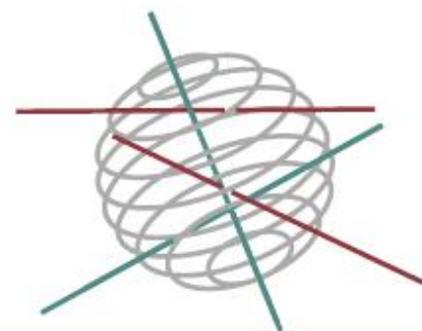


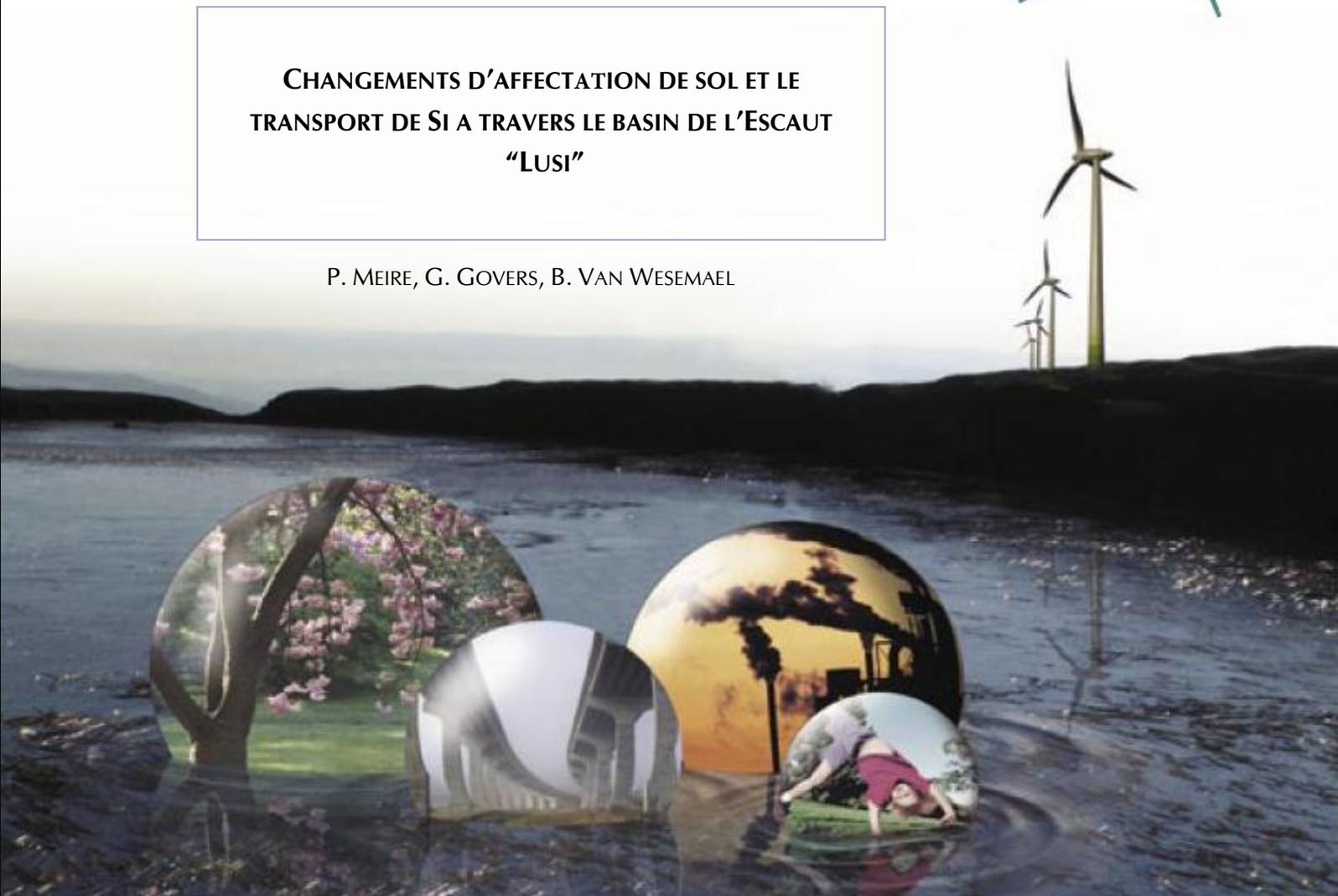
SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



CHANGEMENTS D'AFFECTATION DE SOL ET LE
TRANSPORT DE SI A TRAVERS LE BASIN DE L'ESCAUT
"LUSI"

P. MEIRE, G. GOVERS, B. VAN WESEMAEL



ENERGY 

TRANSPORT AND MOBILITY 

AGRO-FOOD 

HEALTH AND ENVIRONMENT 

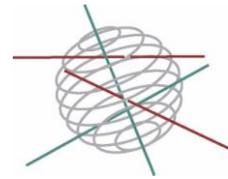
CLIMATE 

BIODIVERSITY   

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS   

TRANSVERSAL ACTIONS 

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT
(SSD)



Mer du Nord

RAPPORT FINAL PHASE 1
RÉSUMÉ

CHANGEMENTS D’AFFECTATION DE SOL ET LE TRANSPORT
DE SI A TRAVERS LE BASIN DE L’ESCAUT
“LUSI”

SD/NS/05A

Promoteurs

Patrick Meire

Universiteit Antwerpen (UA)

Gerard Govers

Katholieke Universiteit Leuven (KULeuven)

Bas Van Wesemael

Université Catholique de Louvain (UCL)

Juillet 2010



DEPARTEMENT AARD- EN
OMGEVINGSWETENSCHAPPEN
K.U. LEUVEN



Université catholique de Louvain



Avenue Louise 231
B-1050 Bruxelles
Belgique
Tel: + 32 (0)2 238 34 11 – Fax: + 32 (0)2 230 59 12
<http://www.belspo.be>

Contact person: David Cox
+ 32 (0)2 238 34 03

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference :

P. Meire, G. Govers, B. Van Wesemael . ***Changements d'affectation de sol et le transport de Si à travers le bassin de l'Escaut "LUSI"*** – Rapport Final Phase 1- Résumé. Brussels : Belgian Science Policy 2010 (Research Programme Science for a Sustainable Development

Contexte

Les concentrations en nutriments dans la mer du Nord et dans les estuaires adjacents sont le résultat final de l'apport, la rétention, la mobilisation et le transport de N, P et Si, à l'échelle du bassin versant. Traditionnellement, le phénomène d'eutrophisation est abordé comme un problème causé par l'augmentation d'apports de N et de P liée à l'activité humaine. Par contre, les concentrations en Si dissous sont majoritairement considérées comme indépendantes des activités humaines. Le transfert de Si dissous (DSi) vers les rivières a généralement été considéré comme le résultat d'un processus purement géochimique, impliquant uniquement l'altération chimique directe de minéraux présents dans le sol. Ainsi, l'émission de DSi issue de systèmes terrestres affectés par les activités humaines vers les rivières a été considérée relativement constante comparée à celle issue des systèmes naturels restés intacts. La consommation par les diatomées dans les rivières était le principal facteur utilisé pour expliquer les changements de concentrations du DSi au cours du temps. La recherche actuelle a clairement montré que le couvert végétal peut avoir un impact important sur les flux de Si au sein des écosystèmes terrestres. Il devient évident que les écosystèmes peuvent stocker une grande quantité de Si sous forme amorphe et biogénique ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ amorphe, ASi), à la fois dans le sol et dans la végétation. ASi est de loin plus soluble que Si sous forme minérale et donc, les flux terrestres de Si sont potentiellement fortement contrôlés par le biocénose. Par conséquent, les changements d'utilisation du sol et les changements concomitants du couvert végétal, ont un impact potentiel fort sur les flux de Si dans les bassins versants.

Cependant, la libération de DSi à partir de différents systèmes terrestres vers les bassins versants en regard des changements d'utilisation du sol n'a jamais été quantifiée auparavant. La connaissance actuelle est insuffisante pour quantifier comment le changement d'utilisation du sol a pu influencer le transport de Si à travers les bassins versants vers la zone côtière. Une telle information est cependant essentielle pour notre compréhension des problèmes d'eutrophisation des écosystèmes aquatiques allant de l'amont du bassin versant jusqu'à la mer du Nord. Etant donné que la libération de DSi contrebalance les effets d'eutrophisation, quantifier le rôle de l'utilisation du sol sur cette émission peut entraîner une révision des objectifs de qualité et de gestion de l'eau. En fait, l'histoire de l'émission de DSi peut avoir beaucoup plus influencé la capacité de charge pour la production primaire que ce qui est montré dans les modèles écologiques actuels. C'est en cela que cette étude est pertinente.

Objectifs

Ce projet vise à savoir si les flux de Si à travers un bassin hydrologique, et finalement jusqu'à la mer, peuvent changer suite aux modifications d'utilisation du sol. Ces changements seront mesurés pour le bassin de l'Escaut, en prenant en compte le ruissellement de surface, le drainage sub-surfacique ainsi que le rôle de la végétation dans le stockage et le transport. Les résultats obtenus seront utilisés pour évaluer l'effet des changements d'utilisation du sol sur les flux historiques de Si. De plus, le projet a pour but de formuler des recommandations d'aménagement des terres afin de réduire l'eutrophisation, en se focalisant sur les constituants Si dans les rapports nutritifs. L'étude sur le Si ainsi menée pourra alors fournir une image miroir pour le N et le P du problème d'eutrophisation, et apporter de nouveaux éléments inestimables sur le concept changeant d'eutrophisation.

Une recherche à l'échelle de l'habitat en regard de l'érosion de surface et le transport sub-surfacique du Si dissous et amorphe ainsi que des sédiments (comme indicateur du transport du Si sous forme minérale) sera menée dans différents types de paysage. A l'échelle du bassin de l'Escaut, les rivières qui drainent des sous-bassins seront échantillonnées de manière régulière pour tout ASi et DSi. Les sous-bassins échantillonnés représenteront un gradient allant d'un couvert largement forestier vers une couverture agricole. L'intégration de résultats issus à la fois d'expérimentations sur des sites spécifiques et de l'échantillonnage à l'échelle du bassin versant permettront pour la première fois de réaliser une estimation, basée sur des cartes historiques et récentes de l'utilisation du sol, du degré auquel les flux de Si vers la zone côtière ont été altérés par l'utilisation du sol, et dans quelle mesure ces changements ont été engendrés par des modifications dans les processus d'érosion, des modifications du type et de la couverture végétale, et par l'hydrologie.

Résultats et discussion

Nos résultats à l'échelle de l'habitat et d'un petit bassin versant montre que, dans des bassins agricoles, ASi est une composante importante des flux totaux de Si, ce qui diffère des bassins versants couverts de forêts. Le transport de ASi se déroule surtout lors d'événements pluvieux. L'érosion entraîne une mobilisation significative de la couche supérieure du sol et par conséquent du ASi présent dans les écosystèmes agricoles. Lors d'événements extrêmes, il existe un échange clair entre les concentrations de DSi et de ASi. ASi devient alors souvent la forme dominante du Si bio-réactif transporté dans les champs.

Au cours des deux derniers millénaires, en Flandre, comme dans presque toute l'Europe occidentale, l'utilisation du sol a été modifiée d'un paysage presque totalement recouvert par des forêts en une couverture forestière de seulement 11% ; dont uniquement 16% ont plus de 250 ans. Bien que ce phénomène soit souvent plus marqué en Flandre que dans beaucoup d'autres régions, la déforestation et la fragmentation forestière sont des problèmes globaux. En général, les changements anthropiques d'utilisation du sol accroîtront la sensibilité de la surface à l'érosion, même si cela peut fortement dépendre des pratiques de gestion et de la structure du bassin versant considéré. Nos résultats indiquent clairement que les changements d'utilisation du sol ayant un impact sur l'érosion devraient être considérés dans les changements de la dynamique de la silice. Nos placettes expérimentales sont représentatives de bassins versants dominés par l'activité agricole comme on en retrouve communément en Europe occidentale, où la déforestation et la mise en culture qui en découle, engendrent une accentuation de l'érosion de la couche supérieure du sol. La recherche récente a mis en évidence l'importance de ces sols riches en ASi comme tampons dans la biogéochimie du Si terrestre. L'extraction physique de ASi dans les couches supérieures du sol peut donc aussi avoir un impact sur la limitation du transport de DSi au travers des bassins versants: l'effet de ce phénomène reste peu étudié à ce jour.

Ceci est visible dans notre analyse des flux de silice à débit de base pour l'ensemble du bassin de l'Escaut. Nous proposons un nouveau modèle conceptuel pour les flux de Si en cas de déforestation. Les premières étapes du développement d'une forêt se caractérisent par l'émission d'une faible quantité de DSi provenant du réservoir de ASi du sol en comparaison à celle qui est annuellement ajoutée à la végétation et au réservoir de ASi du sol. Les forêts en développement créent des puits nets de DSi : malheureusement, peu d'études s'intéressent actuellement à la dynamique de Si dans les forêts en développement. Un état d'équilibre pourra éventuellement être atteint : cet état se caractérise par une croissance lente mais importante du stock de ASi dans le sol.

La végétation forestière favorise de différentes manières l'altération des silicates présents dans la roche-mère : elle augmente le contenu en CO₂ dans le sol, elle produit des acides organiques et elle stabilise la matière organique du sol. Le Si issu de l'altération est dissous (DSi) et extrait du sol par les arbres pour ensuite être déposé comme ASi phytolithes dans leur biomasse. La majorité du DSi altéré transite au travers de la biomasse avant d'être éventuellement libérée dans les rivières. Les flux éventuels de Si provenant des sols de forêts

climax sont contrôlés par la dissolution des phytolithes du sol. Avec la déforestation, la quantité de DSi provenant des sols forestiers augmente radicalement avec la dissolution des stocks en ASi. Cependant, on peut s'attendre à ce que les flux de DSi continuent à diminuer graduellement au cours du temps étant donné qu'ils seront en déséquilibre profond : la production de ASi biogénique ne compense plus la quantité totale de ASi dissous puisque la récolte des cultures empêche le réapprovisionnement du stock de ASi du sol. L'érosion du sol augmentera et ASi sera donc physiquement enlevé des sols, particulièrement durant des événements pluvieux. La croissance des flux de TSi persistera uniquement jusqu'à ce que le sol atteigne un nouvel état de culture climax, caractérisé par de plus faibles flux de TSi exportés. L'absence de végétation à racines profondes ainsi que l'absence d'une couche significative de sol organique restreint les mécanismes d'altération stimulés par la végétation.

Après la coupe d'une forêt, il est impossible d'estimer de manière exacte l'échelle de temps au cours de laquelle on s'attend à observer une augmentation des flux de TSi. La réduction des stocks de ASi dans les horizons les plus profonds du sol sera probablement incomplète : plusieurs mécanismes inhibent la mobilisation du ASi dans les couches les plus profondes du sol, incluant ainsi la re-précipitation en minéraux silicatés secondaires (e.g. allophanes, immogolite, kaolinite) et l'incorporation d'Al dans les phytolithes, rendant ces derniers moins solubles. Si une forêt est convertie en terre arable, l'érosion physique des sols emportera également le ASi, ce qui aura pour conséquence de réduire l'échelle de temps durant laquelle on s'attend à observer une exportation de DSi. Le bassin de l'Escaut a été l'une des zones les plus densément peuplées en Europe et ce déjà depuis le 13^{ème} siècle. Dès 1250, plus que 10% de la zone était couverte de forêts; initialement, le bassin de l'Escaut était presque entièrement boisé (>90%). Dans ce modèle conceptuel, l'actuel bassin de l'Escaut présente par conséquent un nouvel état d'équilibre, ce nouvel état d'équilibre résulte de la diminution ou de l'immobilisation du ASi présent dans les sols forestiers. Nos résultats soulignent la nécessité d'accroître notre compréhension quant aux impacts liés à l'utilisation du sol sur le cycle du Si biogéochimique. Suite à un millénaire de perturbations du sol causée par la déforestation, le flux de TSi provenant du bassin versant a diminué de moitié, voire du triple. Par conséquent, la zone côtière adjacente a connu des problèmes significatifs d'eutrophisation suite aux changements dans les rapports Si/P et Si/N déversés dans les rivières au cours des trois dernières décennies. Nos résultats soulignent que, localement, des facteurs contrôlant la mobilisation du Si terrestre peuvent être différents des facteurs dominants aux échelles continentales et globales comme la lithologie, les précipitations et la pente. Nous montrons

clairement que l'utilisation du sol devrait être prise en compte dans les modèles de mobilisation de la silice à l'échelle du bassin versant. Nos résultats jettent une nouvelle lumière sur la manière dont le passé agricole a affecté le cycle terrestre de la silice. Ils indiquent également une réduction anthropogénique des flux de silice à travers le continuum aquatique, s'ajoutant à des réductions importantes du transport de Si dans les rivières par sédimentation dans des réservoirs et dans les rivières ayant subi l'eutrophisation ainsi que dans les sédiments présents dans les estuaires. Pour améliorer notre concept des changements d'utilisation du sol et des dynamiques de la silice, l'élaboration de rapports germanium/silice et l'analyse de la composition en Si isotopique de l'eau des rivières peuvent être utilisées afin de tracer la source de DSi dans les rivières. Ainsi, ces techniques peuvent fournir des preuves supplémentaires quant aux différences qu'ils existent dans le contrôle biologique terrestre entre les bassins versants boisés et ceux qui sont cultivés.

Un nouveau modèle conceptuel des changements dans le cycle du Si liés à des perturbations à long-terme du sol. (1) Hypothèses sur le cycle du Si dans une forêt en développement, une forêt climax, une zone récemment déboisée et une zone cultivée stable, le stock de ASi associé (2) et l'ampleur du TSi exporté qui en résulte. En (1), les boîtes représentent les stocks de Si. Les flèches indiquent les flux : l'épaisseur des flèches est représentative de la taille des flux. Les flèches tiretées représentent les flux non pertinents. En (2), la zone pointillée représente la taille du réservoir de ASi. En (3) la taille des flèches représente l'importance relative des flux de TSi. La ligne tiretée indique l'évolution hypothétique de la taille des flux de TSi.

