



La valeur du service forestier de protection des eaux

Jens Abildtrup, Laboratoire d'Economie Forestière – LEF/INRA, Nancy

Travail réalisé avec :

Serge Garcia, Laboratoire d'Economie Forestière – LEF/INRA, Nancy

Eric Kéré, CERDI, Clermont Ferrand

Youba Ndiaye CESAER, Dijon

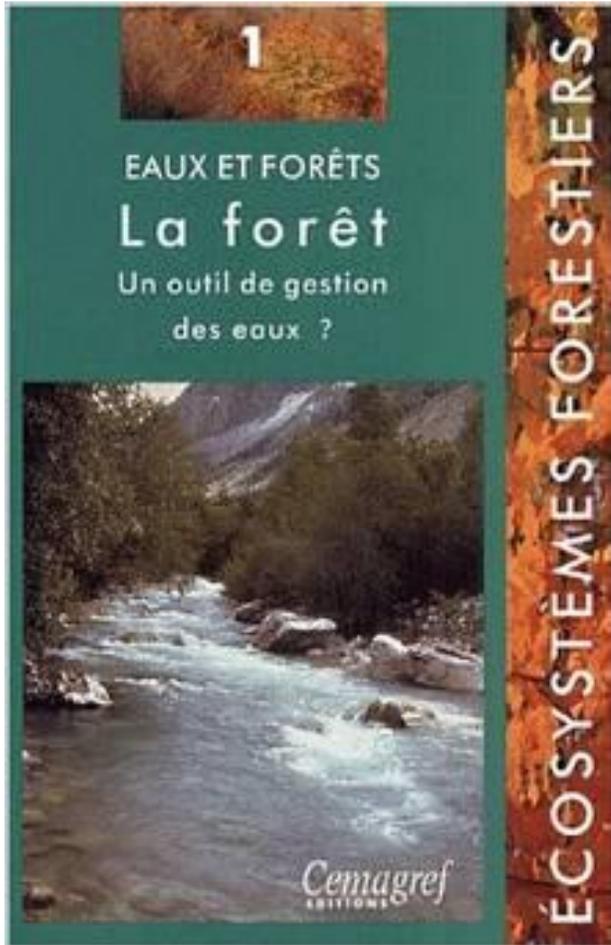
Anne Stenger Laboratoire d'Economie Forestière – LEF/INRA, Nancy

Colloque du réseau SEHS d'Ecofor

Les 19 et 20 novembre, Paris



Motivations (1)



C'est bien connu que la forêt a un impact sur la ressource eau

« Par rapport à d'autres modes d'occupation du sol, en particulier, l'agriculture, la forêt a indéniablement un impact différent sur le cycle de l'eau »

La forêt un outil de gestion des eaux
Livre, Cemagref 2000, p3



Motivations (2)

- La forêt protège l'eau
- Teneurs en nitrates des eaux sous racinaires : La teneur en nitrate en forêt est faible

Occupation du sol	Concentration en nitrate des eaux (mg / l)
Forêts	2
Prés de fauche	19
Pâtures	31
Prairies temporaires	28
Blé d'hiver	46
Colza	62
Céréale de printemps	120
Maïs fourrage	126

Source : Benoit et al (1997)

- Des résultats similaires pour des pesticides



Motivations (3)

- Peu d'études estiment la valeur du service forestier de protection des eaux
- En France
 - Fiquepron et al 2013 (J. of Environ. Management):
 - Quantifie l'impact de la forêt sur le prix et la qualité d'eau à l'échelle du territoire (départements) français.
 - Les principaux résultats d'estimation montrent un effet positif de la forêt sur la qualité des eaux brutes relativement aux autres usages du sol avec un effet indirect sur le prix de l'eau



Plan

- Une évaluation économique de service protection des eaux potable de la forêt
 - Notre approche pour évaluer
- Les résultats des trois études dans le bassin Rhin-Meuse
 1. Evaluation économique dans les Vosges
 - Abildtrup et al 2013 *Ecological Economics*
 2. Evaluation économique dans les Vosges – L’impact de mode de gestion d’alimentation en eau potable (AEP)
 - À paraître dans *Journal of Regional and Urban Economics*
 3. Evaluation économique dans le bassin Rhin-Meuse – Traiter la qualité d’eau explicitement
 - Etude en cours



Le bassin Rhin-Meuse





L'approche

- Si l'occupation des sols a un impact sur la qualité de l'eau brute, on peut identifier cet impact dans le processus de la provision de l'eau potable
- L'eau brute est transformée en eau potable avec des coûts
 - La qualité  => les coûts 
- Une approche économétrique :
 - Estimation d'un modèle de coûts pour l'offre de l'eau potable tenant compte de l'impact de l'occupation des sols sur la qualité brute de l'eau



Modèle économique

- La fonction coût de la production de l'eau potable pour le service d'Alimentation en Eau Potable (AEP) i :

$$C_i = C(Vol_i, q_i, X_i, Del_i, \varepsilon_{ci}; Vol_{n(j)}, q_{n(j)}, X_{n(j)}, Del_{n(j)}, \varepsilon_{cn(j)})$$

$n(j)$: l'AEP voisin

Vol : le volume mis en distribution

X : des caractéristiques de l'AEP

Del : le mode de gestion du service d'AEP {0= non-déléguée, 1=déléguée}
qui dépend de la qualité des eaux brutes

$$Del_i = G(q_i, \varepsilon_{gi}; q_{n(j)}, \varepsilon_{gn(j)})$$

q : Indicateurs de la qualité qui dépend de l'occupation de sols L :

$$q_i = q(L_i, \varepsilon_{qi}; L_{n(j)}, \varepsilon_{qn(j)})$$



Modèle économique

- Nous ne connaissons pas les coûts mais le prix de l'eau
- Notre hypothèse : Pour l'AEP publique, le prix égale le coût moyen (AC) (« *balanced-budget constraint* »):

$$P_i = AC(Vol_i, q_i, X_i, Del_i = 0, \varepsilon_{ci}; Vol_{n(j)}, q_{n(j)}, X_{n(j)}, Del_{n(j)}, \varepsilon_{cn(j)})$$

- Pour l'AEP déléguée, le prix égale le coût marginal (MC) plus une rente informationnelle R :

$$P_i = MC(W_i, q_i, X_i, Del_i = 1, \varepsilon_{ci}; W_{n(j)}, q_{n(j)}, X_{n(j)}, Del_{n(j)}, \varepsilon_{cn(j)}) + R$$



L'étude I

- Les Vosges – le département avec les données les plus complètes
- Analyse spatiale - l'AEP voisine peut avoir un impact sur le prix



L'étude I

- Les Vosges – le département avec les données les plus complètes
- Analyse spatiale - l'AEP voisine peut avoir un impact sur le prix

- N'utilise pas les variables qualité des eaux brutes q

$$C_i = C(Vol_i, q_i, X_i, Del_i, \varepsilon_{ci}; Vol_{n(j)}, q_{n(j)}, X_{n(j)}, Del_{n(j)}, \varepsilon_{cn(j)})$$



$$C_i = C(Vol_i, L_i, X_i, Del_i, \varepsilon_{ci}; Vol_{n(j)}, L_{n(j)}, X_{n(j)}, Del_{n(j)}, \varepsilon_{cn(j)})$$

- Ignore que le mode de gestion peut être endogène

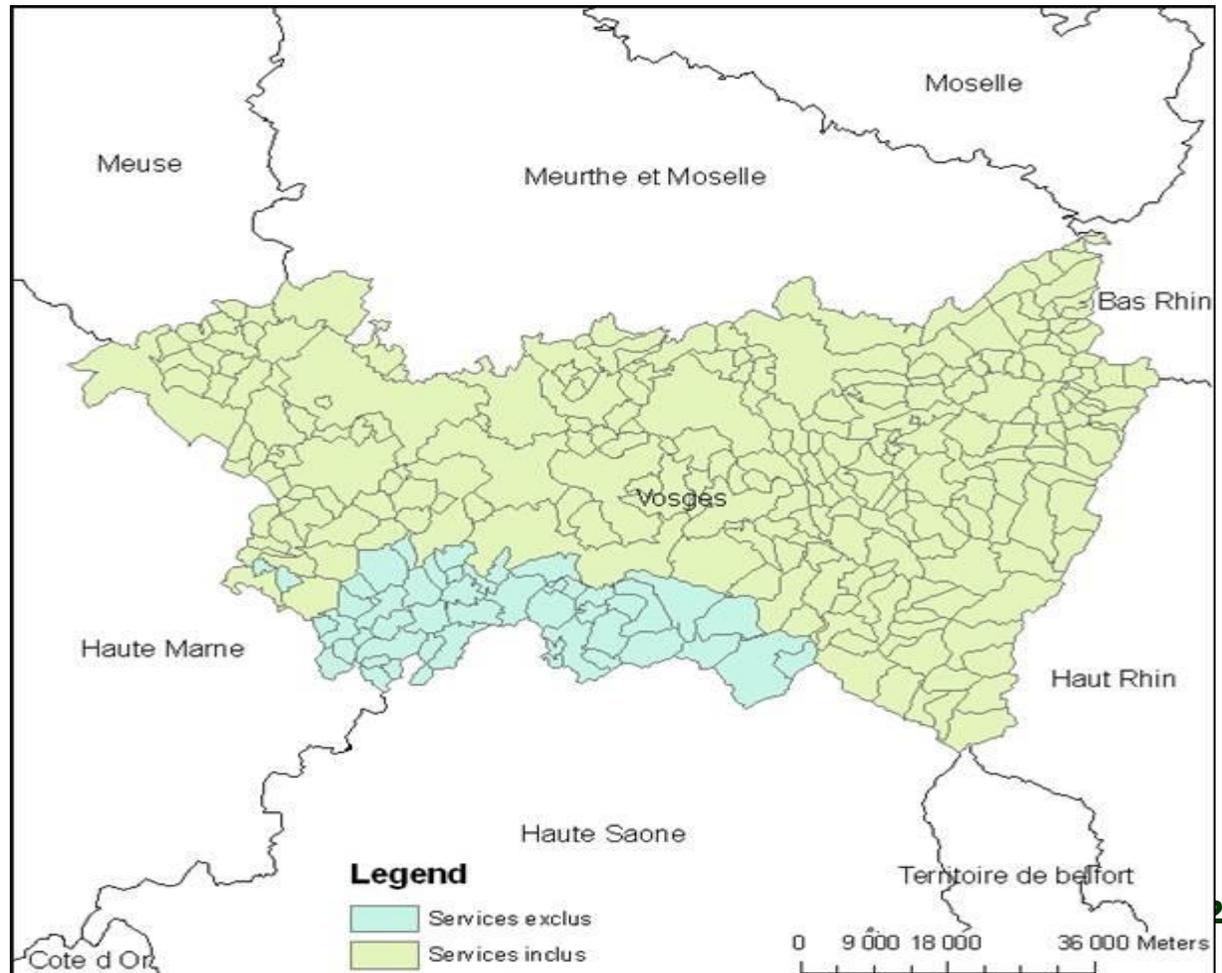


Données

Les Vosges 515 communes, Avec 283 AEP



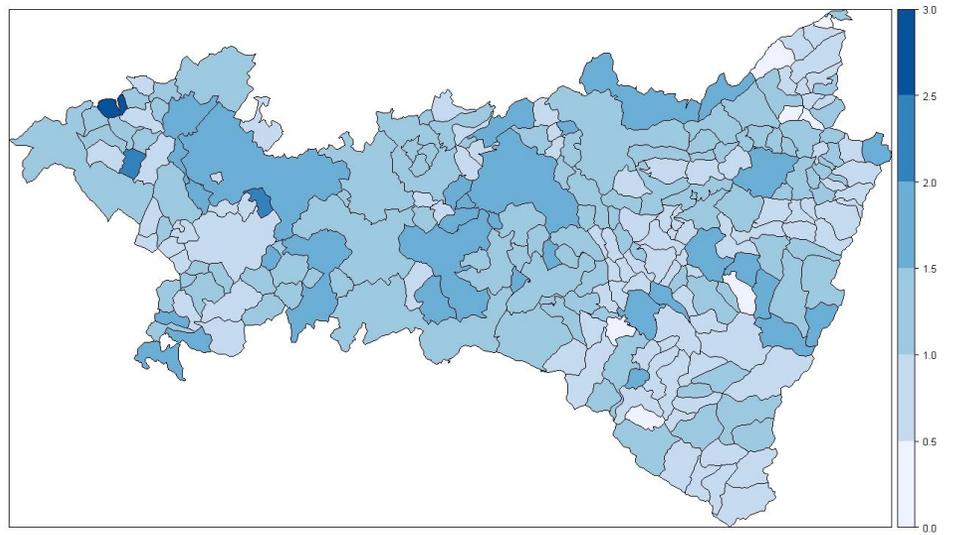
- 51 AEP dans un autre bassin
- 232 AEP dans échantillon
- 21 AEP sont délégués (9%)





Prix de l'eau potable et occupation de sols

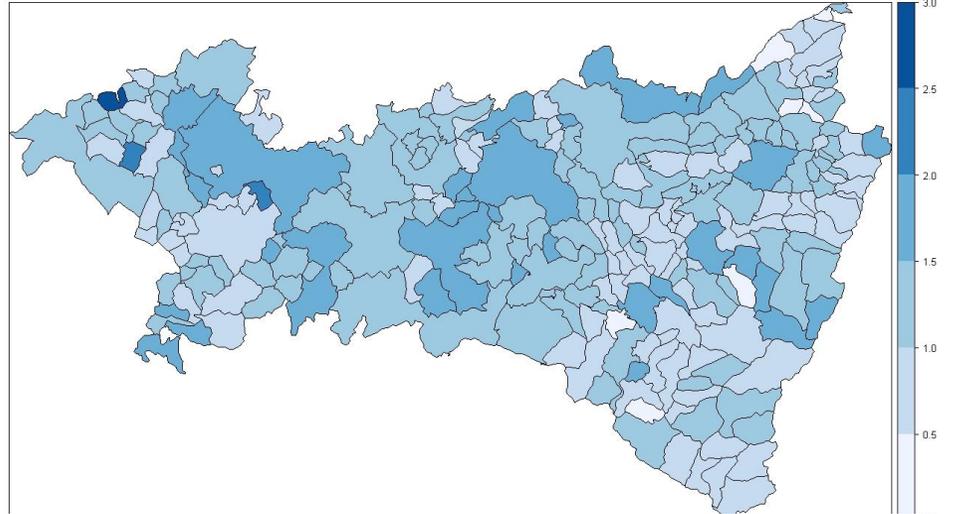
Les prix de l'eau potable (€/m³)



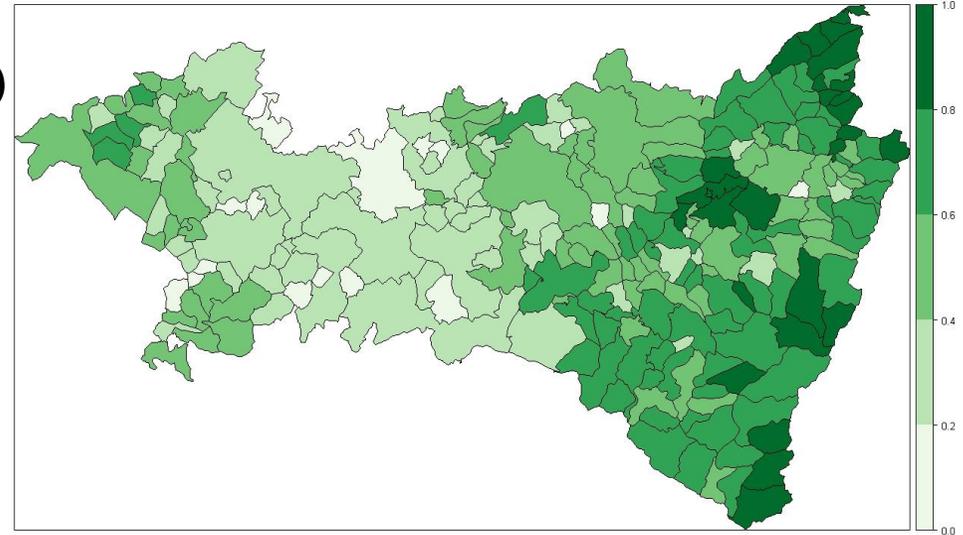


Prix de l'eau potable et occupation de sols

Les prix de l'eau potable (€/m³)



Proportion de surfaces boisées (taux)





Les résultats

Variable	Estimate
(Intercept)	2.8562**
<i>Vol</i> : volume d'eau (log)	-0.4708**
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	0.4441**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km ² (log)	-0.1118*
<i>Del</i> (gestion délègue)	0.4510***
<i>Municip</i> : Nombre commune servi par AEP	0.0216*
<i>Del x Municip</i>	-0.0268*
<i>Intake</i> : Nombre de captages	0.0084
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-0.7059***
<i>Urbain</i> : Proportion de terres urbaine d'AEP	-0.0268
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-0.6529**
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0.8405*
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé	8.1980*
<i>Autre_lag</i> : <i>Autre</i> décalées décalé	-1.3144
<i>Vol_lag</i> : <i>Vol</i> spatial décalé	0.0489*
λ autocorrélation spatiale (erreur)	0.2557**

Note: ***: significant at 1%, **: at 5%, *: at 10%.



Les résultats

Variable	Estimate
(Intercept)	2.8562**
<i>Vol</i> : volume d'eau (log)	-0.4708**
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	0.4441**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km ² (log)	-0.1118*
<i>Del</i> (gestion délègue)	0.4510***
<i>Municip</i> : Nombre commune servi par AEP	0.0216*
<i>Del x Municip</i>	-0.0268*
<i>Intake</i> : Nombre de captages	0.0084
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-0.7059***
<i>Urbain</i> : Proportion de terres urbaine d'AEP	-0.0268
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-0.6529**
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0.8405*
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé	8.1980*
<i>Autre_lag</i> : <i>Autre</i> décalées décalé	-1.3144
<i>Vol_lag</i> : <i>Vol</i> spatial décalé	0.0489*
λ autocorrélation spatiale (erreur)	0.2557**

Note: ***: significant at 1%, **: at 5%, *: at 10%.



Les résultats

Variable	Estimate
(Intercept)	2.8562**
<i>Vol</i> : volume d'eau (log)	-0.4708**
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	0.4441**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km ² (log)	-0.1118*
<i>Del</i> (gestion délègue)	0.4510***
<i>Municip</i> : Nombre commune servi par AEP	0.0216*
<i>Del x Municip</i>	-0.0268*
<i>Intake</i> : Nombre de captages	0.0084
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-0.7059***
<i>Urbain</i> : Proportion de terres urbaine d'AEP	-0.0268
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-0.6529**
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0.8405*
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé	8.1980*
<i>Autre_lag</i> : <i>Autre</i> décalées décalé	-1.3144
<i>Vol_lag</i> : <i>Vol</i> spatial décalé	0.0489*
λ autocorrélation spatiale (erreur)	0.2557**

Note: ***: significant at 1%, **: at 5%, *: at 10%.

X



Les résultats

Variable	Estimate
(Intercept)	2.8562**
<i>Vol</i> : volume d'eau (log)	-0.4708**
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	0.4441**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km ² (log)	-0.1118*
<i>Del</i> (gestion délègue)	0.4510***
<i>Municip</i> : Nombre commune servi par AEP	0.0216*
<i>Del x Municip</i>	-0.0268*
<i>Intake</i> : Nombre de captages	0.0084
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-0.7059***
<i>Urbain</i> : Proportion de terres urbaine d'AEP	-0.0268
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-0.6529**
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0.8405*
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé	8.1980*
<i>Autre_lag</i> : <i>Autre</i> décalées décalé	-1.3144
<i>Vol_lag</i> : <i>Vol</i> spatial décalé	0.0489*
λ autocorrélation spatiale (erreur)	0.2557**

Note: ***: significant at 1%, **: at 5%, *: at 10%.



Les résultats

Variable	Estimate
(Intercept)	2.8562**
<i>Vol</i> : volume d'eau (log)	-0.4708**
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	0.4441**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km ² (log)	-0.1118*
<i>Del</i> (gestion délègue)	0.4510***
<i>Municip</i> : Nombre commune servi par AEP	0.0216*
<i>Del x Municip</i>	-0.0268*
<i>Intake</i> : Nombre de captages	0.0084
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-0.7059***
<i>Urbain</i> : Proportion de terres urbaine d'AEP	-0.0268
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-0.6529**
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0.8405*
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé	8.1980*
<i>Autre_lag</i> : <i>Autre</i> décalées décalé	-1.3144
<i>Vol_lag</i> : <i>Vol</i> spatial décalé	0.0489*
λ autocorrélation spatiale (erreur)	0.2557**

Note: ***: significant at 1%, **: at 5%, *: at 10%.



La valeur de la protection de la forêt

La valeur moyenne de service protection de l'eau potable de la forêt (en €)

L'impact 1% plus de forêt sur le prix

Impact direct (impact 1% plus de forêt sur prix)	-0.0071 ^a
Impact indirect (effet voisin) (impact 1% plus de forêt sur prix)	-0.0084
Impact totale(impact 1% plus de forêt sur prix)	-0.0155

La valeur 1 ha forêt de plus

Impact direct 1 ha	63.20
Impact indirect (effet voisin) 1 ha	75.25
Impact totale 1 ha	138.46



L'étude II : L'impact des modes de gestion des services d'eau potable

D'autres études ont aussi montré que la gestion déléguée est plus coûteuse

Le choix du mode de gestion est endogène ?

Quand la gestion est compliquée (par exemple des besoins de traitements avancés) les communes choisissent de déléguer la gestion

Le choix peut être impacté par des facteurs qui ne sont pas observés

⇒ Estimation d'un modèle de choix de mode de gestion (modèle sélection)

$$Del_i = G(X_i, \varepsilon_{gi}; X_{n(j)}, Sanit_i, \varepsilon_{gn(j)})$$

⇒ Prendre en compte la corrélation entre les termes des erreurs de modèle sélection et modèle prix d'eaux

Résultats – Mode de gestion

Variable	Mode de gestion		Prix de l'eau	
	Coefficients	Écarts-type	Coefficients	Écarts-type
<i>Constant</i>	-25.71*	14.65	-0.12	0.52
<i>SANIT</i> (délégation de Sanitaire SANIT=1)	4.12***	1.23		
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0.84	0.67	-0.044	0.032
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	1.31	0.91	0.041***	0.024
<i>User_lag</i> : Nombre de abonnés spatial décalé	0.87**	0.38		
<i>User</i> × Φ (Φ = la probabilité de délégation)			0.063***	0.0077
<i>Forêt_lag</i> : Proportion de terres forestières d'AEP spatial décalé			-0.93***	0.19
<i>Urbain_lag</i> Proportion de terres urbaine d'AEP spatial décalé			0.99*	0.54
<i>Autre lag</i> Proportion de « autre terre » d'AEP spatial décalé			-0.45	0.28
ϕ (“inverse mills ratio”) corrélation entre modèles			0.015	0.43
SAE Autocorrélation spatiale (erreur)	-0.0088	0.0597	-0.0003	0.066

N = 232, N1 = 21 (AEP délégué)
 ***signifiant en 1%; **: 5%; *: 10%.

Résultats – Mode de gestion

Variable	Mode de gestion		Prix de l'eau	
	Coefficients	Écart-type	Coefficients	Écart-type
<i>Constant</i>	-25.71*	14.65	-0.12	0.52
<i>SANIT</i> (délégation de Sanitaire SANIT=1)	4.12***	1.23		
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0.84	0.67	-0.044	0.032
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	1.31	0.91	0.041***	0.024
<i>User_lag</i> : Nombre de abonnés spatial décalé	0.87**	0.38		
<i>User</i> × Φ (Φ = la probabilité de délégation)			0.063***	0.0077
<i>Forêt_lag</i> : Proportion de terres forestières d'AEP spatial décalé			-0.93***	0.19
<i>Urbain_lag</i> Proportion de terres urbaine d'AEP spatial décalé			0.99*	0.54
<i>Autre lag</i> Proportion de « autre terre » d'AEP spatial décalé			-0.45	0.28
ϕ ("inverse mills ratio") corrélation entre modeès			0.015	0.43
SAE Autocorrelation spatiale (erreur)	-0.0088	0.0597	-0.0003	0.066
N = 232, N1 = 21 (delegated WSS) ***significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.				

Résultats – Mode de gestion

Variable	Mode de gestion		Prix de l'eau	
	Coefficients	Écarts-type	Coefficients	Écarts-type
<i>Constant</i>	-25.71*	14.65	-0.12	0.52
<i>SANIT</i> (délégation de Sanitaire SANIT=1)	4.12***	1.23		
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0.84	0.67	-0.044	0.032
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	1.31	0.91	0.041***	0.024
<i>User_lag</i> : Nombre de abonnés spatial décalé	0.87**	0.38		
<i>User</i> × Φ (Φ = la probabilité de délégation)			0.063***	0.0077
<i>Forêt_lag</i> : Proportion de terres forestières d'AEP spatial décalé			-0.93***	0.19
<i>Urbain_lag</i> : Proportion de terres urbaine d'AEP spatial décalé			0.99*	0.54
<i>Autre lag</i> : Proportion de « autre terre » d'AEP spatial décalé			-0.45	0.28
ϕ (“inverse mills ratio”) corrélation entre modeès			0.015	0.43
SAE Autocorrelation spatiale (erreur)	-0.0088	0.0597	-0.0003	0.066

N = 232, N1 = 21 (delegated WSS)
 ***significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.

Résultats – Mode de gestion

Variable	Mode de gestion		Prix de l'eau	
	Coefficients	Écart-type	Coefficients	Écart-type
<i>Constant</i>	-25.71*	14.65	-0.12	0.52
<i>SANIT</i> (délégation de Sanitaire SANIT=1)	4.12***	1.23		
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0.84	0.67	-0.044	0.032
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	1.31	0.91	0.041***	0.024
<i>User_lag</i> : Nombre de abonnés spatial décalé	0.87**	0.38		
<i>User</i> × Φ (Φ = la probabilité de délégation)			0.063***	0.0077
<i>Forêt_lag</i> : Proportion de terres forestières d'AEP spatial décalé			-0.93***	0.19
<i>Urbain_lag</i> Proportion de terres urbaine d'AEP spatial décalé			0.99*	0.54
<i>Autre lag</i> Proportion de « autre terre » d'AEP spatial décalé			-0.45	0.28
ϕ (“inverse mills ratio”) corrélation entre modeès			0.015	0.43
SAE Autocorrelation spatiale (erreur)	-0.0088	0.0597	-0.0003	0.066

N = 232, N1 = 21 (delegated WSS)
 ***significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.

Résultats – Mode de gestion

Variable	Mode de gestion		Prix de l'eau	
	Coefficients	Écarts-type	Coefficients	Écarts-type
<i>Constant</i>	-25.71*	14.65	-0.12	0.52
<i>SANIT</i> (délégation de Sanitaire SANIT=1)	4.12***	1.23		
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0.84	0.67	-0.044	0.032
<i>User</i> : Nombre d'abonnés (log)	1.31	0.91	0.041***	0.024
<i>User_lag</i> : Nombre de abonnés spatial décalé	0.87**	0.38		
<i>User</i> × Φ (Φ = la probabilité de délégation)			0.063***	0.0077
<i>Forêt_lag</i> : Proportion de terres forestières d'AEP spatial décalé			-0.93***	0.19
<i>Urbain_lag</i> Proportion de terres urbaine d'AEP spatial décalé			0.99*	0.54
<i>Autre lag</i> Proportion de « autre terre » d'AEP spatial décalé			-0.45	0.28
ϕ ("inverse mills ratio") corrélation entre modeès			0.015	0.43
SAE Autocorrelation spatiale (erreur)	-0.0088	0.0597	-0.0003	0.066

N = 232, N1 = 21 (delegated WSS)
 ***significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.



Etude III – Analyse explicite de la qualité d'eau – en cours

- Estimer pour indicateur de la qualité de l'eau brute (nitrate et pesticide)

$$q_i = q(L_i, \varepsilon_{qi}; L_{n(j)}, \varepsilon_{qn(j)})$$

- Prélèvement au niveau des captages est pondéré avec des volumes
 - Bassin Rhin-Meuse : 3754 commune, 1374 AEP



Résultats provisoires

	Concentration de nitrate dans des prélèvements		Taux prélèvement non-conforme	
Variable	Coefficient		Coefficient	
Constant	-0.98	***	4.19	***
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-1,74	***	-0,50	
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-1,48	***		
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0,95	**	-0,96	**
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé			-2,28	**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0,11	**		
<i>Population</i> (log)			0.15	***
Nombre d'AEP	687		1016	
significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.				



Résultats provisoires

	Concentration de nitrate dans des prélèvements		Taux prélèvement non-conforme	
Variable	Coefficient		Coefficient	
Constant	-0.98	***	4.19	***
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-1,74	***	-0,50	
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-1,48	***		
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0,95	**	-0,96	**
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé			-2,28	**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0,11	**		
<i>Population</i> (log)			0.15	***
Nombre d'AEP	687		1016	
significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.				



Résultats provisoires

	Concentration de nitrate dans des prélèvements		Taux prélèvement non-conforme	
Variable	Coefficient		Coefficient	
Constant	-0,98	***	4,19	***
<i>Foret</i> : Proportion de terres forestières d'AEP	-1,74	***	-0,50	
<i>Autre</i> : Proportion des autres terres (prairies, nature,...) d'AEP	-1,48	***		
<i>Foret_lag</i> : <i>Foret</i> spatial décalée	-0,95	**	-0,96	**
<i>Urbain_lag</i> : <i>Urbain</i> spatial décalé			-2,28	**
<i>Dens</i> : Nombre d'abonnés /km2 (log)	-0,11	**		
<i>Population</i> (log)			0,15	***
Nombre d'AEP	687		1016	
significant at 1%; **: at 5%; *: at 10%.				



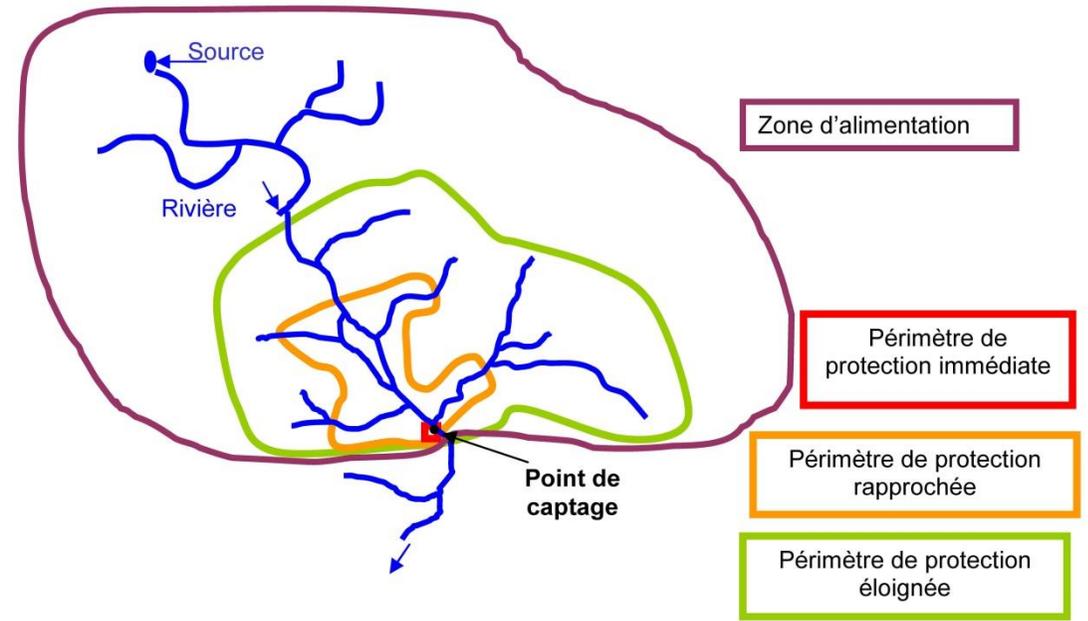
Des perspectives

- Comment définir l'unité spatiale pour calculer l'occupation du sol ?



Des perspectives

- Comment définir l'unité spatiale pour calculer l'occupation du sol ?
- Application de périmètres de protection (immédiate, rapprochée, éloignée?)?

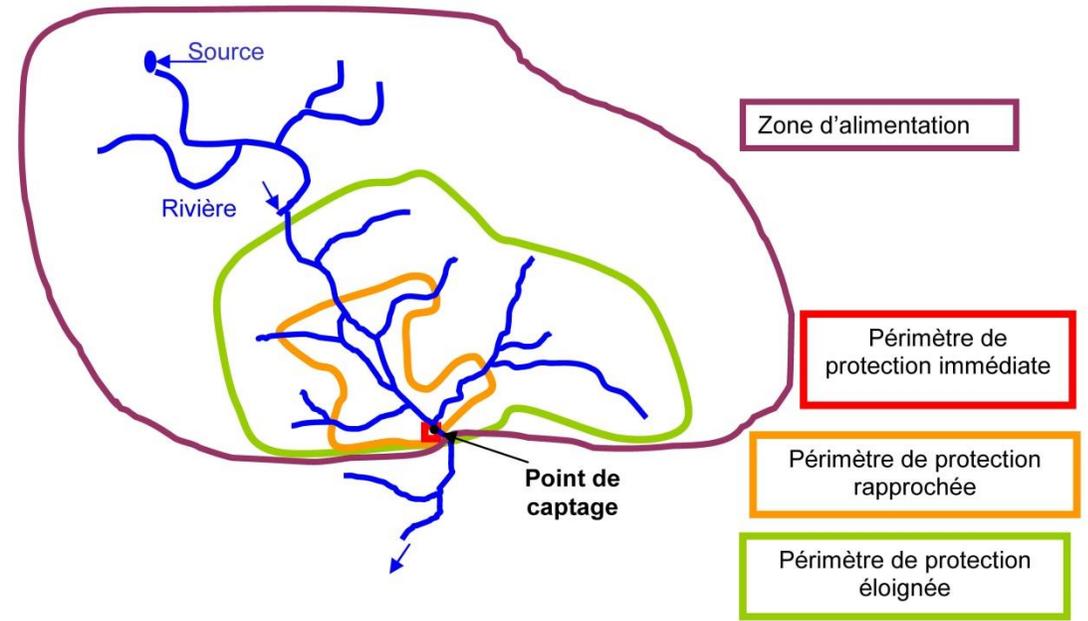


Source : <http://www.sde61.fr/nos-missions/protection-de-la-ressource-procedure-des-perimetres-de-protection-et-captages-prioritaires/>



Des perspectives

- Comment définir l'unité spatiale pour calculer l'occupation du sol ?
- Application de périmètres de protection (immédiate, rapprochée, éloignée?)?
- L'impact de la gestion forestière sur la qualité – et quantité – d'eau.



Source : <http://www.sde61.fr/nos-missions/protection-de-la-ressource-procedure-des-perimetres-de-protection-et-captages-prioritaires/>



Merci