

Modélisation d'appui au contrôle des invasions biologiques Une application à la gestion de la Jussie en Pays de Loire

➤ Pierre Courtois et Alban Thomas, INRAE



Avec la contribution de César Martinez, CEE-M, Montpellier SupAgro

Convention AFB-INRA 2016-2018 - Action 26 – programmation 221



Modélisation d'appui au contrôle des invasions biologiques. Une application à la gestion de la Jussie en Pays de Loire



A. *Ludwigia peploides*

B. Canaux envahis

C. Prairies humides envahies

Jussie (*Ludwigia peploides*, *Ludwigia grandiflora*) : signalée pour la première fois en 1995 à l'ouest du marais

Objectif du projet Onema puis AFB (2014-2019) :

Concevoir un outil d'aide à la décision pour le contrôle de l'invasion de Jussie.

- ü avec les gestionnaires du parc naturel régional de Brière
- ü Sur la base d'une optimisation à budget limité et d'une analyse spatio-temporelle



A Marais Briéron

B Etude de cas, 5 zones

C Activités

Trois ingrédients fondamentaux pour prioriser les zones à contrôler :

- q Une fonction de bénéfice social du contrôle
- q Une fonction de coût de contrôle (par zone)
- q Une fonction « écologique » de dispersion de la Jussie (intra- et inter zones)

Algorithme de priorisation spatiale : allocation du budget

1. Diviser le budget G en s parts
2. Évaluer pour chaque zone i le rapport
« bénéfice marginal / coût marginal » :
$$\phi_i^h = \frac{b_i^h}{c_i} \quad i = 1, \dots, n, \quad h = 1, \dots, s$$
3. Allouer la part de budget h au contrôle de la zone avec le ϕ_i^h le plus élevé.
4. Evaluer l'effet du contrôle sur la zone
5. Mettre à jour le niveau de diffusion \hat{Y}^h toutes zones
6. Retourner à l'étape 2, calculer les ratios ϕ_i^{h+1} et allouer la part du budget suivante, jusqu'à ce que toutes les parts soient allouées et le budget total dépensé.

Evaluation des bénéfices sociaux du contrôle (par zone) :

- q Méthode du *choice experiment*
 - ü Enquête contingente de terrain
 - ü Calcul des consentements à payer (CAP)

- q Variations des bénéfices entre zones
 - ü liées à l'intensité des activités
 - ü (récréatives, chasse, agriculture, etc.)

Carte de choix

Options	A	B	Statu Quo
Situation du parc dans 5 ans			
Coût annuel	Taxe +5€	Taxe +15€	Taxe +0€
Choix	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



CAP (€)	Rouge à Jaune	Jaune à Vert	Rouge à Vert
Zone 1		11.00	
Zone 2	16.56	17.21	33.77
Zone 3	28.13	15.84	43.96
Zone 4		10.72	
Zone 5		5.35	

Bénéfices marginaux par région (€/ m²) pour une population de F = 584,588 foyers fiscaux

Région 1

1A 2.6124
1B 2.7773
1C 2.8377
1D 2.3644

Région 2

2A 4.0133
2B 4.1017
2C 3.9217
2D 3.6887
2E 3.7148

Région 3

3A 3.8034
3B 3.5615
3C 3.7304
3D 3.6454
3E 3.7332

Région 4

4A 2.4374
4B 2.3807
4C 2.5795
4D 2.4467
4E 2.3985

Région 5

5A 1.1883
5B 1.1597

Fonctions de bénéfice

par région :

linéaire ou concave

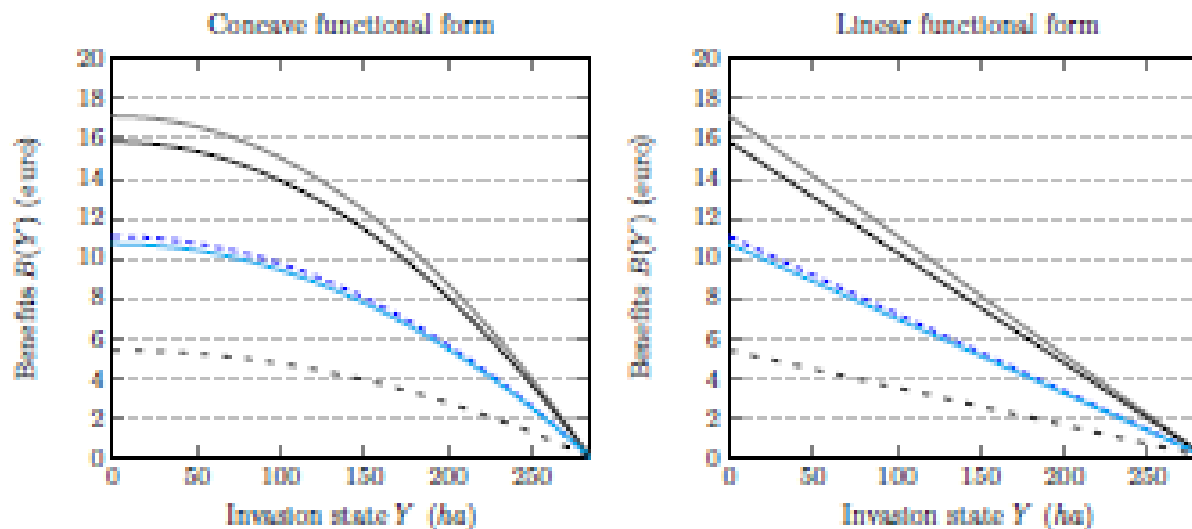
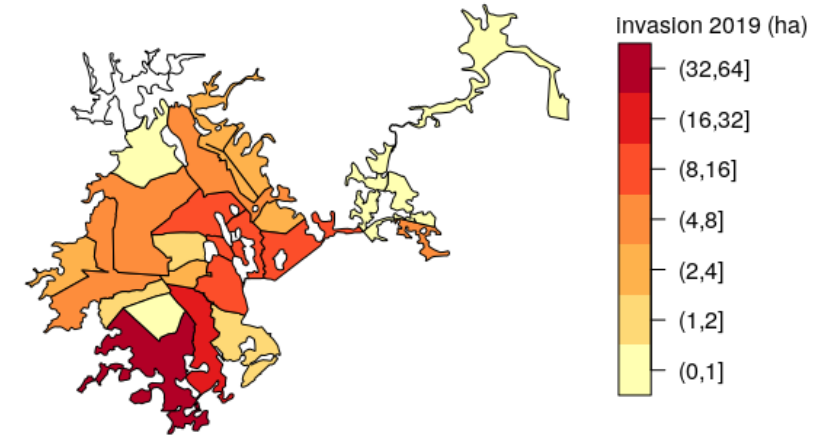
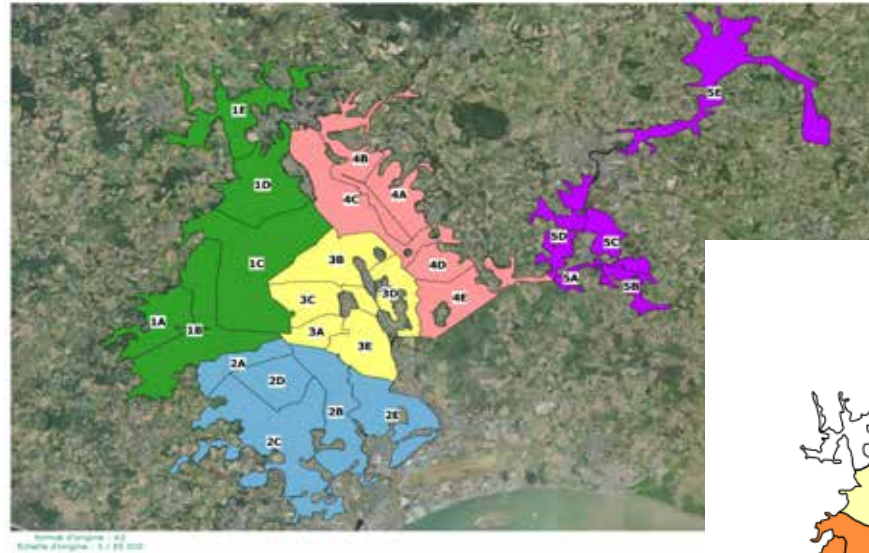


Figure 1: Benefit functions in the five main regions
 R_1 (---), R_2 (—), R_3 (—), R_4 (—), R_5 (- -)

Coûts marginaux par région (€ / m²)

Région	Coût marginal
1	0.5643
2	0.5551
3	0.5633
4	0.5588
5	0.5088



Modèle de dispersion : estimation par méthode d'économétrie spatiale avec matrice de contiguïté

Variable / paramètre	Estimation	Ecart—type
ρ	1.0414***	0.0184
γ	0.1313***	0.0315
R2	0.9336	

Dynamique de l'invasion : croissance intra-zone et dispersion inter-zones

$$Y_{it} = \rho(Y_{i,t-1} - X_{i,t-1}) + \gamma W(Y_{i,t-1} - X_{i,t-1}) + \alpha_i + u_{it}$$

W : Matrice de dispersion

Simulation : budget de contrôle de 50,000 euros à 1 M euros

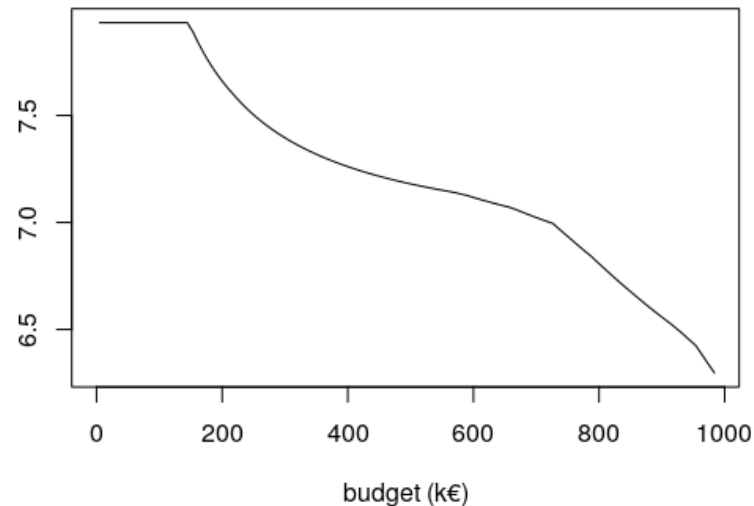
(par tranches de 5000 €)

Budget	50 k€	100 k€	250 k€	500 k€	1 M€
Bénéfices marginaux constants					
Surface contrôlée totale (ha)	9.67	19.34	47.36	91.08	171.22
Bénéfices totaux (k€)	396.68	793.36	1875.84	3590.18	6113.35
Bénéfice par foyer (€/ foyer /ha)	0.0702	0.0702	0.0677	0.0674	0.0611
Rapport bénéfices / budget	7.9336	7.9336	7.5034	7.1804	6.4351
Bénéfices marginaux décroissants					
Surface contrôlée totale (ha)	9.67	19.34	46.44	91.15	171.50
Bénéfices totaux (k€)	263.34	498.24	996.23	1423.26	1633.73
Bénéfice par foyer (€/ foyer /ha)	0.0466	0.0441	0.0367	0.0267	0.0163
Rapport bénéfices / budget	5.2668	4.9824	3.9849	2.8465	1.7197

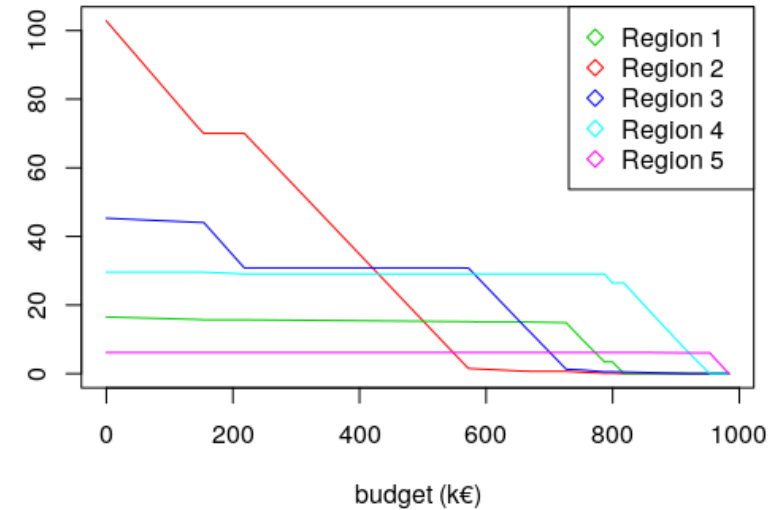
Résultats

- ù Les bénéfices marginaux ont un rôle majeur dans la priorisation, à la différence des coûts marginaux ;
- ù La dispersion spatiale est importante mais plus localement, pour sélectionner choisir les sous-zones prioritaires (2A, 3B, etc.)
- ù L'algorithme préconise un effort de contrôle en priorité dans les régions 2 et 3
- ù Un budget type de 150 k€ sera dépensé en totalité sur ces deux régions
- ù Si budget > 150 k€, contrôle total des régions 2 et 3, puis 1, puis 4 et enfin 5

Rapport bénéfices sur budget



Impact du budget de contrôle sur la surface envahie



- q Une approche économique d'appui au contrôle de l'invasion
 - ù Basée sur des différentiels de bénéfices de contrôle de l'invasion
 - ù Qui complètent une modélisation de la dispersion et des coûts de contrôle

- q Importance de disposer de données
 - ù précises et nombreuses sur la diffusion et les coûts de contrôle
 - ù d'enquêtes de terrain pour évaluer les dommages de l'invasion / les bénéfices du contrôle

- q Un cadre de modélisation en appui à la décision
 - ù Plusieurs niveaux opérationnels possibles
 - ù Une chaîne originale de collecte et traitement statistique

- q Extensions
 - ù Plusieurs espèces : compétition, stratégies multi-target, etc.
 - ù Une application informatique Open Science avec traitements automatisés

Merci de votre attention

Pierre.Courtois@inrae.fr

Alban.Thomas@inrae.fr

