

Les scénarios du Millenium Ecosystem Assessment et leur implication en termes de cycle des nutriments. Downscaling des résultats au bassin de la Seine.

Vincent Thieu¹, Gilles Billen^{1*}, Josette Garnier¹

¹UMR Sisyphe 7619, Université P. et M. Curie – Paris 6, BP 105, Tour 56-55, 4^{ème} étage,
4 Place Jussieu, 75005 Paris, France

*gilles.billen@upmc.fr

Résumé

Les travaux du Millenium Ecosystem Assessment ont abouti à la production de 4 scénarios contrastés de l'évolution du monde à l'horizon 2050, combinant différents niveaux de globalisation et de conscience environnementale. Ces scénarios ont été quantifiés en termes biogéochimiques et régionalisés à l'échelle de 6000 bassins versant mondiaux. On présente ici leur traduction à l'échelle du bassin de la Seine.

1 – Introduction

La construction de scénarios prospectifs de l'évolution d'un territoire comme celui de la Seine est un exercice très utile pour mettre à l'épreuve à la fois notre capacité à envisager des changements plus ou moins radicaux dans le fonctionnement de ce territoire et pour étendre le champ d'application des modèles dont nous disposons pour évaluer les conséquences de ces changements.

S'agissant d'un territoire régional, aucun scénario ne peut s'envisager indépendamment du contexte mondial dans lequel s'intègre ce territoire, sauf à considérer qu'il rompt tout contact avec le reste du monde. Il est donc nécessaire d'appuyer la réflexion prospective régionale sur une prospective mondiale. Sous l'égide de l'ONU, un travail d'évaluation et de prospective globale a été conduit de 2001 à 2005 sous le titre de Millenium Ecosystem Assessment (www.millenniumassessment.org) (Alcamo et al., 2003). Il a débouché sur 4 scénarios de l'évolution du monde à l'horizon 2050 et de la sollicitation des ressources naturelles et des services écosystémiques, qui prolongent les scénarios précédemment proposés par l'IPCC dans le cadre de l'étude du changement climatique.

Le modèle IMAGE, développé par le Netherlands Environmental Assessment Agency a permis de régionaliser ces scénarios et de les traduire en termes de surface et de production agricole quantitative et de rejets domestiques et industriels. Les scénarios du Millenium Ecosystem Assessment ont ainsi fait l'objet d'une quantification détaillée en matière de fonctionnement biogéochimique des bassins versants mondiaux dans le cadre du programme UNESCO-IOC Global-NEWS auquel nous avons participé (Seitzinger et al., 2009 ; Bouwman et al., 2009; Garnier et al., 2009 ; Billen et al., 2010).

Nous disposons ainsi d'une base solide sur laquelle il sera possible de bâtir des scénarios plus détaillés de l'évolution du territoire du bassin de la Seine.

Dans ce rapport, nous présentons l'esprit des scénarios du MEA et les premiers résultats de leur traduction à l'échelle régionale.

2 – Les scénarios du Millenium Assessment

La base de la construction des 4 scénarios du MA résident dans le croisement de deux degrés d'intégration et de coopération mondiale, et deux niveaux de prise en compte des équilibres environnementaux (Fig. 1). Quatre scénarios sont ainsi produits : Global Orchestration, Order by Strength, Techno-Garden, Adapting Mozaic.

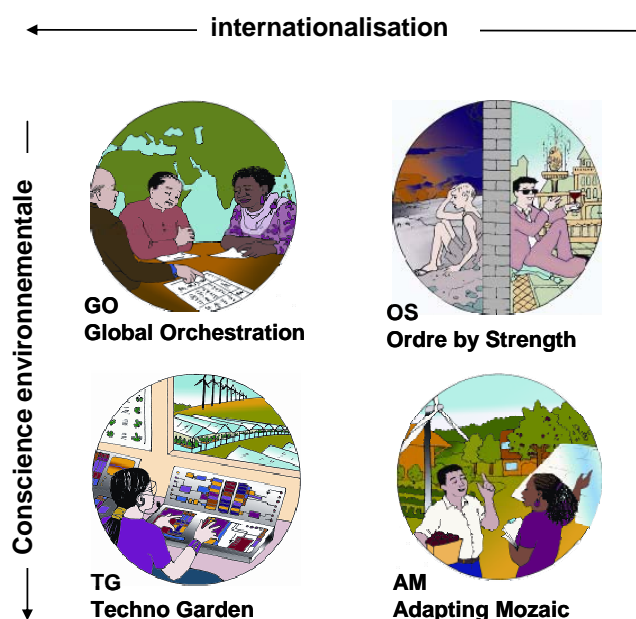


Figure 1. Les 4 scénarios du Millenium Ecosystem Assessment (Alcamo et al., 2003)

Le scénario '**Global Orchestration**' (GO) est caractérisé par un niveau élevé de mondialisation et une croissance économique rapide, mais par une approche seulement réactive aux grands problèmes environnementaux. A l'opposé, le scénario '**Adapting Mosaic**' (AM) est basé sur un niveau bien moindre d'intégration des économies internationales et de croissance du PIB, le développement auto-centré localement étant privilégié par rapport aux échanges internationaux, avec une attitude pro-active vis-à-vis des problèmes environnementaux, privilégiant des solutions techniques douces, basées sur la fermeture locale des cycles de matière. Le scénario '**Techno Garden**' (TG), offre la vision d'un mode très intégré internationalement, à forte croissance économique, soutenue par le développement global de technologies environnementales de pointe et d'ingénierie écologique. Enfin le scénario '**Order by Strength**' (OS) est celui d'un monde préoccupé avant tout par les problèmes de sécurité, refermé sur des marchés régionaux. Le tableau 1, emprunté à Seitzinger et al. (2009) résume les grands axes de ces scénarios.

Table 1. Principales hypothèses distinguant les 4 scénarios du Millenium Assessment (Seitzinger et al., 2009)

	Global Orchestration	Adapting Mozaic	Techno- Garden	Order from Strength
Managmnt environnemental	Développement dit soutenable, croissance, biens publics	co-management local, co-propriété	Technol. vertes, éco-efficacité, marché des droits de propriété écologique	Réserves, parcs nationaux, politiques de conservation
Management économique	'Fair trade'	Régulation locale du commerce et des marchés	Marché global, pas de droits de douane	Marchés régionaux, mercantilisme
Politique sociale	Compétition, Santé publique et éducation mondiales	Échanges d'information mondiaux	Compétition, ouverture, reconnaissance de l'expertise	Sécurité, protection
Organisations dominantes	Compagnies transnationales, ONG mondiales, organisations internationales	Institutions locales	Organisations professionnelles internationales, ONG	Firmes multinationales
Croissance démographique	faible	forte	moyenne	forte
Croissance économique	forte	moyenne	forte	faible
Régime alimentaire				
Ration	forte	faible	forte	faible
Part de la viande	forte	faible	faible	forte
Climat				
émission de GES	forte	moyenne	faible	forte
Accroissement de la temp.	fort	moyen	faible	forte

L'analyse de ces scénarios et leur régionalisation par le Modèle IMAGE, a permis d'en quantifier les conséquences biogéochimiques à l'échelle des principaux bassins hydrographiques mondiaux. Ainsi, pour ces quatre scénarios, Bouwman et al. (2009) ont calculé le bilan d'azote et de phosphore des sols agricoles et Van Drecht et al. (2009) les rejets urbains de tous les bassins versant mondiaux. Billen et al. (2010) ont quant à eux établi les bilans d'autotrophie/hétérotrophie des territoires correspondants. Le tableau 2 présente un certain nombre d'indicateurs issus de ces travaux, pour chacun des 4 scénarios à l'horizon 2050.

Il est intéressant de constater que le scénario 'Adapting Mozaic', malgré son moindre niveau de croissance économique et sa croissance démographique plus importante, est celui qui nourrit le mieux sa population, dans un monde où les disparités régionales diminuent par un développement centré localement. Le scénario 'Global Orchestration', où la spécialisation internationale des territoires et les échanges commerciaux sont les plus importants ne parvient pas à subvenir aux déficits alimentaires de certaines régions du monde, en particulier en Afrique. Dans le scénario 'Techno-Garden', l'équilibre alimentaire dans un monde à très forte spécialisation territoriale est assuré par des échanges internationaux très importants et une production agricole dans les pays exportateurs poussée à de très haut niveau grâce à des techniques sophistiquées (OGM, agriculture de précision,...).

Tableau 2 : Indicateurs économiques et biogéochimiques caractérisant les 4 scénarios du MEA à l'échelle mondiale à l'horizon 2050. (Seitzinger et al, 2009 ; Bouwman et al., 2009 ; Billen et al. 2010)

	Global Orchestration	Adapting Mozaic	Techno- Garden	Order from Strength
Population (milliards d'hab)	7.8	9.1	8.5	9.7
Croissance du PIB (% par an)				
Pays en développement	4.3 – 4.7	3.0 - 3.6	3.6 – 4.4	2.4 – 2.2
Pays industrialisés	2.3	1.7 - 1.3	2.0 – 1.4	1.7 – 0.9
Autotrophie-Hétérotrophie (TgN/an)				
Surplus prod agricole Europe + AmNord	+11	+7	+22	+13
Déficit prod agricole Afrique	-18	-5	-14	-15
Apports de nutriments à la mer				
Azote (TgN/an)	50	44	44	47
Phosphore (TgP/an)	9.0	9.1	9.1	9.0

3 – Traduction des scénarios du MEA à l'échelle du bassin de la Seine

Le travail du groupe Global-NEWS a porté sur l'analyse des scénarios globaux du MEA et sa traduction à l'échelle de plus de 6000 bassins versants mondiaux à l'aide de modèles qui allient une approche de régression statistique à un schéma conceptuel simplifié du fonctionnement biogéochimique des systèmes fluviaux (Seitzinger et al., 2009) et qui permettent de calculer les apports fluviaux de nutriments (N,P,Si, Corg sous leurs différentes formes dissoutes ou particulaires) à la zone côtière marine. Les jeux de données relatifs aux contraintes prises en compte, ainsi que les résultats obtenus sur le bassin de la Seine sont ainsi disponibles.

Thieu et al. (2009) ont montré la cohérence des résultats obtenus sur le bassin de la Seine, de la Somme et de l'Oise avec ces modèles, par rapport aux résultats que fournit le modèle Sénèque/Riverstrahler à partir des mêmes données de contraintes (Figure 2). L'intérêt d'utiliser Sénèque/Riverstrahler réside dans la plus grande résolution spatiale et temporelle de ce modèle par rapport aux modèles Global-NEWS.

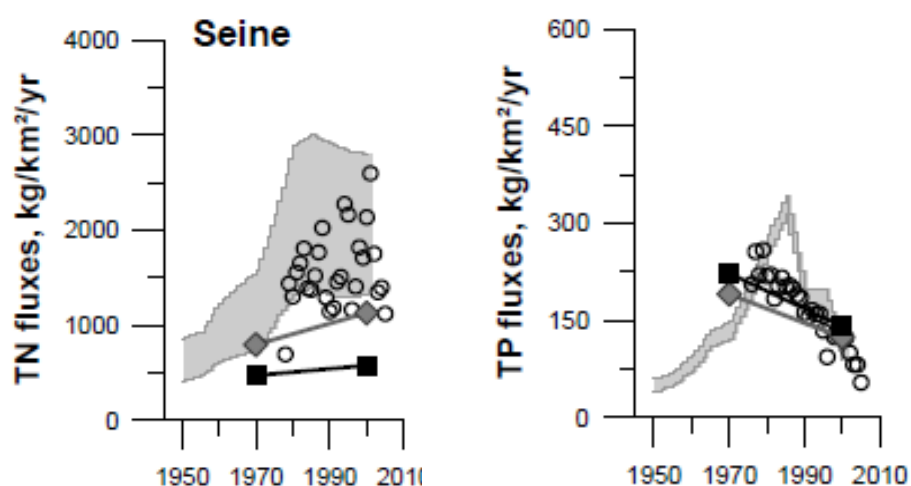


Figure 2: Flux annuel d'azote total et de phosphore total exporté per la Seine depuis 1950, calculé par différents modèles avec différents jeux de données de contraintes. (i) (■) Modèle Global-NEWS avec contraintes globales (Seitzinger et al, 2009) (ii) (◆) Modèle Sénèque/Riverstrahler avec les contraintes Global-NEWS. (iii) (zone grisée) Modèle Riverstrahler pour 2 hydrologies (sèche et humide) avec des contraintes fines (Billen et al., 2007). (iv) (○) Valeurs observées. (d'après Thieu et al., 2009)

Il a donc été possible d'explorer par modélisation Sènèque les scénarios mondiaux du Millenium Assessment. Une synthèse des contraintes et des résultats est fournie dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Indicateurs biogéochimiques relatifs au bassin de la Seine dans les 4 scénarios du MEA à l'horizon 2050. (Les valeurs en italique indiquent le % de variation par rapport à 2000)(Thieu et al, 2009)

	Global Orchestration	Adapting Mozaic	Techno- Garden	Order from Strength
Population (hab/km ²)	242 (+15%)	197 (-6%)	214 (+2%)	180 (-14%)
PIB (\$1995/hab/an)	65047 (+180%)	52642 (+127%)	58064 (+150%)	53309 (+130%)
Population urbaine (%)	84.8	84.8	84.8	84.8
Emissions d'azote				
Rejets ponctuels bruts (kgN/km ² /an)	1864 (+46%)	1449 (+14%)	1608 (+26%)	1327 (+4%)
% épuration en step	71.8	62.6	71.8	62.5
Surplus agricole (kgN/km ² /an)	3768 (-29%)	2184 (-59%)	1979 (-62%)	3619 (-31%)
Exportation à la mer (kgN/km ² /an)	1050 (-4%)	850 (-23%)	800 (-27%)	900 (-18%)
Emissions de phosphore				
Rejets ponctuels bruts (kgP/km ² /an)	386 (+24%)	295 (-5%)	332 (+7%)	270 (-13%)
% épuration en step	81.8	72.3	81.8	72.3
Surplus agricole (kgP/km ² /an)	335 (-13%)	126 (-67%)	162 (-58%)	348 (-9%)
Exportation à la mer (kgP/km ² /an)	90 (-25%)	95 (-21%)	80 (-33%)	90 (-25%)

Par rapport à des scénarios construits à partir d'une réflexion prospective basée sur les évolutions possibles du système Seine lui-même, ces résultats ont le principal intérêt de d'intégrer localement des sorties de modèles globaux, seuls capables de prendre en compte des schémas de développement dont l'emprise tend à se mondialiser. Ils offrent donc un intéressant point de comparaison avec d'autres travaux prospectifs à caractère plus local. La figure 3 remplace ainsi les résultats de flux d'azote à l'exutoire calculés par la démarche de downscaling des scénarios du MEA par rapport à une série de scénarios d'application de mesures environnementales réalisés précédemment (voir Thieu et al., rapp PIREN-Seine 2008 et Thieu et al., in press).

La voie est ainsi ouverte pour un travail plus fin de prospective prenant en compte les spécificités du bassin de la Seine tout en l'intégrant dans l'évolution économique et climatique internationale et planétaire.

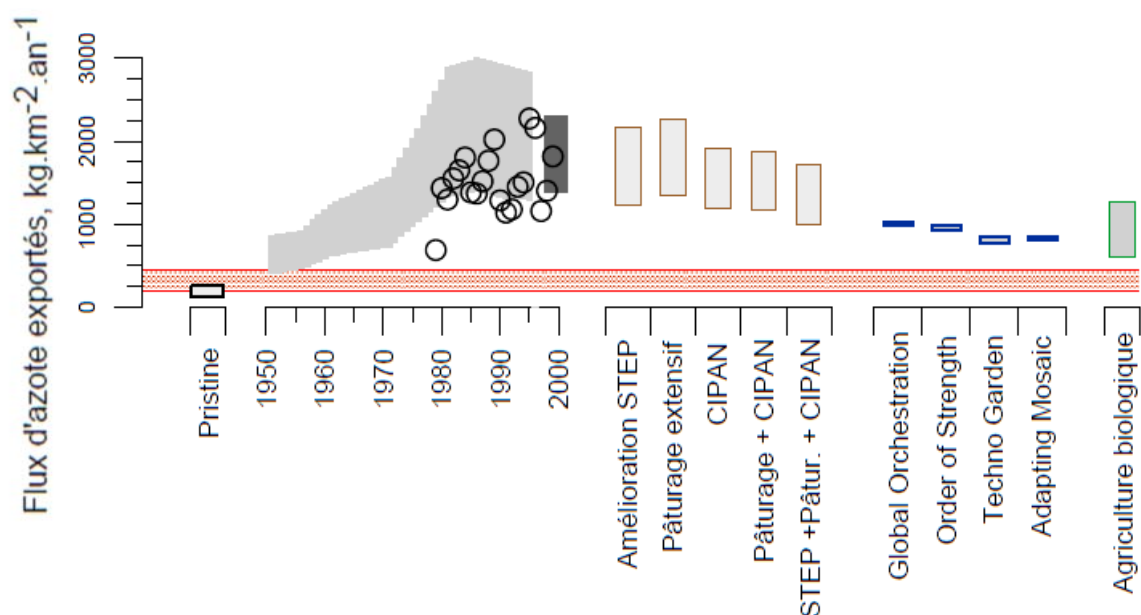


Figure 3. Flux d'azote exportés par la Seine comparés à la gamme de valeurs minimale à atteindre pour éviter les blooms algaux non désirables en zone côtière, observés ou calculés dans le passé (○)(voir Fig.2) et calculés selon divers scénarios locaux ou globaux (i) (□) Modèle Global-NEWS avec contraintes globales 2050 (Seitzinger et al, 2009) (ii) (◻) Modèle Sénèque/Riverstrahler avec divers scénarios environnementaux (d'après Thieu 2009, Thieu et al., 2009)

4 – Références

Alcamo, J., D. Van Vuuren, and W. Cramer (2006), Changes in ecosystem services and their drivers across the scenarios, in *Ecosystems and human well-being: scenarios*, edited by S. R. Carpenter, P. L. Pingali, E. M. Bennett and M. B. Zurek, pp. 279-354, Island Press, Washington, D.C.

Billen, G., Beusen, A., Bouwman, L., Garnier, J. (2010 accepted) Nitrogen autotrophy and heterotrophy of world watersheds: present, past and future trends. *Global Biogeochemical Cycles*. in press.

Bouwman, A. F., A. H. W. Beusen, and G. Billen (2009 on line), Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970-2050, *Global Biogeochem. Cycles*, doi:10.1029/2009GB003576, in press.

Garnier J., Beusen A., Thieu V., Billen G., Bouwman L. (2009, on line). N:P:Si nutrient export ratios and ecological consequences in coastal seas evaluated by the ICEP approach. Special issue "Past and Future Trends in Nutrient Export from Global Watersheds and Impacts on Water Quality and Eutrophication", *Global Biogeochemical Cycles*. doi:10.1029/2009GB003583, in press.

Seitzinger S.P., Mayorga E., Kroeze C., Bouwman A.F., Beusen A.H.W., Billen G., Van Drecht G., Dumont E., Fekete B.M., Garnier J., J.A. Harrison. (2009, on line). Global River Nutrient Export Trajectories 1970-2050: A Millennium Ecosystem Assessment Scenario Analysis. Special issue "Past and Future Trends in Nutrient Export from Global Watersheds and Impacts on Water Quality and Eutrophication", *Global Biogeochemical Cycles*. doi:10.1029/2009GB003587, in press.

Thieu, V., Garnier, J., Billen, G. (2010). Assessing the effect of nutrient mitigation measures in the watersheds of the Southern Bight of the North Sea. *Science of the Total Environment*. (in press)

Thieu, V., Mayorga, E., Billen, G., Garnier, J. (in press) Sub-Regional and Downscaled-Global Scenarios

of Nutrient Transfer in River Basins: the Seine-Scheldt-Somme Case Study. Special issue “Past and Future Trends in Nutrient Export from Global Watersheds and Impacts on Water Quality and Eutrophication”, *Global Biogeochem. Cycles*. doi:10.1029/2009GB003561, in press.

Thieu, V., Billen, G., Garnier, J., Benoit, M. (subm). Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds. *Regional Environmental Changes*. submitted