

# Evaluer l'effet des seuils de chargement sur les performances productives et écologiques de troupeaux valorisant des prairies à forts enjeux de biodiversité

SABATIER R. (1), DOYEN L. (2), TICHIT M. (1)

(1) INRA UMR 1048 SAD APT - AgroParisTech - 16 rue Claude Bernard - F- 75231 Paris

(2) CERESP - Département écologie et gestion de la biodiversité - MNHN - 55 rue Buffon - F- 75005 Paris

rodolphe.sabatier@agroparistech.fr

**RESUME** - Le pâturage des prairies permet de générer des couverts favorables aux oiseaux nichant au sol. Cependant, il peut également avoir des effets négatifs sur la fécondité de ces oiseaux lorsque les troupeaux détruisent des nids par le piétinement. Pour limiter ces effets négatifs, les politiques agro-environnementales imposent des plafonds de chargement à ne pas franchir au cours du printemps. De telles réductions de chargement sont susceptibles de contraindre les performances productives des élevages fortement dépendants d'une alimentation au pâturage. A ce jour, leurs effets sur les performances écologiques restent mal connus. Partant d'un modèle liant les dynamiques de populations de deux oiseaux limicoles aux pratiques de pâturage (intensité et période), nous avons développé une approche coût-efficacité visant à évaluer les effets des politiques agri-environnementales du point de vue productif et écologique pour une large gamme de seuils de chargement au printemps. En l'absence de limitation du chargement, le modèle prédit la quasi-extinction des deux espèces de limicoles à quinze ans et des performances productives optimales. Des plafonds modérés de chargement réduisent la performance productive mais évitent l'extinction des deux limicoles. Optimums économique et écologique semblent difficilement compatibles, Ces résultats offrent une base de réflexion sur les compromis nécessaires pour concilier à long terme production et conservation de la biodiversité dans les prairies.

## Assessing the effect of stocking density thresholds on productive and ecological performances of livestock systems based on grasslands with high biodiversity stakes

SABATIER R. (1), DOYEN L., TICHIT M.

(1) INRA UMR 1048 SAD APT - AgroParisTech - 16 rue Claude Bernard - F- 75231 Paris

rodolphe.sabatier@agroparistech.fr

**ABSTRACT** - In European grasslands, grazing is compulsory to generate suitable habitats for ground nesting birds. However, it can also have negative side-effects on bird fecundity when cattle destroy nests through trampling. To limit these negative effects, agro-environmental policies impose upper threshold on spring stocking density that should not be exceeded. Such limits on stocking density may reduce the productive performances of the livestock farming systems that are strongly dependent on grazed grasslands. To date, their effects on the ecological performances remain, however, poorly understood. We developed a cost effectiveness approach that relies on a model linking the population dynamics of two wading bird species to grazing management (intensity and timing) to quantify the productive and ecological effects of agri-environmental policies for a wide range of spring stocking density thresholds. Our results show that without trampling threshold, the model predicts quasi-extinction at 15 years for both wader species, and optimal productive performance. Moderate trampling thresholds, reduce the productive performance and avoid the extinction of both waders. Economic and ecological optimisations seem to be sorely compatible. These results offer a basis to reflect on how to reconcile, in the long term, production conservation of biodiversity in grazed grasslands.

## INTRODUCTION

L'intensité d'usage des prairies est couplée à une baisse de biodiversité. Dans le cas des oiseaux prairiaux, le pâturage permet de générer des couverts favorables aux oiseaux nichant au sol (Tichit *et al.*, 2007). Cependant, une trop forte pression de pâturage peut avoir des effets négatifs sur la fécondité des oiseaux lorsque les bovins détruisent des nids par le piétinement (Watson *et al.*, 2006). L'efficacité des mesures agro-environnementales visant à limiter l'intensité d'usage des prairies est actuellement au cœur de nombreux débats (Verhulst *et al.*, 2007). En effet, ces politiques sont globalement basées sur des objectifs définis en termes d'obligation de moyens et non par rapport à des obligations de résultats qui traduiraient leur effet sur la biodiversité. A ce jour, on ignore si le manque à gagner lié à la diminution de l'intensité d'usage des prairies est associé à long terme à une augmentation de performance écologique.

A partir d'une approche modélisatrice, l'objectif de cet article est de présenter des éléments de quantification des effets de différents seuils de chargement de printemps sur les performances écologiques et productives. Partant d'un

ensemble de contraintes dynamiques, le modèle prédit, pour l'ensemble des stratégies de pâturage respectant ces contraintes, l'évolution des tailles de population à quinze ans de deux espèces d'oiseaux limicoles ainsi que le nombre de journées de pâturage permises par ces stratégies de pâturages dites viables.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. DESCRIPTION DU MODELE

Le modèle utilisé pour étudier l'effet de la limitation du pâturage de printemps sur les performances écologiques et productives des prairies pâturées est une extension du modèle de coviabilité développé par Tichit *et al.* (2007). Il se base sur l'exemple de deux oiseaux de prairie : le chevalier gambette et le vanneau huppé.

Ce modèle vise à prédire les stratégies de pâturage vérifiant dans le long terme des contraintes productives et écologiques. Il est paramétré pour des prairies de zone humide de la façade atlantique du type de celles du marais Poitevin. Il est composé de deux modules. Le premier modélise la dynamique du couvert végétal dans une prairie

impactée par un lot de bovins. Le second formalise la dynamique de deux populations d'oiseaux. Le premier module s'appuie sur la théorie de la viabilité (Aubin, 1991) le second mobilise les analyses de viabilité de population (Shaffer, 1981). C'est un modèle en temps discret dont le pas de temps est égal à un mois.

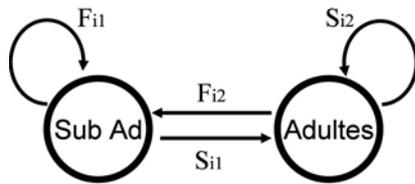
### 1.1.1. Module de dynamique végétale

Le module de dynamique végétale définit la croissance d'un couvert végétal. La matrice de croissance utilisée est basée sur le modèle de Hutching et Gordon (2001). L'impact sur la dynamique naturelle est formalisé *via* une fonction de prélèvement de biomasse proportionnelle au chargement.

### 1.1.2. Module de dynamique de population

Ce module (figure 1) définit la croissance des populations d'oiseaux. Ces populations sont structurées en deux classes d'âge afin de traduire la variation des paramètres démographiques au cours de la vie des oiseaux. Les événements pris en compte sont la survie d'une année sur l'autre  $S_{ij}$  et le succès reproducteur  $F_{ij}$  qui comprend la fécondité et la survie des juvéniles. ( $i$  représente l'espèce et  $j$  la classe d'âge.)

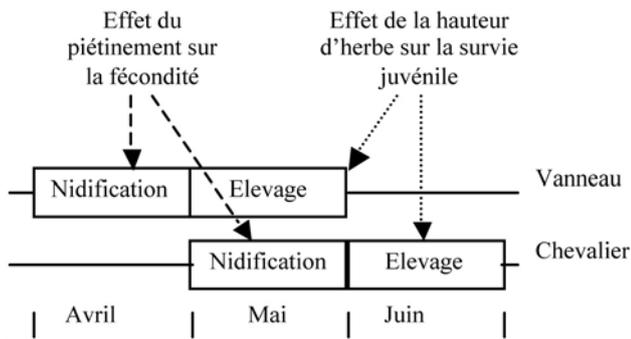
Figure 1 : cycle de vie utilisé pour représenter la dynamique des deux oiseaux



### 1.1.3. Liens entre le pâturage et les paramètres démographiques des oiseaux

Les deux modules sont reliés par les biais de deux paramètres démographiques. Les fécondités des deux classes d'âge ( $f_1$  et  $f_2$ ) dépendent du chargement lors de la phase d'incubation. Lors de la phase d'élevage des oisillons, leur survie  $s_0$  des dépend de la hauteur d'herbe (figure 2)

Figure 2 : effets du pâturage sur les paramètres démographiques des deux oiseaux étudiés



Le taux journalier de destruction des nids ( $\theta$ ) pour une UGB et pour un ha est de 0,010 pour le vanneau et de 0,027 pour le chevalier (Beintema, 1987). Il a également été montré expérimentalement que les événements (nid non détruit à un jour donné par un animal donné) pouvaient être considérés comme indépendants (Beintema, 1987, Paine *et al.*, 1996). Ceci implique que les probabilités de non-destruction des nids sont multiplicatives. On estime ainsi le taux de destruction des nids pour un chargement  $u$  et pour toute la durée d'incubation  $t^*$  à  $(1-\theta)^{u \cdot t^*}$ . La fécondité réelle incluant l'effet du piétinement est donc de la forme :

$$f(u) = (1-\theta)^{u \cdot t^*} f_{\max}$$

La hauteur d'herbe à un impact majeur sur la survie des juvéniles. En effet, les juvéniles cherchent leur nourriture par eux-même et la qualité d'habitat influe fortement sur leur capacité à se nourrir (Devereux *et al.*, 2004). La survie des juvéniles est considérée comme maximale dans une plage de hauteurs d'herbe correspondant à l'habitat de bonne qualité. En dehors de cette plage elle est arbitrairement réduite à un quart de la survie maximale.

### 1.1.4. Contraintes

Le modèle prend en compte trois types de contraintes qui définissent les conditions de coviabilité.

1) La contrainte d'alimentation :

Cette contrainte induit une limite implicite sur le chargement mensuel  $u$  de sorte que le prélèvement de biomasse proportionnel à la taille du lot d'animaux est toujours inférieur à la biomasse disponible. Cette contrainte revient à considérer que les besoins du lot d'animaux sont toujours satisfaits.

2) Les contraintes de qualité d'habitat :

Ces contraintes imposent une hauteur d'herbe qui satisfasse les exigences des deux limicoles lors des mois d'élevage des oisillons. La hauteur d'herbe  $h(t)$  du couvert doit être comprise entre une valeur minimale  $h^b$  et une valeur maximale  $h^{\#}$ . Dans la suite de cette étude les contraintes de hauteur sont toujours paramétrées en mai et juin de manière à ce que l'habitat permette une survie juvénile maximale pour les deux espèces (tableau 1).

Tableau 1 : contraintes de hauteurs d'herbes (cm) définissant les habitats permettant les survies maximales pour chacun des deux oiseaux

	Vanneau (mai)	Chevalier (juin)
$h^b$	0	10
$h^{\#}$	14	20

3) Les contraintes limitant le piétinement des nids :

Le dernier type de contrainte concerne les seuils de chargement. Le chargement doit rester inférieur à certains seuils à différentes périodes de l'année  $u^{\#}(t)$ . Pour prendre en compte les effets des seuils chargement au cours des mois de nidification sur les performances écologiques et productives, on inclut dans le modèle des contraintes sur le chargement maximal en avril et mai correspondant aux mois de nidification de chaque espèce (figure 2).

## 1.2. SIMULATIONS

Le modèle utilisé se base sur la théorie de la viabilité (Aubin, 1991). Les contraintes délimitent à chaque instant l'ensemble des états viable du système caractérisant le domaine de viabilité. Un algorithme de programmation dynamique permet d'extraire, de l'ensemble des stratégies de pâturage possibles (combinaisons intensité et période) celles qui respectent les contraintes au cours du temps (hauteur d'herbe et piétinement d'avril à juin, alimentation). Parmi ces stratégies, dites viables, l'algorithme sélectionne la stratégie associée à la meilleure performance productive, à savoir la séquence de chargement permettant de maximiser sur l'année le nombre de journées pâturées. Les séquences de chargement au cours du temps prédites par le modèle sont donc des sorties et non pas des entrées du modèle. L'implémentation du modèle s'est faite à l'aide du logiciel Scilab 4.1.2 (Scilab Consortium 2007) sauf pour le module de dynamique de population des limicoles qui a été réalisé à l'aide du logiciel ULM (*Unified Life Model 4.0*, ENS Paris 2002).

Les simulations sont réalisées en fixant les contraintes alimentaires, ainsi que les contraintes de hauteur d'herbe. En revanche, pour les contraintes de chargement en avril et mai, la valeur des seuils de chargement  $u^{\#}$  est modifiée à chaque simulation. On étudie dans un premier temps l'effet du piétinement sur les performances écologiques du système, puis on analyse les effets de la réduction du chargement sur les performances productives du pâturage.

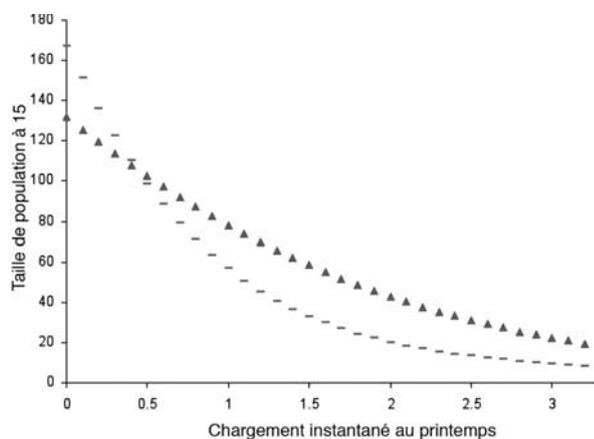
La performance productive est définie comme le nombre maximal de journée de pâturage pour une UGB permis par les stratégies respectant les différents types de contraintes. La taille des deux populations de limicoles à quinze ans, partant de deux populations de cent individus, donne la performance écologique des stratégies.

## 2. RESULTATS

### 2.1. EFFET DU CHARGEMENT DE PRINTEMPS SUR LES TAILLES DE POPULATION

Le chargement de printemps a une influence sur la fécondité des deux limicoles étudiés et donc sur leurs tailles de population à 15 ans (figure 3). Les populations décroissent quand le chargement augmente. En l'absence de pâturage (UGB = 0 en mai et juin respectivement), on constate pour les deux limicoles une augmentation des tailles de populations à quinze ans. L'effet du chargement sur les populations varie selon l'espèce considérée. Le chevalier semble plus sensible au piétinement que le vanneau.

**Figure 3 :** taille de population à quinze ans (triangles : vanneau ; tirets : chevalier) en fonction du chargement instantané en mai et juin respectivement pour le vanneau et le chevalier.

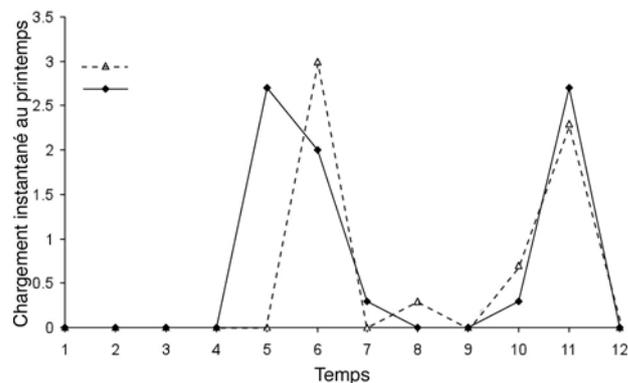


Des modèles empiriques établis sur le site d'étude ont montré que le vanneau préfère des couverts ras correspondant à une plus forte pression de pâturage (Durant *et al.*, 2008) et donc des prairies plus fortement pâturées. Une des explications à ce phénomène est le comportement de défense très prononcé du vanneau huppé (Kis *et al.*, 2000) qui pourrait donc être plus efficace pour éloigner les bovins de son nid. Les conséquences de forts chargements sur les tailles de population à quinze ans des deux limicoles sont assez proches, les populations déclinant fortement. Toutefois, même avec des chargements élevés on n'observe pas d'extinction des limicoles à quinze ans car la forte survie adulte permet le maintien d'une population relictuelle. Le maintien des deux populations à leur taille initiale nécessiterait un seuil de chargement de printemps de 0,5 UGB / ha.

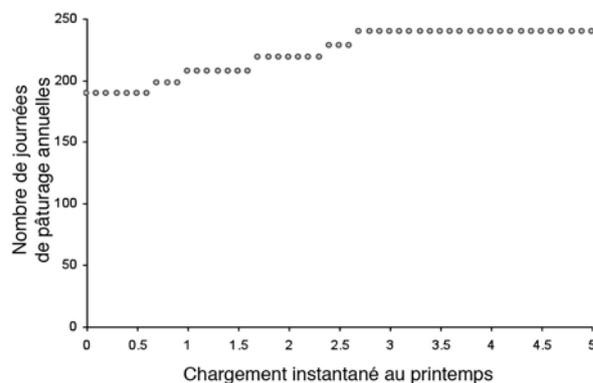
### 2.2. EFFET DU CHARGEMENT DE PRINTEMPS SUR LES PERFORMANCES PRODUCTIVES

La figure 4 illustre deux séquences extrêmes de pâturage : avec un seuil sur la contrainte de chargement excluant le pâturage de printemps et sans contrainte sur le chargement de printemps. En l'absence de contrainte sur le pâturage de printemps, les seules contraintes écologiques sont les contraintes de hauteur d'herbe. Il existe au moins une séquence de pâturage permettant de les satisfaire. Celle-ci implique un pâturage important en mai et juin et un second pic de pâturage en automne. En introduisant une contrainte de chargement dans le modèle, il existe encore au moins une séquence de pâturage viable. Cependant, l'introduction du seuil de chargement ( $u^{\#} = 0$ ) modifie la séquence et le modèle prédit un pâturage différé et sensiblement plus important en juin. Les mois d'avril et mai sont ceux où la croissance de l'herbe est la plus forte et donc où le pâturage est le plus efficace. Sans pâturage durant ces deux mois, un stock d'herbe est réalisé pour une utilisation en juin mais la biomasse produite par les prairies n'est pas conservée dans son intégralité. Une limitation du pâturage durant ces mois clefs, bien que partiellement compensée par un pâturage de début d'été, implique une moins bonne utilisation des prairies.

**Figure 4 :** séquences de pâturage avec contrainte de chargement interdisant le pâturage de printemps (triangles vides et trait discontinu ;  $u^{\#} = 0$ ) et sans contrainte sur le chargement de printemps (losanges et trait pleins ;  $u^{\#} = + \infty$ )



**Figure 5 :** performance productive, exprimée en nombre de journées de pâturage, en fonction du chargement de printemps maximal permis.



La figure 5 illustre l'effet des différents seuils de chargement de printemps sur la performance productive des prairies. La limitation du chargement au cours des mois d'avril et mai a un impact important sur les performances productives des stratégies de pâturage.

La meilleure performance productive possible est de 240 jours de pâturage par hectare et par an, correspondant à des chargements instantanés supérieurs ou égaux à 2,6 UGB / ha. Au-dessous de cette valeur, la performance décroît jusqu'à 189 jours de pâturage pour 0 UGB / ha, soit une réduction de 21 % de l'utilisation des prairies.

A titre de comparaison, la moyenne des chargements instantanés sur les parcelles de la zone d'étude est de 0,8 UGB / ha en avril et 1,5 UGB / ha en mai (valeurs sont obtenues sur un échantillon de 252 parcelles pâturées en avril et / ou en mai).

### **2.3. CONSEQUENCES ECOLOGIQUES ET PRODUCTIVES DE LA MISE EN PLACE DE SEUILS DE CHARGEMENT DE PRINTEMPS**

Les stratégies de pâturage limitant le manque à gagner à 10 % impliquent des chargements de printemps maximaux de 1,7 UGB / ha. Une telle limitation du chargement de printemps permet le maintien des deux espèces. Toutefois, en termes de performance écologique, si les vanneaux affichent un effectif de cinquante-cinq individus, il ne reste plus que vingt chevaliers, soit une perte de 80 % de l'effectif.

La stratégie de pâturage menant à une baisse de 15 % du nombre de journée de pâturage permet de maintenir les deux populations au-dessus de cinquante individus à quinze ans. Cette stratégie autorise deux cents jours de pâturage et implique des seuils de chargement à 1,1 UGB / ha.

### **3. DISCUSSION**

L'utilisation de la théorie de la viabilité permet d'étudier les stratégies avec un regard dynamique et de prendre en compte des effets différés dans le temps. A chaque pas de temps, la contrainte alimentaire dépend de la biomasse (et donc du chargement) au pas de temps précédent. De même, un chargement plus faible un mois donné et donc une biomasse plus élevée le mois suivant modifient la contrainte alimentaire et permet un pâturage plus important le mois suivant. Un tel type de contrainte dynamique permet ainsi de mettre en évidence des stratégies de compensation temporelle et d'établissement de stocks.

Comme pour de nombreuses analyses de viabilité de populations, une limite de notre modèle reste son manque de validation. Toutefois, si la valeur numérique des tailles de population à quinze ans peut être largement discutée, l'effet du piétinement sur la fécondité semble convenablement estimé. En effet, les valeurs de réduction de fécondité sont très proches de celles données par Green (1986) à l'aide d'abaques construites à partir d'observations empiriques. Pour un chargement de 2 UGB / ha, il estime le pourcentage de nids détruits à 39 % pour le vanneau et 70 % pour le chevalier là où notre modèle donne des baisses de fécondité de 40 % chez le vanneau et 71 % pour le chevalier.

Notre modèle permet de comparer et de hiérarchiser des stratégies de pâturage et d'appréhender les ordres de grandeur des coûts des politiques de conservation afin d'estimer leur faisabilité.

Les mesures agro-environnementales mises en place en France sont majoritairement basées sur des objectifs de moyens (date de fauche, chargements, ...) et non sur des objectifs de résultats (nombre de couples nicheurs,...) Ceci semble être une des raisons de la faible efficacité des mesures agri-environnementales sur le plan de la conservation de la biodiversité (Expertise collective INRA, 2008). L'utilisation d'un tel modèle pourrait permettre d'évaluer les résultats correspondant aux moyens mis en œuvre dans le cadre de ces politiques et de faire ainsi le lien entre ces moyens et les résultats qu'ils peuvent produire. Cependant l'utilisation d'un tel modèle n'est envisageable que dans le cas d'espèces dont la biologie est bien documentée, y compris dans ses relations directes (par exemple le piétinement) ou indirectes (la hauteur du couvert prairial) aux pratiques agricoles.

### **CONCLUSION**

Le modèle présenté ici n'a pas vocation à quantifier précisément les compensations à mettre en place mais cherche à vérifier si des politiques environnementales basées sur des obligations de moyens peuvent mener à des résultats effectifs moyennant des coûts réalistes. Cette étude montre que la limitation du pâturage de printemps peut permettre d'éviter une trop forte baisse des populations d'oiseaux prairiaux moyennant des pertes de production relativement faibles. Des mesures agro-environnementales réalisables sur le plan technique semblent donc également efficaces sur le plan écologique.

**Aubin J.P. (1991).** *Birkäuser*

**Beintema A.J., Muskens G.J.D.M., (1987).** *Journal of Applied Ecology*, 24, 743-758

**C.L. Devereux, C.U. McKeever, T.G. Benton and M.J. Whittingham (2004).** *Ibis*, 146, 115-122

**Durant D., Tichit M., Kerneis E. and Fritz H., (2008).** *Biodiversity and Conservation*, 17, 2275-2295

**Green R.E., (1986).** *The management of lowland wet grassland for birds*

**Hutchings N.J. and Gordon I.J., (2001).** *Ecological Modelling*, 136, 209-222

**Kis J., Liker A. and Szekely T., (2000).** *Ardea*, 88, 155-163

**Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., Roger J. and Estrade J.P.S., Trommetter M., (2008).** Expertise collective Agriculture Biodiversité. INRA

**Paine L., Undersander D.J., Sample D.W., Bartelt G.A. and Schatteman T.A., (1996).** *Journal of Range Management*, 49, 294-300

**Shaffer M.L., (1981).** *BioScience*, 31, 131-134

**Tichit M., Doyen L., Lemel J.Y., Renault O. and Durant D., (2007).** *Ecological Modelling*, 206, 277-293

**Verhulst J., Kleijn D. and Berendse F., (2007).** *Journal of Applied Ecology*, 44, 70-80

**Vickery J.A., Tallwin J.R., Feber R.E., Asteraki E.J., Atkinson P.W., Fuller R.J. and Brown V.K. (2001).** *Journal of Applied Ecology*, 38, 647-664

**Watson M., Wilson J.M., Koshkin M., Sherbakov B., Karpov F., Gavrilov A., Schielzeth H., Brombacher M., Collar N.J. and Cresswell W., (2006).** *Ibis*, 148, 489-502