.* 123(5), 891-900.

**Muller S.** (2002) Appropriate agricultural management practices required to ensure conservation and biodiversity of environmentally sensitive grassland sites designated under Natura 2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89, 261–266.

**Öckinger E., Bergman KO., Franzén M. et al.** (2012) The landscape matrix modifies the effect of habitat fragmentation in grassland butterflies. *Landscape Ecol* 27, 121–131.

**Plantureux S.** (1996) Biodiversité, type de sol et intensité de l'exploitation de prairies permanentes du Plateau lorrain, *Acta Botanica Gallica*, 143v :4-5, 339-348.

**Stade I.R., Vélez-Martin E., Andrade B.O., Podgaiski L.R., Boldrini I.I., Mendonça M., Pillar V.D., Overbeck G.E.** (2017) Local biodiversity erosion in South Brazilian grasslands under moderate levels of landscape habitat loss. *Journal of Applied Ecology*, 55 (3), 1241-1251

**Steffan-Dewenter I., Münzenberg U. & Tschardt T.** (2001) Pollination, seed set and seed predation on a landscape scale. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 268, 1685–1690.

**Weiss N., Zucchi H. & Hochkirch A.** (2013) The effects of grassland management and aspect on Orthoptera diversity and abundance: site conditions are as important as management. *Biodivers Conserv* 22, 2167–2178.

**Willems J.H., Nieuwstadt M.G.L.** (1996) Long-term after effects of fertilization on aboveground phytomass and species diversity in calcareous grassland. *Journal of Vegetation Science* 7, 177–184.

Agence de l'eau Rhin-Meuse  
Rozérieulles - BP 30019  
57161 Moulins-lès-Metz cedex

Tél. 03 87 34 47 00  
agence@eau-rhin-meuse.fr

Suivez l'actualité  
de l'agence de l'eau Rhin-Meuse :

**[www.eau-rhin-meuse.fr](http://www.eau-rhin-meuse.fr)** 