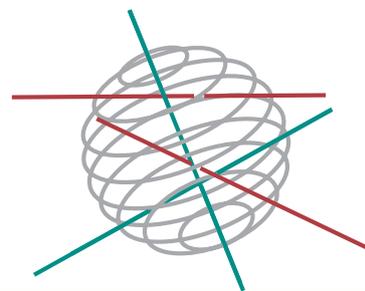
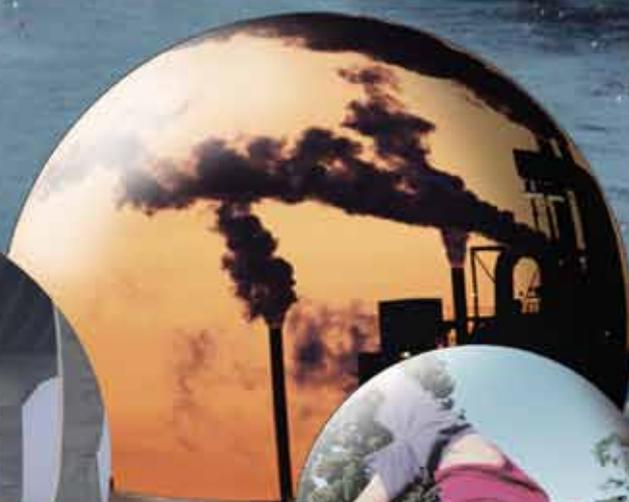


SSD

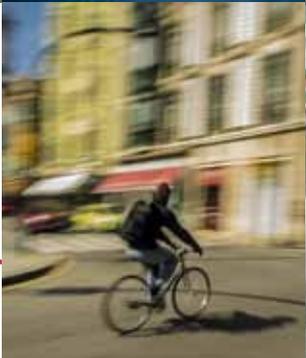
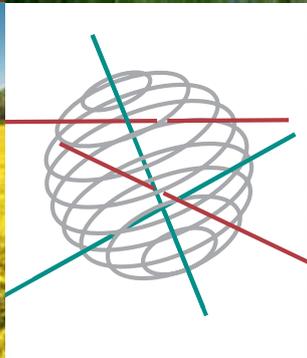
LA SCIENCE POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE

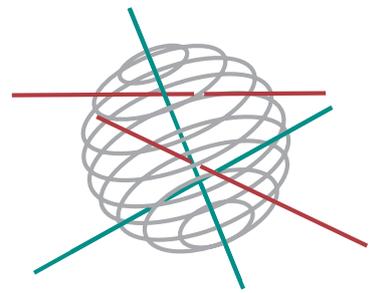


BILAN D'UN PROGRAMME DE RECHERCHE THÉMATIQUE ET MULTIDISCIPLINAIRE



.be





BILAN D'UN PROGRAMME DE RECHERCHE THÉMATIQUE ET MULTIDISCIPLINAIRE



Energie:

- utilisation rationnelle de l'énergie (URE)
- énergies renouvelables et ou alternatives
- organisation des systèmes énergétiques à moyen et long terme
- politique énergétique



Transport et mobilité:

- mobilité et choix modal
- transport et environnement
- sécurité routière



Santé et environnement:

- risques sanitaires relatifs à l'exposition biologique, chimique, physique
- l'environnement de travail



Agro-alimentaire:

- sécurité de la chaîne alimentaire
- allergies et intolérances alimentaires
- nutrition et "nouveaux aliments"
- systèmes intégrés de gestion de la qualité
- méthodes émergentes de production
- multifonctionnalité de la production



Climat (dont Antarctique):

- compréhension du système climatique
- analyse d'impact, adaptation et vulnérabilité (particulièrement en Belgique)
- support à la préparation et à l'évaluation des mesures d'atténuation de l'impact des changements climatiques



Biodiversité: (dont Antarctique et mer du Nord)



Atmosphère & écosystèmes terrestres (y compris eaux douces) et marins (dont Antarctique et mer du Nord)



Recherches transversales



Risques





SOMMAIRE

- 6 **EDITO**
- 8 ■ **ÉNERGIE** UNE FEUILLE DE ROUTE EN FAVEUR DE LA DURABILITÉ
- 18 ■ **TRANSPORT ET MOBILITÉ** LA MOBILITÉ AU PAYS DES 82 MILLIARDS DE KILOMÈTRES
- 30 ■ **SANTÉ ET ENVIRONNEMENT** EFFETS NOCIFS DES PARTICULES FINES SUR LA SANTÉ
- 40 ■ QUAND **AGRICULTURE ET ALIMENTATION** RIMENT AVEC SANTÉ
- 50 ■ **BIODIVERSITÉ & ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES ET MARINS**
- 78 ■ **CLIMAT ET ATMOSPHÈRE** LES DÉFIS DU CHANGEMENT
- 90 ■ L'APPROCHE GLOBALE PASSE PAR UNE **RECHERCHE TRANSVERSALE**
- 98 ■ **LE CLUSTERING**: UNE AUTRE MANIÈRE D'OPTIMISER DURABLEMENT LES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

EDITO

A l'heure où le développement durable (DD) constitue un enjeu majeur des politiques publiques de toute société moderne, la science, lorsqu'elle tente de s'y inscrire elle aussi, suppose l'approche multidimensionnelle par le biais de ses 3 piliers, économique, social et environnemental.

La science pour un développement durable contribue non seulement à éclairer les responsables politiques et à définir des stratégies, mais elle permet également de construire et de consolider les savoirs sur base de connaissances durables. Par ailleurs, lorsqu'elle s'inscrit dans une démarche multidisciplinaire favorisant le dialogue entre scientifiques de disciplines différentes ainsi que le dialogue avec les acteurs de terrain, elle accroît la portée de la recherche et l'impact de ses résultats.

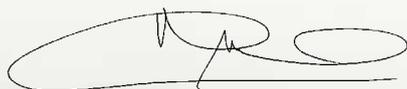
C'est dans ce contexte qu'en 2005, la Politique scientifique fédérale a mis en œuvre un Programme de recherche basé sur la "Science pour un développement durable" (SSD) et tente d'y inscrire ses priorités de recherche dans 8 domaines dont un 9ème viendra se greffer ultérieurement au départ précisément de ses recherches transversales. La Politique scientifique fédérale ayant notamment pour missions de soutenir la recherche en appui à la décision politique, le programme SSD a donc encouragé l'accompagnement de chaque recherche par un Comité d'utilisateurs pouvant à tout moment et en concertation avec les chercheurs, en orienter l'impact sur le terrain.

Ces 8-9 domaines prioritaires sont les suivants: "Energie", "Transport et mobilité", "Agro-alimentaire", "Santé et environnement", "Climat (dont Antarctique)", "Biodiversité (dont Antarctique et mer du Nord)", "Atmosphère et écosystèmes terrestres (y compris eaux douces) et marins (dont Antarctique et mer du Nord)" et "Recherches transversales" qui va générer ultérieurement un appel à projets thématique "Antarctique"; "Afrique" et "Risques naturels".

Actuellement, 103 projets de recherche en réseaux multidisciplinaires, d'une durée de 2 à 4 ans, ont été financés dans le cadre de ce programme pour un montant de 76,33 millions d'euros. Parallèlement à ces projets et, dans le cadre des mesures d'accompagnement du programme SSD visant à accroître la portée de ceux-ci, 10 clusters de projets ont été financés pour près d'1 million d'euros. La plupart d'entre eux sont aujourd'hui terminés. Cette brochure fait le bilan de ces recherches en pointant les projets phare de chaque thématique (clusters inclus). Un aperçu général de tous les projets du programme est repris en fin de brochure et l'ensemble de la Communauté scientifique concernée s'y retrouve citée parallèlement à son projet. En outre, les coordonnées de chacun sont mentionnées afin que les personnes intéressées puissent aisément les contacter.

4 journalistes ont rencontré et/ou interviewé les chercheurs dont les projets sont ici illustrés (le coordinateur, le plus souvent). Ils nous font ainsi, chacun dans leur style, le bilan du programme de recherche SSD, en y apportant les éléments d'information suivants: les principaux acquis et résultats de la recherche, les défis sociétaux sous-jacents, la pertinence stratégique/politique de la recherche, la plus-value de la recherche en termes de networking, d'internationalisation, de création/renforcement de l'expertise nationale, etc. Ces éléments forment, en quelque sorte, un fil conducteur de la présentation des projets.

Nous renvoyons le lecteur soucieux d'en savoir plus sur les projets et/ou le programme, vers le site web du programme www.belspo.be/ssd.



René Delcourt
Président du Comité de Direction a.i.







ÉNERGIE UNE FEUILLE DE ROUTE EN FAVEUR DE LA DURABILITÉ

Texte: Johan Lambrechts



Énergies renouvelables, efficacité énergétique, compteurs intelligents... autant de thématiques on ne peut plus actuelles dans notre société. BELSPO a financé une série d'études qui ont permis aux scientifiques de collaborer sur des questions pratiques en lien avec les énergies renouvelables, le changement de comportement en matière d'économies d'énergie et un nouveau modèle énergétique. Contrairement à la recherche fondamentale, ces études rassemblent des scientifiques de plusieurs disciplines en vue de formuler des réponses objectives aux questions que se posent les responsables politiques dans le domaine de l'énergie. Une intégration de toutes les connaissances technologiques disponibles, pour ainsi dire, en vue de jalonner notre progression vers l'énergie durable au cours des prochaines années.

À la recherche du meilleur mix énergétique pour l'avenir

L'indispensable réduction des émissions de gaz à effet de serre qui nous permettra de limiter le changement climatique annoncé impose de concevoir et de mettre en œuvre de nouvelles technologies. Mais comment choisir le mix énergétique idéal? Le projet TUMATIM a affiné le modèle MARKAL/TIMES, un instrument destiné à évaluer de manière cohérente et contrôlable le rôle des différents secteurs et des différentes technologies.

Jan Duerinck (VITO): "Le modèle MARKAL/TIMES est un modèle technico-économique, une sorte de banque de données technologique développée il y a trente ans et rassemblant toutes les informations technologiques relatives à notre système énergétique dans son ensemble (rendement des installations, mais aussi coûts d'investissement et émissions). L'objectif essentiel du modèle reste de soutenir la politique climatique en Belgique. L'étude BELSPO visait à affiner et raffiner le modèle, en intégrant mieux l'impact de l'incertitude et du risque dans l'évaluation de la politique énergétique et en tenant compte de l'élasticité des prix. Le modèle porte sur l'en-

semble de la production énergétique et la consommation d'énergie en Belgique. Il s'agit essentiellement, pour le secteur résidentiel et tertiaire, du chauffage des bâtiments, auquel viennent également s'ajouter le secteur des transports et les industries aux processus spécifiques énergivores, comme l'industrie sidérurgique. Le modèle requiert de très nombreuses données et informations technologiques: quelles sont les caractéristiques des technologies aujourd'hui et que seront-elles à l'avenir? Cela concerne des paramètres tant physiques comme la puissance, qu'économiques comme les investissements et les coûts variables. Et, enfin, nous introduisons dans notre base de données technologique des informations sur les émissions, et notamment les dommages engendrés par ces émissions de CO₂. La rationalisation de la consommation d'énergies est également modélisée dans ce modèle TIMES. Nous pouvons ainsi réellement étudier les choix les plus intéressants qui s'offrent aux pouvoirs publics parmi la variété d'options énergétiques pour les années à venir. Devons-nous par exemple veiller à mieux isoler les habitations? Ou devons-nous tout simplement adopter un carburant moins cher? Nous avons ainsi développé un modèle à long terme qui fournit des conclusions pertinentes sur un horizon temporel de 20 à 50 ans. Cette durée est très importante car chaque bâtiment construit aujourd'hui a, bien sûr, une incidence sur la consommation énergétique pendant des dizaines d'années. L'étude TUMATIM nous a permis de sensiblement affiner le modèle, en introduisant notamment les énergies renouvelables et les technologies de stockage. Le plus bel exemple d'applicabilité pratique est l'utilisation que nous avons faite du modèle amélioré à la demande des 4 ministères chargés de l'énergie en vue d'examiner comment la Belgique pourrait passer à une énergie 100 % renouvelable d'ici 2050. Nous avons développé 5 scénarios inventariant les coûts impliqués et les capacités

L'énergie solaire photovoltaïque, fluctuante, mais inépuisable et modulaire, est devenue "une composante incontournable des politiques énergétiques"

à installer pour les différentes énergies renouvelables. Nous avons ainsi montré que cette transition est parfaitement possible sur le plan technique à long terme, ce qui a eu importantes répercussions sur la réflexion relative aux énergies renouvelables en Flandre, notamment auprès des responsables politiques. Nous avons aujourd'hui donné plus de 20 présentations sur la question et nous préparons actuellement de nouveaux objectifs pour 2030, ce qui traduit bien l'importance de l'étude pour la politique et le secteur de l'énergie. Sans le projet BELSPO, cette étude n'aurait pu voir le jour.

De nombreuses nouvelles technologies sont actuellement envisagées, comme le "power to gas", c'est-à-dire la transformation de l'électricité produite par les énergies renouvelables en hydrogène, puis en méthane. On obtient ainsi un procédé de production entièrement renouvelable qui peut tout simplement être injecté dans le réseau de gaz existant. C'est une technologie que nous souhaitons bientôt introduire dans notre modèle, afin de pouvoir l'évaluer dans le total de l'énergie. C'est ce qui est intéressant avec le modèle TIMES: on n'en a jamais fini. On peut toujours y ajouter de nouveaux éléments. La portée internationale de l'étude est elle aussi importante. Pour notre étude, nous avons collaboré avec l'ETSAP, une partie de l'Agence internationale de l'énergie qui se concentre sur l'énergie durable. Notre collaboration avec l'ETSAP est très importante et a mené à l'amélioration constante du *source code* et du logiciel du modèle TIMES, ainsi que de la méthodologie. Par ailleurs, les résultats sont échangés au niveau international et ces expériences partagées génèrent de nombreux enseignements. La France souhaite elle aussi tester notre scénario pour une énergie 100 % renouvelable en se basant sur l'expertise que nous avons engrangée."



Une feuille de route pour les biocarburants durables

Le secteur des transports a une forte incidence sur l'environnement. Les émissions de gaz à effet de serre, de même que la dépendance au pétrole et les conséquences sur la qualité de l'air justifient une nette augmentation de la part des biocarburants dans notre pays au cours des années à venir. L'étude BIOSSES a analysé l'impact des différents scénarios d'introduction des biocarburants sur le marché dans le système de transport à court et long terme.

Luc Pelkmans (VITO): "Nous voulons savoir quelles actions concrètes la Belgique peut entreprendre au cours des années prochaines en vue d'introduire les biocarburants, en tenant compte du parc automobile actuel et de l'évolution de ce parc automobile. C'est pourquoi nous avons à chaque fois examiné la consommation énergétique, le coût et l'impact des divers biocarburants sur l'environnement tout au long de leur cycle de vie complet, c'est-à-dire pendant la croissance des cultures, la production de ces carburants ou leur utilisation finale. Nous avons tiré une



Les recommandations du projet BIOSES sur la future politique relative à la consommation énergétique dans le secteur des transports:

1. L'obligation actuelle d'incorporation de 4 % doit être progressivement accrue
2. Un soutien aux biocarburants présentant une bonne performance en termes de réduction d'émissions de gaz à effet de serre
3. Un soutien aux biocarburants innovants et avancés à court terme, malgré le fait que la contribution des biocarburants non conventionnels aux objectifs nationaux ne deviendra significative qu'après 2020
4. La promotion des mélanges à teneur élevée en biocarburants, surtout l'E85 (éthanol) et le biométhane, tant dans le domaine des véhicules compatibles que de l'infrastructure et du prix des carburants
5. L'assurance de la durabilité par une mise en place des biocarburants basée sur des données scientifiques transparentes: il s'agit d'une condition très importante pour l'acceptabilité sociale des biocarburants par le grand public



grande partie des données ayant servi à l'analyse du cycle de vie d'une base de données centrale suisse, Ecoinvent. Pour les émissions de gaz à effet de serre et la qualité de l'air, nous avons complété ces données par de nouvelles mesures des émissions des véhicules roulant avec de nouveaux mélanges de biocarburants.

Nous avons également procédé à une analyse multicritère afin de savoir quels paramètres sont actuellement importants pour les différents groupes sociaux. La durabilité est une priorité pour les pouvoirs publics alors que les utilisateurs finaux accordent une très grande importance au prix bien sûr, mais aussi à la facilité d'utilisation et à la fiabilité.

Parmi les résultats importants de l'étude, nous avons pu remettre aux pouvoirs publics des recommandations en vue de l'élaboration du plan d'action sur les énergies renouvelables à l'horizon 2020, notamment en les conseillant sur la façon d'introduire les biocarburants sur le marché: cela a donné lieu à une feuille de route pour les biocarburants en Belgique. Nous avons élaboré différents scénarios en vue d'atteindre les objectifs, chacun se concentrant sur un élément particulier. La plupart des scénarios sont valables jusqu'en 2020, mais nous avons également réalisé des extrapolations pour 2030. Un premier scénario a examiné ce qui se passerait en cas de statu quo. Un deuxième scénario visait une proportion plus élevée de biodiesel dans le diesel et de bioéthanol dans l'essence pour parvenir à une teneur de 10 %. Dans divers autres scénarios, nous nous sommes concentrés sur le soutien aux biocarburants à teneurs élevées, sur l'introduction des véhicules au biogaz ou sur le soutien aux biocarburants de deuxième génération. Il s'agit de biocarburants qui n'en sont encore qu'à leurs balbutiements, mais qui ne dépendent pas des cultures vivrières comme c'est encore le cas aujourd'hui. Ils sont donc essentiellement produits à partir de résidus tels que paille, fibres, herbe, bois et déchets. Nous avons également examiné le rôle éventuel des véhicules électriques.

Je suis heureux de pouvoir affirmer que nos recommandations ont été prises en compte dans le plan d'action des pouvoirs publics belges. Cette étude BELSPO est donc arrivée à point nommé. Durant l'étude, un groupe de pilotage composé de différentes parties prenantes et différents secteurs, tels que l'industrie des biocarburants, le secteur des carburants fossiles, les constructeurs automobiles et le secteur agricole, s'est régulièrement réuni. Au niveau politique, différents représentants ont également été impliqués, au niveau tant fédéral que régional. Ces participations se sont

révélées très utiles, car nous avons reçu des retours aux différentes étapes de notre étude. Notre étude a délivré des conclusions très concrètes sur la façon d'intégrer les biocarburants dans le parc automobile belge, comparables à celles d'un exercice réalisé au niveau européen."

Équilibrage de l'énergie éolienne

L'éolien peut contribuer significativement à la réalisation des objectifs belges fixés par la Commission européenne dans le domaine des énergies renouvelables. Mais quel sera l'impact de cette quantité croissante d'énergie éolienne sur le réseau électrique actuel et futur? Quelles sont les limites économiques et techniques? Et comment pouvons-nous éviter de compromettre la sécurité de l'approvisionnement? L'étude WindBalance a identifié et analysé ces barrières et a examiné la problématique.





Professeur Johan Driesen (KUL): “Notre étude s’est déroulée en trois étapes. Premièrement, nous avons adopté une approche *bottom up* pour examiner comment une seule turbine dans un parc éolien se comporte sur le marché de l’électricité. L’énergie éolienne est en effet peu prévisible et des réserves supplémentaires doivent donc être achetées de temps à autre, ce qui a une incidence sur le prix d’achat. Ensuite, nous avons adopté une approche *top down* et examiné comment le système électrique existant se comporte si l’on se met à raccorder de plus en plus d’énergie éolienne. Lors de la troisième étape enfin, nous avons réuni ces deux aspects et élaboré plusieurs scénarios consistant à intégrer de plus en plus d’énergie éolienne au système global: entre 4 et 5 gigawatts, le chiffre prévu par le plan belge en matière d’énergies renouvelables pour 2020. Pour tous ces modèles, nous avons pris en compte les exigences techniques du réseau, la capacité du réseau de transmission, les propriétés statistiques de l’éolien, la variabilité de la consommation et de la production ainsi que certains paramètres économiques tels que les coûts de production pour l’électricité sur le marché libéralisé.

L’étude WindBalance nous a permis de mettre en avant plusieurs problèmes rencontrés par le réseau électrique. Certaines choses que nous avions prédites dans l’étude sont soudain devenues réalité lors du raccordement des parcs éoliens offshore au réseau. Comme un manque de capacité du réseau pour amener l’électricité produite jusqu’aux consommateurs. Il est clair aujourd’hui que nous devons utiliser de manière beaucoup plus dynamique la centrale de pompage de Coe, une centrale d’accumulation qui pompe l’eau la nuit pour la déverser le jour, afin d’équilibrer l’énergie éolienne. Mais cette étude multidisciplinaire a également livré des résultats intéressants sur le plan économique, car nous avons tenté de réaliser une quantification de tous les coûts

du aux réserves supplémentaires qu’il nous faudra constituer pour compenser les erreurs de prévision associées à l’énergie éolienne. Une fois que nous avons eu connaissance de ces corrections pour chaque saison, chaque semaine et chaque week-end, nous avons pu estimer la quantité de capacité de réserve à acheter sur le marché de la réserve et le prix que cela peut coûter. Ces informations nous ont permis de contribuer à la poursuite du développement du marché de l’équilibrage en élaborant un système d’achat de la capacité de réserve afin de compenser tous ces écarts. Pendant l’étude, nous étions déjà en contact avec la commission de régulation de l’électricité et du gaz (CREG) et avec le gestionnaire de réseaux Elia afin de développer ensemble des algorithmes permettant de définir avec plus de précision la capacité de réserve nécessaire. Nous avons ainsi pu examiner comment utiliser un large parc éolien à Estinnes (Hainaut) afin de fournir une capacité de réserve. Grâce à des démonstrations, le régulateur connaît désormais avec exactitude les possibilités offertes par cette technologie et il sait également comment adapter la réglementation pour concrétiser cette technique.

Les résultats de cette étude BELSPO permettront aux responsables politiques de prendre les mesures nécessaires en vue d’accroître le potentiel de l’énergie éolienne. C’est ce qui est, à mes yeux, unique avec cette étude: c’était une recherche fondamentale technique, mais agrémentée d’une bonne dose de politique. Il n’est pas fréquent que des ingénieurs aient ainsi l’occasion de jouer un rôle important avec une recherche d’appui à la politique. On peut considérer la technologie comme quelque chose de purement technique, mais ce n’est plus possible dans le domaine de l’énergie. Les conséquences pour notre société sont plus lourdes que jamais. En cas de black-out, nous courrons tout simplement à la catastrophe. Le marché de l’énergie doit se réinventer.

La sécurité de l'approvisionnement énergétique et l'incidence sur le changement climatique sont des défis majeurs aujourd'hui ...

ter grâce à quelques décisions politiques récentes, comme la libéralisation du marché de l'énergie, l'introduction des énergies renouvelables et la garantie de la sécurité d'approvisionnement. Il faut commencer par tout repenser. Ce projet nous a permis de collaborer à l'échelle internationale et la Commission européenne nous a contactés pour réaliser une étude supplémentaire visant à extrapoler nos conclusions dans le contexte européen. Grâce à WindBalance, nous pouvons également réaliser plusieurs projets de suivi dans le cadre du projet EIT KIC InnoEnergys, un réseau européen de programmes technologiques. Avec ce projet BELSPO, nous avons donc établi une très belle base nous permettant de lancer d'autres projets plus axés sur la pratique."

Les meilleurs instruments pour faire des économies d'énergie

La progression de la consommation d'énergie en Belgique et en Europe constitue une véritable gageure, notamment en ce qui concerne la sécurité de l'approvisionnement et, bien sûr, l'incidence sur le changement climatique. Les énergies renouvelables seules ne suffiront pas à relever ce défi et c'est la raison pour laquelle les économies d'énergie ont un rôle essentiel à jouer dans ce problème. Les ménages présentent un potentiel considérable en la matière, mais pour ce faire, il est indispensable qu'ils modifient leur comportement. Le projet INESPO a cherché la meilleure manière de les amener à changer.

Professeur Marek Hudon (ULB): "Jusqu'à présent, les politiques ont surtout visé l'amélioration de l'efficacité énergétique des habitations et des appareils ménagers. Cependant, de nombreuses études mettent en évidence le rôle essentiel du comportement des consommateurs pour arriver à réaliser des économies d'énergie. Dans cette étude, nous avons mis





l'accent sur les facteurs humains, et plus particulièrement sur les instruments qui existent déjà pour modifier et récompenser ce comportement, comme les certificats blancs (*white certificates*) et les monnaies complémentaires (*complementary currencies*) reçues en récompense et pouvant être échangées contre des monnaies ordinaires. L'objectif était de mettre en place un système vraiment innovant d'instruments favorisant les économies d'énergie des ménages en intégrant ces deux ingrédients différents. Le projet a également ceci d'unique qu'il associe pour la première fois ces instruments à des systèmes de compteurs intelligents (*smart meters*), qui enregistrent la consommation de gaz et d'électricité pour l'attribution des monnaies complémentaires, mais qui peuvent également nous fournir des informations sur la quantité d'énergie économisée. Le changement de comportement recherché peut ainsi être évalué de manière idéale. L'étude englobait aussi bien l'élaboration technique que pratique de ces instruments, afin de déterminer leur acceptabilité sociale. Cette étude était très interdisciplinaire, puisque des scientifiques de différents domaines ont travaillé ensemble avec

intensité. Des ingénieurs spécialisés dans les composants technologiques des compteurs intelligents aux sociologues qui se consacraient aux facteurs pouvant améliorer l'acceptabilité sociale de ces compteurs intelligents en passant par des économistes qui, comme moi, ont analysé les répercussions économiques. Jamais un projet interdisciplinaire de cette ampleur n'avait été mis sur pied auparavant. Par ailleurs, l'aspect "durabilité" a joué un rôle important.

Bon nombre de ces systèmes visent en effet la réduction des émissions, comme c'est le cas du projet Torekes mis en place dans un quartier de Gand ou l'e-porte-monnaie au Limbourg, un système électronique d'économie et de récompense.

Sur la base d'une analyse qualitative et quantitative des sociologues, nous avons testé un nouveau système d'énergie intelligent qui associe, d'une part, les monnaies complémentaires à des compteurs intelligents et, d'autre part, les certificats blancs aux compteurs intelligents. Nous avons ainsi établi deux modèles clés: un basé sur la récompense des utilisateurs en fonction des ampères consommés

Symbole d'efficacité énergétique



Monnaies complémentaires et certificats blancs: qu'est-ce que c'est?

- * **Monnaies complémentaires:** elles représentent une unité de valeur qui peut être échangée à l'instar des devises officielles. Au niveau local, elles sont un puissant instrument de motivation pour modifier les comportements, souvent dans le but d'atteindre un certain objectif social ou économique.
- * **Certificats blancs:** documents échangeables qui certifient qu'une réduction de la consommation d'énergie a été réalisée.

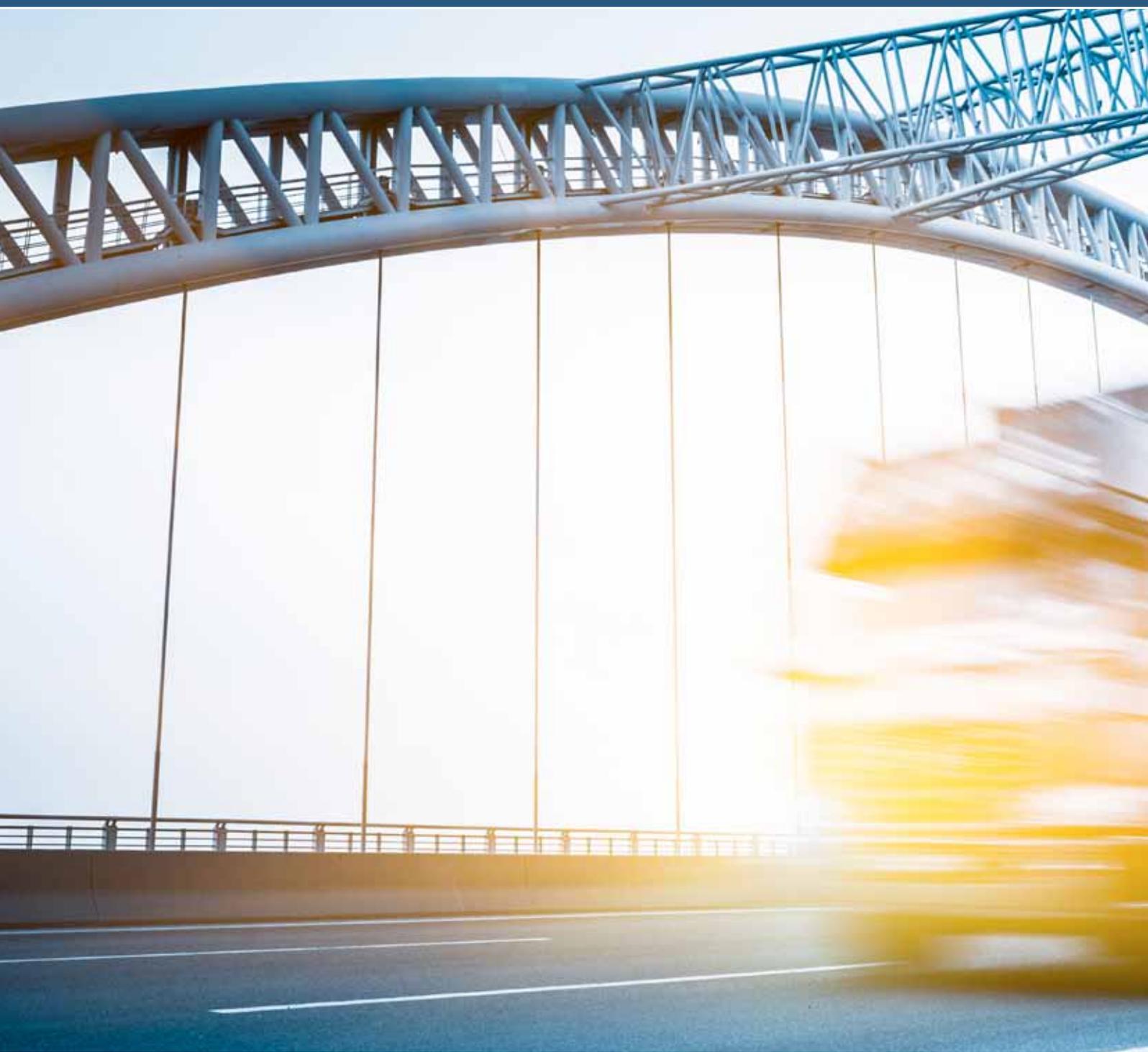
(rewarding). Dans l'autre modèle, plus régulateur, les consommateurs étaient *obligés* d'atteindre plusieurs objectifs énergétiques (*regulatory*). Les conclusions de l'étude sont claires. Le modèle régulateur est clairement le plus efficace, parce que les consommateurs sont obligés de faire des économies. Mais dans le même temps, l'acceptabilité sociale est beaucoup plus faible qu'avec l'autre modèle. Nous avons également effectué une étude empirique auprès des usagers et examiné à travers des entretiens quels instruments ceux-ci considéraient comme susceptibles de modifier leur comportement. Cela a permis de modifier certains éléments du système afin que les compteurs intelligents soient mieux acceptés. Il est en effet inutile de concevoir un système s'il n'est pas appliqué ou s'il est ignoré par les

usagers. Ces conclusions pourront être prises en compte par les pouvoirs publics lors de la conception d'une politique efficace et de mesures en matière d'économies d'énergie.

Cette étude BELSPO est unique, car elle a rassemblé différentes disciplines au sein d'un même projet. C'est rarement le cas avec les autres études. Les études scientifiques se limitent en effet souvent à une seule discipline et l'évaluation se fait souvent au sein de la même discipline et par des confrères. Il en allait tout autrement ici et j'en suis ravi. En matière de réseautage aussi, ce projet s'est révélé particulièrement intéressant. Il nous a permis de travailler avec Gill Seyfang de l'université d'East Anglia, un expert international dans le domaine de la consommation durable qui a fait partie du comité de suivi de notre étude. Les Britanniques sont réellement à la pointe dans le domaine des monnaies complémentaires en Europe. L'instrument innovant que nous avons conçu a suscité beaucoup d'intérêt parmi eux."



Le compteur électrique intelligent permet le contrôle des ampères consommés et ainsi de faire des économies d'énergie.





TRANSPORT ET MOBILITÉ

LA MOBILITÉ AU PAYS DES 82 MILLIARDS DE KILOMÈTRES

Texte: Christian DU BRULLE



La mobilité des Belges analysée sous l'angle des voitures de société, de leurs habitudes hebdomadaires et au fil de leur(s) déménagement(s)

Les transports et la mobilité constituent un des maillons indispensables du développement économique. Dans le même temps, ce secteur a également une influence énorme sur l'environnement et sur la qualité de vie des gens.

Les projets de recherche scientifique soutenus en matière de transports et de mobilité par le programme SSD visaient notamment à réduire la tension entre l'augmentation des besoins de mobilité et les problèmes sociaux, économiques et environnementaux qui y sont couplés.

Treize projets ont été financés dans ce cadre. Ils concernent des volets aussi variés que les véhicules propres, les biocarburants, les habitudes de mobilité des habitants du pays, le transport de marchandises, la modélisation des flux... Souvent, des passerelles ont également été lancées vers d'autres projets de recherche du programme SSD, notamment en ce qui concerne la problématique de l'énergie, de la santé et de l'environnement (voir SHAPES pg. 35).

Dans notre pays, ces domaines de recherches revêtent une importance toute particulière. La dernière étude (2012) du SPF Mobilité et Transports permet de fixer l'ampleur des défis en la matière.

Au cours de l'année 2010, les voitures belges ont parcouru quelque 82,6 milliards de kilomètres, indique ce rapport. Un record absolu souligne le SPF Mobilité et Transports qui précise aussi que les belges roulent en moyenne 15 % de kilomètres en plus par an que la moyenne européenne. Ce qui équivaut à 20 % de plus qu'un français et 24 % de plus qu'un néerlandais. En 2010, une voiture belge roulait en moyenne 15 649 km.

A l'Université de Namur, on développe depuis des années une indéniable expertise en ce qui concerne la mobilité des personnes. Dans le cadre du programme SSD, Eric Cornélis, du Groupe de Recherche sur le Transport (GRT), a assuré (avec le Pr Philippe Toint, devenu depuis vice-recteur à la Recherche) la coordination de trois projets s'intéressant spécifiquement à la mobilité des personnes dans le pays.

Ces projets exploraient cette problématique à travers trois thématiques spécifiques: l'usage de la voiture de société, les habitudes de déplacement d'une population urbaine tout au long d'une semaine ainsi que les motivations et les implications des déménagements d'une commune à une autre.

Voitures de société: trois profils

"Le projet PROMOCO (Mobilité professionnelle et voitures de société) s'intéressait aux comportements des personnes bénéficiant d'une voiture de société", commente le Pr Cornélis. "Nous voulions en apprendre davantage sur l'impact que la mise à disposition d'une voiture de société pouvait avoir sur la mobilité des individus ainsi que sur les motivations des entreprises qui proposent ce type d'avantages à leurs employés". Pour les entreprises, c'est clairement l'avantage fiscal qui est intéressant dans cette formule. Plutôt que d'augmenter le salaire des employés qu'elles aimeraient fidéliser ou récompenser, le recours à la voiture de société est une pratique moins coûteuse.

"Pour les employés bénéficiant d'un véhicule de société, nous avons pu distinguer trois profils", précise le chercheur. "Soit il s'agit de personnes qui en ont un réel besoin pour assurer leurs multiples déplacements professionnels, soit nous rencontrons des employés qui utilisent quasi uniquement ce véhicule de société pour leurs trajets entre leur domicile et leur lieu de travail. Une troisième catégorie de bénéficiaires

est également présente: celle des personnes qui n'utilisent ce véhicule qu'à des fins quasi exclusivement privées".

Les chercheurs tirent quelques enseignements socio-économiques intéressants de leur étude, même, si comme l'indique volontiers le Dr Cornelis, ils ont été handicapés dans leurs travaux par un manque d'accès à une banque de données exhaustives en ce qui concerne les véhicules de société. Le fichier du Ministère des Finances (impôts sur le revenu) leur aurait été bien utile en la matière. Les chercheurs n'ont cependant pas pu le consulter. C'est donc par des voies détournées qu'ils ont alimenté leur étude, notamment via les listes de véhicules immatriculés au nom de sociétés à la Division de l'Immatriculation des Véhicules (DIV).

Deux fois plus de kilomètres par an qu'un conducteur moyen

PROMOCO révèle ainsi une disparité Nord-Sud en Belgique. C'est principalement en Flandre que les voitures de société ont la cote. Les bénéficiaires sont essentiellement des hommes, plutôt d'un niveau d'éducation supérieure, relativement jeunes (entre 24 et 40 ans) et occupant une fonction de management.

En général, les personnes qui disposent d'une voiture de société utilisent leur véhicule pour effectuer 94 % de tous leurs déplacements alors que les autres employés, dépourvus de voiture de société, n'utilisent généralement leur propre véhicule que pour assurer 80 % de l'ensemble de leurs déplacements.

Pour en revenir aux trois catégories de bénéficiaires de voitures de société, l'étude montre qu'en moyenne, les employés qui l'utilisent pour effectuer de nombreux déplacements professionnels "roulent" 37.600 km par an. Leurs collègues qui n'utilisent la voiture de société que pour se rendre au travail et rentrer à la maison ne parcourent que 32.000 km par an alors que



les employés qui ont essentiellement un usage privé de ce type de voitures roulent 22.400 km/an, à peine. Ce qui reste bien supérieur à l'utilisation annuelle moyenne d'une voiture privée en Belgique (15.649 km en moyenne, selon les chiffres du SPF Mobilité et Transports).

Une semaine à Gand et dans sa région

Le projet BMW (Comportements de mobilité hebdomadaires), également coordonné par les chercheurs de Namur, tentait pour sa part d'y voir plus clair en ce qui concerne la mobilité des personnes au quotidien et ce sur une période d'une semaine, "alors qu'habituellement ce type de recherches se limite généralement à une journée", commente le Dr Cornelis.

"BMW nous a permis de faire des comparaisons d'un jour de la semaine à l'autre par exemple et de croiser nos observations avec des mesures en temps réel du trafic routier en ville et en périphérie".

C'est la ville de Gand et ses abords qui ont été étudiés dans le cadre de ce projet. "Nous nous sommes adjoints la collaboration de l'ETH de Zurich, en Suisse, où le Professeur Kay Axhausen est spécialisé dans ce type d'études de longue durée. Il a réalisé une recherche similaire en Suisse sur une période de six semaines".

Les chercheurs de la KUL, également impli-

En général, les personnes qui disposent d'une voiture de société utilisent leur véhicule pour effectuer 94 % de tous leurs déplacements contre 80 % pour ceux qui n'en possèdent pas...



qués dans ce projet, ont notamment travaillé sur les algorithmes qui ont permis de comparer les comptages journaliers du trafic gantois avec diverses modélisations. Les résultats? Une nette corrélation a été établie entre ce que les personnes interrogées déclaraient sur leurs demandes en matière de mobilité et les comptages effectifs du trafic réalisés sur le terrain. Ce qui conforte la pertinence des modélisations développées dans ce cadre.

Quand déménage-t-on, pourquoi et avec quelles implications?

Enfin, le projet MOBLOC (Mobilité et choix de localisation à long terme en Belgique) a porté sur la mise au point d'un modèle de population permettant de prévoir quand, comment et où les citoyens changent de communes au cours de leur vie.

Le modèle développé par les équipes de l'Université de Namur, de l'Université Catholique de Louvain et du CEPS (Centre de recherche de référence au Grand-Duché de Luxembourg dans le domaine de la recherche en sciences sociales) a notamment été alimenté en données spatiales mais aussi de variables portant sur les circonstances de la vie (naissances, décès, mariage, départ à la retraite...) ainsi que d'indi-

Embouteillage et embarras de circulation sont le lot d'un bon nombre d'individus qui se rendent quotidiennement sur leur lieu de travail en voiture.

À noter encore: les données collectées pendant cette recherche ont depuis été réutilisées dans d'autres études. Et l'expertise développée par les partenaires belges dans BMW a été depuis mise à profit dans des études similaires réalisées et financées par/à l'étranger, notamment en France, à Lyon.



Quand et pourquoi se déplace-t-on en Belgique?

La mobilité en Belgique est une thématique en perpétuelle évolution. Depuis plus de vingt ans, la Politique scientifique fédérale soutient des projets de recherche dans ce domaine. La dernière étude de mobilité générale, le rapport BELDAM (2010), précise qu'outre les "retours à la maison" (40% des déplacements), ce sont les trajets vers le lieu de travail, avec le shopping, qui constituent l'essentiel des déplacements des habitants du pays.

Distribution des motifs de déplacements en Belgique

- 40% Retours à la maison
- 12% Travail
- 12% Shopping
- 8% Accompagnements de tiers, déposer, aller chercher quelqu'un
- 7% Visites familiales, amicales
- 5% Scolaire/formation
- 5% Loisirs, sport, culture
- 3% Accès aux services (médecins, banques etc.)
- 2% Déplacements professionnels
- 2% Se rendre au restaurant
- 2% Se promener
- 2% Autres raisons

(Le rapport complet est accessible à l'adresse www.beldam.be)

Les véhicules propres sur la ligne de départ

cateurs divers comme les services disponibles dans les communes de destination, la présence d'espaces verts, l'accessibilité de ces communes etc. Bref, ce modèle permet de déterminer l'implication que cette mobilité résidentielle peut avoir sur la mobilité quotidienne des gens.

“Avec MOBLOC, nous avons mis au point un nouvel outil”, se réjouit le Dr Cornélis. “Malheureusement, nous n'avons pas pu le faire évoluer dans le temps, afin de prévoir par exemple les mouvements de populations dans dix ou vingt ans. Mais l'outil existe et il est désormais à la disposition des pouvoirs publics”.

Trois recherches, trois éclairages précieux

Outre des informations ponctuelles livrées par ces trois projets, les travaux des chercheurs ont aussi débouché sur certaines modélisations des comportements de la population.

“Ces études s'inscrivent dans notre expertise générale d'analyses désagrégées des demandes de transports”, relève Eric Cornelis. “Cela nous permet d'affiner diverses modélisations en matière de transports dont les pouvoirs publics pourraient se saisir dans le cadre d'études prospectives subséquentes ou pour adapter certaines politiques. On pense par exemple à la question des voitures de société, de leur impact sur la mobilité générale, etc.”.

Plus globalement, l'expertise belge en la matière s'en est également trouvée améliorée, grâce à la collaboration avec des partenaires suisse et luxembourgeois par exemple.

“Depuis la fin de ces projets, nous sommes impliqués dans des études similaires et complémentaires réalisées à l'étranger et soutenues par des financements étrangers”, conclut le mathématicien namurois.

Y a-t-il de l'électricité dans l'air? A la Vrije Universiteit Brussel (VUB), force est de constater qu'elle est plutôt cantonnée dans des moteurs et des batteries de véhicules de moins en moins alternatifs: vélos électriques, voitures électriques, quadricycles électriques, camions électriques... Hybrides ou exclusivement électriques, ces engins connaissent un succès grandissant.

“Depuis les années 1970, nous sommes en effet à la pointe en matière de recherches sur ce type de propulsion”, concède le Professeur Joeri van Mierlo, qui co-dirige le groupe de recherche MOBI (Mobility, Logistics and Automotive technology research Centre) avec le Professeur Cathy Macharis.

Le groupe MOBI est spécialisé en mobilité et logistique durable. Il aborde les défis rencontrés par le secteur du transport en proposant une approche qui combine l'ingénierie, l'économie, l'étude des réglementations, la sociologie et les sciences environnementales. Riche d'une cinquantaine de chercheurs, le groupe MOBI a été impliqué dans plusieurs projets du programme SSD. “Nous sommes leader en électro-mobilité, mais également dans la réalisation d'études socio-économiques traitant de la logistique urbaine, des transports intermodaux et des comportements des usagers des services de transports.” Le groupe a également de nombreuses références dans des projets liés à la sécurité routière et à l'analyse des accidents de la route.

“Ces projets portaient sur des questions de mobilité et de transport, bien entendu, mais aussi sur les questions de ressources énergétiques, de pollution, d'économie”, précise le Pr Van Mierlo.

Ces problématiques ont été abordées de près ou de loin dans les projets CLEVER, Trans-



2House, ESTIMATE, DSSITP, BIOSES, Night-Time Delivery: des projets qui ont bénéficié de la multidisciplinarité développée par le groupe de la VUB.

Cycles de vie et décisions politiques

CLEVER est un projet coordonné par le Pr Van Mierlo. Il portait sur les véhicules propres et l'analyse de leur cycle de vie. Différents scénarios ont été explorés. Les voitures électriques sont-elles plus intéressantes que les véhicules thermiques? Dans quelles conditions, Pour qui et pourquoi? La qualité de l'environnement sera-t-elle durablement préservée par l'introduction massive de tels véhicules?

Pour répondre à ces questions, les émissions de polluants et de consommation énergétiques induits à chaque phase de la vie de ces véhicules ont été prises en considération par les chercheurs (extraction, transport et transformation des matières premières nécessaires à la construction du véhicule, extraction et/ou production de l'énergie nécessaire à son fonctionnement, émissions liées à l'utilisation du véhicule, soutiens publics, taxation, recyclage...). De même, ils se sont aussi penchés sur la question des coûts financiers totaux pour les consommateurs (achats, entretiens, énergies, etc.).

Les problèmes étudiés par l'équipe étaient nombreux. Leurs travaux ont débouché sur l'élaboration d'outils de comparaison entre différents types de véhicules (électriques, hybrides, alimentés par des biocarburants, des énergies fossiles classiques, du gaz naturel, du LPG...) mais également de prévision des coûts totaux engendrés par la possession et l'utilisation de l'un ou l'autre de ces véhicules.

Impacts environnementaux, logistique urbaine et biocarburants

Les projets auxquels l'équipe a participé ont bénéficié de l'expertise d'autres spécialistes de la mobilité dans le pays. Le projet ESTIMATE (Évaluation des impacts environnementaux et analyse des choix comportementaux en faveur d'un transport multimodal), dirigé par Geert Wets (Universiteit Hasselt), rassemblait les compétences de la VUB et de l'Université Libre de Bruxelles (Centre de recherche urbaine). DSSITP, dirigé par le Pr Macharis (VUB), comprenait pour sa part une équipe de Mons (Fucam) et de l'université d'Hasselt (voir encadré pg. 26).

De même, Trans2House (Transition pathways to efficient (electrified) transport for households), dirigé par le Pr Van Mierlo, et BIOSES (Utilisation durable des biocarburants) dirigé par le VITO, l'Institut flamand de recherche technologique, incluaient l'expertise de partenaires comme le Centre Urbain (Bruxelles) ou encore l'Unité d'écophysiologie et amélioration végétale de l'Université catholique de Louvain (UCL).

Le Pr Van Mierlo souligne volontiers que c'est précisément grâce à des projets de recherche de ce genre que les connaissances de pointe belges dans ces domaines ont pu se développer et trouver un écho bien au-delà de nos frontières.

“Pour notre groupe, les choses sont claires”, explique-t-il. “Ces différents programmes de recherche fédéraux nous ont permis de développer notre expertise dans le domaine de la mobilité, de la technologie des véhicules électriques et hybrides, mais aussi dans le domaine socio-économique”. Le projet Night-Time Delivery a permis d'étudier les avantages, tant économiques, sociétaux, qu'environnementaux, offerts par les livraisons en ville effec-



tuées hors heures de pointe. Les acteurs privés et publics, ainsi que les citoyens, étaient placés au cœur de l'étude grâce à l'utilisation de l'outil d'aide à la décision développé par le Pr. Macharis (MAMCA: Multi-Actor Multi-Criteria Decision-Making software).

“Grace à BIOSSES et CLEVER, nous avons pu développer notre groupe à la VUB en combinant deux équipes mêlant les compétences des ingénieurs et celles des économistes. Cette multidisciplinarité nous a mutuellement renforcés. De ce fait, notre expertise et notre visibilité ont été décuplées, en Belgique comme à l'étranger. Nous sommes aujourd'hui impliqués dans quinze programmes de recherche européens, dont un comme coordinateur”.

Autre acquis de ces programmes: la mise au point de divers modèles en matière de transport et de mobilité. Des modèles qui sont depuis utilisés par différents niveaux de pouvoirs dans le pays. “Le SPF Economie nous a demandé de participer à l'élaboration d'un plan cadre (master plan) en ce qui concerne la mobilité électrique dans le pays”, reprend l'ingénieur. “Nous avons réussi à travailler et à mettre d'accord treize partenaires publics et privés autour de ce plan qui désormais peut servir de cadre de références et d'aide à la décision pour les pouvoirs publics / politiques”.

“Nous sommes également impliqués dans plusieurs volets du programme de recherche du gouvernement flamand qui porte sur le suivi de quelque 800 véhicules électriques de divers types pendant trois années”, poursuit-il. “Et pour citer un dernier exemple, je signalerais aussi que nous avons été sollicités par un des électriciens du pays (Electrabel) afin de modéliser au mieux l'impact qu'une électrification du transport en Belgique pourrait avoir sur la production, la distribution et le coût de l'énergie dans le pays”.

Tiercé gagnant

“L'acquis principal de DSSITP est d'avoir réussi à développer et combiné trois modèles qui sont désormais devenus des aides à la décision politique”, souligne le Pr Macharis.

Il s'agit des modèles Nodus, Lambit et Simba. Nodus simule l'évolution du trafic de marchandises dans le temps. Lambit est un outil de simulation de la zone que desservirait à terme un nouveau terminal intermodal tandis que Simba livre des informations localisées sur l'utilisation des voies navigables, leur saturation, etc.

La combinaison de ces modèles est également “exportable”. “Nodus a clairement des visées européennes”, conclut le Pr Macharis. “Et Lambit pourrait également déborder efficacement de nos frontières”.



Le transport multimodal est au cœur des exportations, de l'attractivité et de l'activité en Belgique. Le transport fluvial de marchandises y joue un rôle essentiel d'efficacité économique respectueux de l'environnement

Quand les marchandises prennent le train (et le bateau)

Pour faire voyager les marchandises de la manière la plus efficace possible en Belgique (et vers les pays voisins), la question du mode de transport le plus adapté se pose régulièrement. Le Professeur Cathy Macharis, de la Vrije Universiteit Brussel (VUB), a travaillé sur cette thématique dans le cadre du projet DSSITP (Decision Support System for Intermodal Transport Policy).

“Nous avons concentré nos recherches sur le transport des containers”, indique-t-elle. “Et ce en nous concentrant sur deux modes de transport: fluvial et ferroviaire. Le projet a permis de mettre en carte et de modéliser les flux de marchandises dans le pays et de délimiter les zones de distribution/de marchandisation de chaque terminal intermodal”.

Les recherches menées dans le cadre de DSSITP pointent certaines zones très denses en matière d'intermodalité, en Flandres notamment, du côté de la frontière française.

Les modèles développés permettent aussi de simuler les éventuels points de ralentissement des flux liés aux infrastructures disponibles (passages d'écluses, par exemple) ou encore de déterminer où les problèmes pourraient se poser à l'avenir en fonction du développement de ces modes de transports.



La modélisation au chevet de la mobilité future dans le pays

Comment nous déplacerons-nous dans vingt ans en Belgique? Comment le secteur des transports évoluera-t-il d'ici là en fonction du vieillissement de la population, des nouvelles habitudes des jeunes conducteurs, de l'évolution du prix des carburants, mais aussi des politiques et des mesures prises par les pouvoirs publics? A quoi pourraient ressembler nos réseaux routiers, fluviaux, ferroviaire en 2030?

Pour répondre à ces questions, il faut passer par la mise en équation des multiples paramètres entrant en ligne de compte dans cette problématique et élaborer de nouveaux outils prédictifs performants.

C'est là l'approche privilégiée par les chercheurs des projets LIMOBEL (Effets à long terme de politiques et mesures sur la mobilité en Belgique), ISEEM (Développement d'un cadre de modélisation spatio-économico-environnemental pour l'analyse de politiques et mesures durables) et PROLIBIC (un "cluster" regroupant les expertises de différents projets entrant dans la thématique "transport et mobilité" du programme SSD, soit Promoco, Limobel, Bioses et Clever).

LIMOBEL Mesurer l'impact de politiques à long terme sur la mobilité en Belgique

"Avec LIMOBEL, nous avons choisi de combiner différents modèles qui existaient déjà et qui avaient été précédemment développés par les partenaires du projet, mais aussi de les compléter par d'autres sources", explique Inge Mayeres, coordinatrice du projet de recherche et économiste au Bureau fédéral du Plan lors du lancement de ce projet.

"Le Bureau fédéral du Plan disposait d'un modèle simulant l'évolution du transport (multimo-

dal) des personnes et des marchandises. Le VITO travaillait pour sa part sur un modèle environnemental lié au transport et qui tenait compte notamment des facteurs d'émissions de polluants, de gaz à effet de serre et de la consommation d'énergies. Les Facultés Universitaires Catholique de Mons avaient pour leur part élaboré un modèle de la charge du trafic sur les réseaux routiers dans le pays. En combinant ces modèles et en y ajoutant d'autres sources d'informations, nous avons pu produire un nouvel outil performant: l'outil LIMOBEL".

Celui-ci permet d'évaluer l'impact des diverses mesures politiques sur la mobilité et le transport à long terme dans le pays.

"Notre consortium a également fait "tourner" ce modèle selon divers scénarios afin d'observer l'impact que certaines mesures alternatives pouvaient avoir sur la mobilité à long terme. On pense par exemple à l'introduction de péages routiers, d'un autre type de taxation sur les carburants, etc".

ISEEM Développer un cadre de modélisation spatio-économico-environnemental pour l'analyse de politiques et de mesures durables

ISEEM est un autre projet de recherche visant à développer un modèle relatif au transport dans le pays. Celui-ci suivait une approche plus générale. Coordonné par "Transport and Mobility Leuven" (TML), il incluait des partenaires du Bureau fédéral du Plan, des Facultés Universitaires Saint-Louis à Bruxelles et de l'Université de Gand. (UGent).

"Les résultats qu'ISEEM a livrés sont davantage de nature fondamentale qu'appliquée", précise Inge Mayeres. "Nous avons ainsi tenté d'adapter un modèle hollandais existant





(RAEM) à la situation belge. Il s'agissait d'y intégrer des données relatives aux Régions, à leurs politiques en matière de transport tout en tenant compte de la politique fédérale en la matière.”

Ces travaux ont débouché sur la mise au point d'un modèle prototype. Il a été testé avec divers scénarios et fait toujours l'objet de recherches à Louvain.

Flambée du prix de l'essence, épuisement des ressources pétrolières, dégradation de l'environnement; autant de motifs valides qui expliquent le succès grandissant des voitures électriques et des hybrides (thermique électrique).



PROLIBIC **Le meilleur des divers** **projets comme plus-value**

De son côté, le cluster PROLIBIC visait à maximiser les acquis de différents projets de modélisation soutenus dans le cadre de la thématique Transport et Mobilité en confrontant leurs expertises respectives.

“Il y ajoutait également une série d’analyses sur l’impact que pouvaient avoir dans ce domaine diverses décisions politiques en la matière”, précise Inge Mayeres.

“Nous avons intégré les connaissances acquises des différents projets dans divers scénarios complémentaires. Les résultats des projets BIOSSES (sur les biocarburants) et CLEVER (relatif aux véhicules alternatifs, électriques etc.) ont alimenté divers scénarios testés dans le cadre du projet PROLIBIC notamment. Cela a permis de rendre le modèle encore plus réaliste, plus intéressant dans le cadre de politiques axées sur les véhicules électriques par exemple. Par contre, les résultats des travaux liés à d’autres projets du cluster, comme PROMOCO (voitures de société), ont par contre été plus difficiles à intégrer dans le modèle, mais ont été explorés d’une façon plus approfondie dans le cadre du projet PROLIBIC”.

Un rayonnement qui **dépasse nos frontières**

“L’attrait de ces programmes de recherche, c’est la grande flexibilité qu’ils permettent aux chercheurs, la liberté qu’ils autorisent”, estime Inge Mayeres. “Un autre point positif concerne l’impact international de ces travaux. Bien sûr, ici, nous avons concentré nos efforts sur les transports en Belgique, mais en tenant compte aussi, dans nos modèles, du trafic de transit qui ne fait que traverser notre pays. Cela joue sur la mobilité en Belgique”.

“D’un point de vue plus académique, on peut aussi souligner que notre participation à ces divers projets du programme SSD nous ont permis d’affirmer notre expertise dans ces domaines. Cela nous a aussi assuré une meilleure visibilité voire une reconnaissance accrue au niveau international via les publications dans les revues scientifiques, la participation et les communications lors de congrès mais aussi suite aux évaluations de nos projets réalisées par des experts internationaux. Leurs points de vue sur nos travaux ont également été une source précieuse d’enseignements”, conclut l’économiste.





SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

EFFETS NOCIFS DES PARTICULES FINES SUR LA SANTÉ

Texte: Jan VAN PELT



2 constats motivent la mise en œuvre d'un volet "santé & environnement" dans le SSD: (1) près de 20% des maladies peuvent être attribuées à des facteurs de l'environnement et (2) l'évolution des comportements individuels ou collectifs ainsi que des modes de consommation et de production entraîne des effets nouveaux et parfois inattendus sur l'environnement et la santé. Dans le cadre d'une science pour le développement durable, le programme SSD ne pouvait faire l'économie d'une recherche portant sur les risques émergents et leurs impacts, y compris leurs effets à long terme sur les générations futures et les populations plus à risque tels que les enfants, les femmes enceintes, les travailleurs et les populations vieillissantes.

5 projets de recherche ont ainsi été financés dans le cadre de cette thématique dont le projet SHAPES qui se trouve à la jonction entre la thématique "transport et mobilité" et la thématique "santé et environnement". Ce projet est sûrement celui qui a eu le plus de retentissement médiatique dans la mesure où il abordait une question sociétale "importante" relative aux risques pour la santé (et plus précisément de l'exposition aux particules fines) liés à l'utilisation du vélo versus de la voiture dans le cadre de déplacements domicile/travail notamment. Ce projet s'inscrivait véritablement en soutien des politiques de transport. Quant aux projets PARHEALTH, ANIMO et MIC-ATR, ils ont abordés sous des angles différents, des problèmes de qualité de l'air intérieur et extérieur, leurs impacts sur la santé des populations exposées et la mesure des vulnérabilités. Le 5ème projet (S²NANO), s'est intéressé quant à lui à l'étude de la toxicité inhalatoire des nanomatériaux à base de silicium.

SHAPES, PARHEALTH et S²NANO représentent les 3 tendances de ce volet de recherche et font ici l'objet d'une présentation plus spécifique.

De nombreuses études ont montré une étroite association entre la pollution de l'air liée aux particules fines, une augmentation du risque de maladies cardio-pulmonaires et la mortalité journalière.



PARHEALTH

Effets nocifs des particules fines sur la santé

Les particules fines dans l'air sont comme de petites éponges sur lesquelles se fixent toutes sortes de composés ambiants. C'est ainsi que l'on trouve plus de sel sur les particules fines à la côte. Si l'on examine les particules fines d'une zone à fort trafic automobile, on y décèle surtout de la suie et des métaux. Les particules fines comptent parmi les polluants les plus dangereux à ce jour. Des études scientifiques établissent un lien manifeste entre la mortalité cardiovasculaire et respiratoire et les concentrations de particules fines dans l'air. Plus la concentration est élevée, plus la mortalité est forte. Ce lien est plus évident en été qu'en hiver. Le projet PARHEALTH, qui s'est déroulé de décembre 2006 à janvier 2011, s'est intéressé aux effets néfastes pour la santé de l'inhalation des particules fines présentes dans l'air extérieur.

Plus les particules fines sont nombreuses, plus la tension artérielle est élevée

“Pour PARHEALTH, nous avons utilisé des biomarqueurs qui traduisent les effets cardiovasculaires et respiratoires auprès de deux segments sensibles de la population: les personnes âgées et les enfants”, explique le professeur Tim Nawrot (KU Leuven / UHasselt), responsable du projet avec le professeur Benoît Nemery de la KU Leuven. “En sélectionnant des personnes âgées vivant en résidence services, nous avons pu étudier entre 10 et 20 sujets en un seul lieu. Nous avons mesuré la pollution de l'air aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des appartements. Nous avons également examiné les changements de tension artérielle et vérifié quels jours et à quelle saison la tension de chacun des sujets augmentait. Cette hausse semblait surtout causée par les composés toxiques des particules fines comme la suie et les molécules d'hydrocarbures polycycliques aromatiques cancérigènes. Plus la

concentration de particules fines était forte, plus la tension artérielle était élevée.”

Les universités d'Anvers et de Gand, soutenues par l'unité de toxicologie industrielle de l'UCL, ont réalisé un échantillonnage de l'air ainsi que des mesures des composés toxiques et des métaux. L'université de Gand a essentiellement étudié les molécules d'hydrocarbures polycycliques aromatiques. Et l'IRM a associé la toxicité mesurée des particules fines aux conditions météorologiques des jours étudiés. À l'aide de techniques innovantes, les chercheurs sont parvenus à identifier et à quantifier les composés, puis à répertorier toutes les informations obtenues.

Des résultats ahurissants

Benoît Nemery et Tim Nawrot ont également coordonné l'étude sur l'effet immédiat induit par l'inhalation de particules fines chez les enfants. Les enfants constituent un groupe très vulnérable. Leur système immunitaire et leurs organes ne sont pas encore entièrement développés.

En outre, leur rythme respiratoire par volume de poids corporel est beaucoup plus important que chez l'adulte, ce qui les expose beaucoup plus fortement à la pollution de l'air. Tim Nawrot: “Les études réalisées pour l'essentiel dans des pays pauvres montrent que la pollution de l'air dans les villes y est généralement plus forte que chez nous et que la mortalité infantile y est également plus élevée. Il s'agissait donc de savoir si, chez nous aussi, où la mortalité infantile est très faible, la mortalité chez les enfants est plus élevée les jours de fortes concentrations de particules fines.”

Quels ont été les résultats? Tim Nawrot: “Entre 1998 et 2006, 2 382 nouveau-nés en phase néonatale tardive (c'est-à-dire entre la deuxième et la quatrième semaine suivant la nais-



Visible ou insidieuse, la pollution atmosphérique apparaît de plus en plus présente en ville. Inlassablement, elle resurgit lors des périodes de grandes chaleurs ...

sance) sont décédés en Belgique. Les jours où la concentration atteignait 10 microgrammes par mètre cube, on a recensé une hausse de 11 % de la mortalité chez les bébés. Il s'agissait souvent d'enfants présentant une maladie sous-jacente, une malformation cardiaque congénitale par exemple. Nous avons répertorié tous les chiffres de mortalité infantile et les avons comparés aux jours de contrôle présentant une température et une hygrométrie comparables. Le résultat était ahurissant. 50 % des décès chez les bébés en phase néonatale présentant une maladie sous-jacente sont dus à la pollution de l'air !"

Dimension européenne

PARHEALTH a été l'une des premières études à examiner le lien entre les concentrations de particules fines et la mortalité infantile dans un contexte européen. "Notre étude peut être considérée comme un travail précurseur", souligne Tim Nawrot. "Car les résultats de PARHEALTH ainsi que d'autres études ont influencé la législation européenne en matière de pollution de l'air. Mais il y a encore beaucoup de progrès à accomplir dans ce do-

main. La législation devrait en tout cas être suffisamment sûre pour que les bébés plus sensibles ne décèdent pas plus les jours de pollution que les bébés en bonne santé."

Actuellement, la norme européenne autorise 25 microgrammes de particules fines par mètre cube. Mais selon une étude néerlandaise à grande échelle, c'est encore deux fois trop. "Il vaudrait mieux que la norme soit abaissée au niveau de celle de l'Organisation mondiale de la santé", explique Tim Nawrot. "Celle-ci se situe à 10 microgrammes de particules fines maximum par mètre cube. En Belgique, la concentration moyenne de particules fines se situe entre 10 et 30 microgrammes. À 100 microgrammes, on entre dans la phase d'alerte. L'Europe autorise un dépassement au-delà de 35 microgrammes pendant 35 jours par an maximum. En Flandre, cette norme est généralement déjà dépassée au printemps. Pendant ces jours, on constate donc un doublement de la mortalité infantile."

Mauvais pour le cœur

Les résultats de l'étude cluster PM²TEN révélaient toutefois que les particules fines ont

SHAPES

Comment rendre saine la pratique du vélo en ville?



aussi des effets évidents sur les personnes en bonne santé, comme de légères inflammations des poumons et des voies respiratoires. “Comme la population dans son ensemble est exposée à la pollution de l’air, surtout dans les villes belges, ces effets au niveau individuel ont cependant une incidence considérable sur la santé générale de la population”, insiste Tim Nawrot.

Dans ce cadre, le groupe de recherche coordonné par Benoît Nemery et Tim Nawrot a publié des chiffres concernant les facteurs déclencheurs de l’infarctus du myocarde dans *The Lancet*. “Prenez le sport”, explique Tim Nawrot. “Le sport est bon pour la santé. Mais une activité physique intense et soudaine peut causer un infarctus. C’est aussi le cas d’un stress trop important, d’une overdose de cocaïne ou de marijuana, des déplacements pendant les heures de pointe et... aussi de la pollution de l’air. Mais comme très peu de personnes consomment de la cocaïne, le nombre d’infarctus provoqués par la cocaïne se limite à 0,5 % de la population. La pollution de l’air qui, pour une personne, représente un risque beaucoup plus faible a en revanche une plus grande incidence sur la santé publique, car elle provoque pas moins de 6 % des infarctus, tout simplement parce que tout le monde y est exposé.”

“Plus nous en saurons sur les divers composés toxiques des particules fines, mieux nous pourrions évaluer leurs effets néfastes sur la santé. Si l’on parvient, ne serait-ce qu’un peu, à endiguer les risques de la pollution de l’air, cela entraînera en toute logique une réduction notable de la mortalité et donc une baisse des coûts de santé. C’est la raison pour laquelle PARHEALTH a également pour objectif d’informer et de conseiller les autorités régionales et fédérales sur les modifications de la politique environnementale relative aux seuils acceptables d’exposition aux particules fines”, conclut Tim Nawrot.

Comment encourager la pratique du vélo en ville tout en veillant à améliorer la santé de la population? Cet apparent paradoxe constitue le grand défi du projet SHAPES. Car le vélo est une activité saine. Mais les cyclistes sont vulnérables. En ville, ils sont confrontés à la pollution atmosphérique et aux accidents de la route. Les études sur la mobilité et la qualité de vie en ville ne sont pas neuves. Le VITO avait déjà rassemblé et analysé de nombreuses informations sur les chaînes de trafic et la qualité de l’air dans le cadre de PADD I et II (programmes de recherches précédents). Et le département Physiologie humaine et médecine sportive de la VUB avait rassemblé une expertise relativement importante dans le domaine de la recherche sur les cyclistes, l’activité physique et les accidents. C’est en associant ces deux expertises qu’est née l’idée de mettre en place une nouvelle étude à large échelle et d’introduire un projet auprès de Belspo. Voilà comment SHAPES a vu le jour. Il ne manquait plus que l’UCL qui s’est joint au projet comme partenaire en apportant la connaissance des systèmes informatiques géographiques (GIS) acquise au sein du Centre d’Analyse Spatiale et Urbaine.

Travail de pionnier

Les débuts ont été difficiles, se souvient le coordinateur Luc Int Panis: “Il nous a fallu partir de zéro. Les données de la police, des sociétés d’assurances et des hôpitaux sur les accidents ne se sont pas avérées utilisables dans le cadre de notre étude. Nous avons donc développé nous-mêmes un site Internet et lancé une campagne pour obtenir des informations sur le comportement des cyclistes, les distances parcourues et les accidents ainsi que sur la qualité de l’air en faisant appel à des volontaires: du *crowdsourcing* avant la lettre. Mais nous manquions aussi tout simplement d’appareils pour mesurer la qualité de l’air sur les vélos et dans les voitures. Nous avons dû littéralement tout bricoler nous-mêmes. Les tests pendant la première année de notre étude ont donc presque

Signalons encore qu’en 2010, la Politique scientifique fédérale fait le bilan de 20 années de recherche en santé/travail/environnement dans une brochure à destination du grand public. Le Programme SSD (volet Santé & environnement) y est notamment décrit ainsi que ses projets. La brochure est accessible online sur le site <http://www.belspo.be/ssd/> dans la rubrique “publication générale”.



Campagnes de mesures réalisées dans le cadre du projet SHAPES, visant à déterminer les liens entre le niveau d'activité physique, l'exposition aux NO_x, PM et CO atmosphériques et la santé physique du cycliste.

tous échoué, parce que les appareils de mesure rendaient l'âme, ne supportaient pas les chocs, etc. Il nous est arrivé d'être vraiment découragés après avoir perdu le travail d'une journée entière de vélo et de mesures. C'est ce que l'on appelle la méthode du *trial and error*."

"Sans tous ces volontaires qui, grâce à notre site Internet, se sont proposés au fil des semaines pour envoyer des données et pour remplir des questionnaires, nous n'y serions jamais arrivés. Au bout d'une année, nous avons rassemblé suffisamment de données qualitatives pour établir des statistiques fiables."

Détermination de l'exposition personnelle

Les erreurs de classement de l'exposition (*exposure misclassification*) représentent un problème récurrent dans les études épidémiologiques classiques. Certaines données sur les sujets ne sont pas toujours disponibles, ce qui fausse les analyses épidémiologiques.

Lors d'études de grande envergure sur des milliers de personnes, la marge d'erreur s'atténue pour se situer dans la moyenne, mais cela coûte très cher. Le gros atout de SHAPES réside dans le fait que les mesures ont été réalisées par des individus. Luc Int Panis: "En mesurant l'exposition personnelle à la pollution atmosphérique et à la densité du

trafic, nous avons pu considérablement réduire les erreurs de classement de l'exposition. Nous savions précisément quelle distance parcouraient nos cyclistes, s'ils avaient été victimes d'un accident, comment était leur respiration, la qualité de l'air qu'ils avaient respiré. Ils étaient couverts d'appareils de mesure. Cette détermination de l'exposition personnelle présente le grand avantage de permettre de réaliser de bien plus petites études avec beaucoup moins de sujets tout en déterminant les effets sur la santé avec une grande précision."

"Cela fait plaisir de voir que la technologie que nous avons développée dans le cadre de SHAPES continuera d'être utilisée dans d'autres villes européennes: Vienne, Zurich, Londres, Rome, Barcelone et Anvers. Car toutes ces villes font face à la même problématique. Il n'existe tout simplement pas de données fiables, ni sur les accidents, ni sur la quantité et la fréquence des activités cyclistes, ni sur l'exposition individuelle à la pollution atmosphérique. On fait confiance à notre expertise", rayonne Luc Int Panis.

Un projet de cluster historique

Pendant la réalisation de SHAPES, un lien a également été établi avec le projet PARHEALTH par le biais du projet de cluster PM²TEN qui mettait l'accent sur les risques et les coûts découlant des particules fines dans le domaine de la santé. Les projets de cluster consistent généralement à rédiger un rapport sur les discussions entre les différentes disciplines. Mais dans ce cas-ci, les choses se sont passées autrement. Luc Int Panis: "Pour PM²TEN, nous avons demandé à un certain nombre de sujets de faire du vélo pendant 20 minutes le long du ring d'Anvers. Il s'agissait de personnes qui avaient déjà participé à SHAPES. Nous avons effectué des prélèvements de sang et des mesures respiratoires avant et après le trajet. Puis nous avons demandé à ces mêmes sujets de réaliser des efforts physiques dans la salle blanche de la VUB où nous avons pu parvenir à des concentrations très faibles. Nous



S²NANO

Une approche rationnelle pour des nanomatériaux plus sûrs.

avons ainsi recensé avec précision les effets de l'exposition aux particules ultrafines le long du ring d'Anvers. Et qu'en est-il ressorti? Des changements sont apparus dans les taux sanguins, le nombre de globules sanguins a augmenté et l'air expiré était différent. Par ailleurs, nous avons constaté qu'après une exposition de 20 minutes, certains sujets présentaient des signes de légère inflammation des poumons et des voies respiratoires."

Les normes européennes relatives aux particules fines sont actuellement fixées en fonction d'une exposition à la concentration moyenne dans un certain lieu tout au long de l'année. "Mais on ne savait rien jusqu'à présent sur les effets d'un court pic d'exposition", affirme Luc Int Panis. "PM²TEN a démontré l'effet immédiat des particules ultrafines sur la santé. Tout le monde croit savoir que les plus fines particules sont les plus dangereuses et les plus nocives parce qu'elles pénètrent profondément dans les poumons. Mais PM²TEN est l'une des rares études à l'avoir prouvé scientifiquement."

Et les recommandations à l'intention des pouvoirs publics?

"La respiration d'un cycliste est 4 à 5 fois plus rapide que celle d'un automobiliste. SHAPES est le seul projet d'étude à avoir réellement *mesuré* cela. On procède généralement à des estimations, mais ces estimations sont souvent très imprécises. Les cyclistes sont donc toujours plus exposés à la pollution atmosphérique que n'importe quel autre usager de la route. Il ne faut par conséquent pas les envoyer dans le même *street canyon* que la circulation automobile. Les pistes cyclables doivent être séparées et suffisamment éloignées du trafic. Aux feux de circulation, aménageons des sas pour vélos afin que les cyclistes puissent partir avant les voitures. Et interdisons les deux-roues bruyants sur les pistes cyclables, car cette technologie du XIX^e siècle provoque le plus fort pic de pollution atmosphérique."

Les nanoparticules peuvent être présentes dans notre atmosphère par des phénomènes naturels comme des incendies de forêts ou des éruptions volcaniques. Nous en inspirons aussi quand nous nous déplaçons à travers la ville pendant les heures de pointe. Mais surtout, nous les produisons nous-mêmes. Le développement et la production de nouveaux nanomatériaux ne cesse de révolutionner notre vie de tous les jours. De par leurs caractéristiques physico-chimiques uniques, les nanoparticules sont très attrayantes pour des applications technologiques et biomédicales ainsi que pour intégrer des produits de consommation. Les nanoparticules d'oxyde de zinc, par exemple, sont très efficaces contre les rayons ultraviolets et l'industrie les intègre à grande échelle dans des produits de protection solaire. D'autres applications concernent la production de peintures laquées ultrafines pour l'industrie de l'automobile. Elles sont également impliquées dans l'épuration de l'eau. Grâce à leur capacité à pénétrer facilement dans les cellules et les tissus, le monde médical les utilise pour introduire des médicaments dans des endroits difficilement accessibles (cerveau, tumeurs, etc.). Mais les nanoparticules peuvent nuire à notre santé, notamment au niveau pulmonaire, cardiovasculaire et du système nerveux. Afin de mettre sur le marché des produits sûrs et inoffensifs dans le futur et de restreindre les risques pour la santé, il faut tout d'abord savoir quels sont les déterminants physico-chimiques qui causent les effets toxiques des nanoparticules. Voilà l'objectif principal du projet S²NANO.

Le coordinateur du projet S²NANO (2006-2011) était le professeur Dominique Lison de l'Unité de toxicologie industrielle et de médecine du travail (TOXI), actuellement Louvain centre for Toxicology and Applied Pharmacology, (LTAP) de l'UCL: "La grande originalité de ce projet c'était d'avoir un contact et une collaboration très étroite et intensive entre les physico-



chimistes qui préparaient les nanoparticules et les biologistes qui regardaient les effets. L'objectif c'était de comprendre quels sont les paramètres physico-chimiques des nanoparticules qui sont responsables de leur toxicité. Nous voulions connaître les caractéristiques des nanoparticules qui influencent et même tuent des cellules. On est là encore très en amont de quels sont les risques pour la santé. Mais pour comprendre les risques, il faut tout d'abord connaître les mécanismes qui sont derrière.”

L'interdisciplinarité en jeu

Pour ce travail de recherche le professeur Lison a pu rassembler autour de lui une équipe interdisciplinaire de professionnels de qualité. Le premier partenaire était le Centre d'étude de chimie des surfaces et de catalyse (COK) de la KULeuven. Johan Martens et Christine Kirschhock s'occupaient de synthétiser des nanoparticules. Puis, il y avait le groupe du professeur Peter Hoet du Laboratoire de toxicologie pulmonaire (LUNG) de la même université qui s'est intéressé plus particulièrement aux effets des particules sur le poumon. Ensuite le Laboratoire de génétique cellulaire de la VUB avec

Micheline Volders qui s'est penchée sur les effets sur le génome, les mutations et les effets géno-toxiques. Et évidemment le groupe TOXI de Dominique Lison même, qui est également spécialisé dans les effets toxicologiques de nanoparticules.

Une mission impossible?

Dominique Lison: “L'hypothèse principale qu'on a voulu tester était de savoir quel était le rôle de la taille des nanoparticules sur leur toxicité. Pour tester cette hypothèse, le COK nous a préparé toute une série de particules avec des tailles de plus en plus petites, bien calibrées et tout à fait bien caractérisées. Nous les avons testées dans nos trois laboratoires de biologie. Et, en effet, nous avons trouvé qu'au plus elles étaient petites, au plus ces nanoparticules étaient dangereuses pour les cellules”.

Pour ce faire, les chercheurs de S²NANO ont choisi un modèle expérimental à base de nanoparticules de silice (SNP), modèle qui garantit une très grande flexibilité et variabilité pour la synthèse. De cette façon le COK a pu réaliser dix-sept SNP mono-dispersées avec des diamètres, des surfaces et des porosités variantes. Dominique Lison: “Evidemment il ne s'agit pas de particules que l'on rencontre dans la vie de tous les jours, dans les usines ou dans l'alimentation. C'est tout d'abord un modèle de recherche tout à fait artificiel qui nous a permis de tester les mécanismes fondamentaux d'interaction pour déterminer ce qui est le plus dangereux. En plus, nous avons travaillé uniquement sur des cultures de cellules. Ce travail in vitro est donc d'office très éloigné de l'exposition réelle. Il y a encore un très grand pas à faire. Il est même probable qu'il s'agit d'une mission impossible, vu la quantité croissante de nanoparticules qui sont introduites sur le marché et les pauvres moyens mis à disposition des chercheurs pour examiner leurs effets sur la santé”.

Si aujourd'hui, les nanomatériaux manufacturés (NMM) représentent pour l'industrie et la recherche des potentiels économiques indiscutables, ils n'en demeurent pas moins sources de questionnement pour la santé publique et l'environnement, et imposent un principe de précaution là où l'inconnue se maintient.



Une production scientifique fructueuse

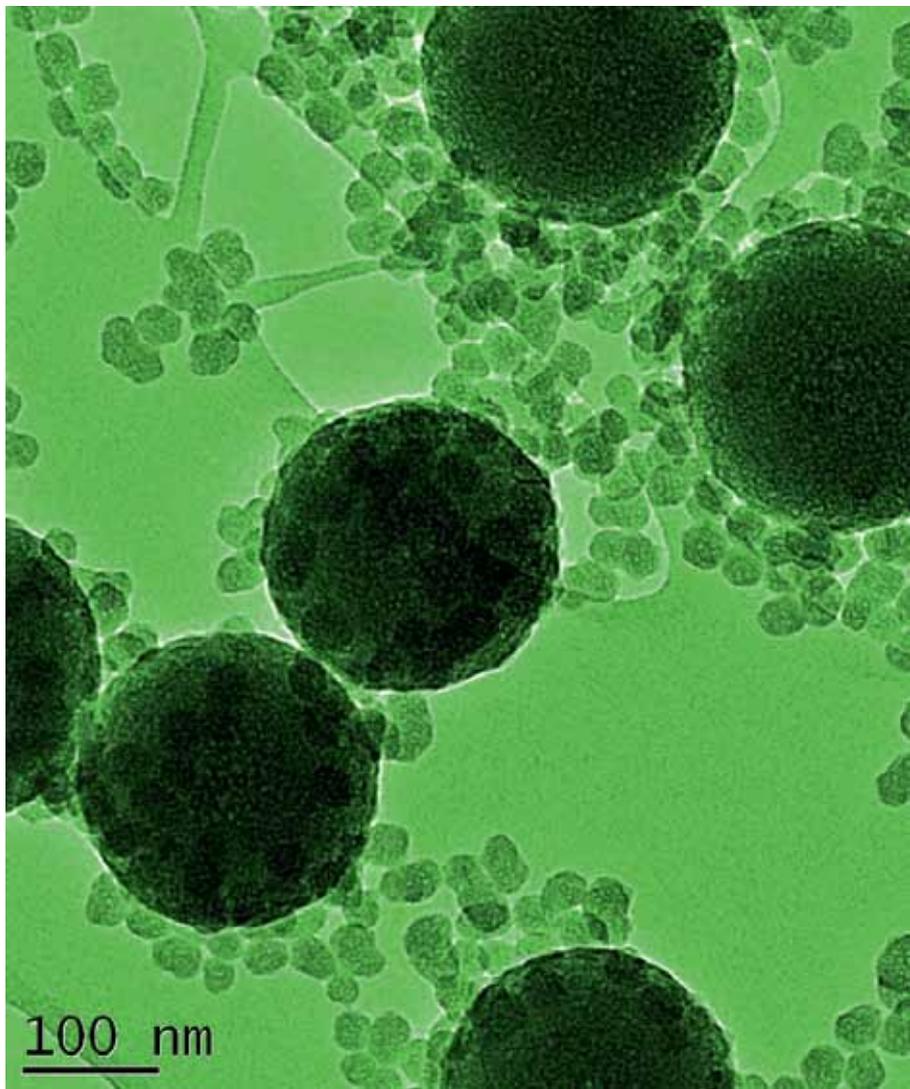
Selon le Professeur Lison, la première question était de savoir quelle fraction des particules représentait la dose effective qui détermine son action biologique dans les cultures cellulaires. “Cette question fut le sujet de notre premier papier. Nous avons conclu que la dosimétrie de toutes les particules mises dans le milieu de culture contribuait à la toxicité, elle était mieux reflétée par la surface des particules que par leur masse”.

“Dans d'autres papiers, nous avons montré qu'au plus elles étaient petites, au plus elles étaient dangereuses et au plus elles interagissaient vite avec les cellules en culture. Nous avons aussi mis en évidence que la porosité de nanoparticules peut être un facteur protecteur. En effet, dans nos tests, les particules de silice étaient moins dangereuses pour les macrophages, qui sont des cellules très importantes pour maintenir les poumons propres”.

La production scientifique du groupe de recherche S²NANO couvre une grande diversité d'aspects liés aux effets des nanoparticules. Citons, leur effet sur l'intégrité du génome, le mécanisme du stress oxydant ou oxydatif des nanoparticules, l'étude sur les zéolithes, une catégorie de nanoparticules très poreuses utilisées dans la catalyse chimique. Ou encore l'étude de la façon dont les nanoparticules altèrent l'intégrité des membranes des cellules, étude réalisée en collaboration avec le centre SCANCETTI du Professeur Fubini de l'université de Turin en Italie.

Un future défiant

La diffusion rapide et la commercialisation des nanoparticules soulèvent de grands espoirs économiques et techniques, mais aussi des



Nanoparticules de silice (Stöber) observées en microscopie électronique à transmission.

questions nouvelles sur les risques émergeant pour la sécurité, la santé et l'environnement, dans un contexte de connaissances scientifiques encore très lacunaires. “Le grand défi pour le futur sera de voir dans quelle mesure, nous pouvons nous rapprocher, dans notre recherche expérimentale avec des particules synthétisées, de plus en plus vers des particules qui sont pertinentes pour l'exposition humaine”, explique Dominique Lison.

“En tant que chercheurs, la seule chose qui nous donne un sentiment de frustration c'est qu'il est très difficile de continuer notre investigation scientifique dans ce domaine extrêmement important au niveau de la santé publique et de la durabilité de l'environnement et de la société. La seule solution est de participer dans des programmes de recherche à l'échelle européenne ou de s'intégrer dans des groupes de recherche bilatéraux avec d'autres pays. La toxicité des nanoparticules est un défi mondial extrêmement complexe, qui ne peut être abordé que par la seule approche d'une collaboration interdisciplinaire”.





QUAND AGRICULTURE ET ALIMENTATION RIMENT AVEC SANTÉ

Texte: Jan VAN PELT



FOODINTER Des liaisons dangereuses dans notre alimentation



La qualité et la durabilité de notre alimentation sont incontestablement des priorités tant des autorités européennes et nationales que des consommateurs. Belspo a financé une série de recherche en alimentation-agriculture. Celles-ci recouvrent divers aspects dont notamment la sécurité alimentaire, la santé des personnes, les impacts environnementaux, ainsi que les dimensions socio-économiques qui y sont liés. Cela a permis à des équipes de recherche venant de différentes disciplines de réunir leurs compétences spécifiques afin de répondre à ces problématiques et de générer des résultats en appui à la décision politique. Un des défis était de faire répondre l'agriculture aux attentes sociétales, plus particulièrement celles liées à la qualité du produit ainsi qu'au respect et à la conservation du milieu naturel et ceci implique une reconnaissance du rôle multifonctionnel de l'agriculture. Une attention particulière a été également apportée à l'étude de l'évolution des modes de consommation alimentaire vers une "alimentation durable".

Les compléments alimentaires et l'alimentation fonctionnelle deviennent de plus en plus importants dans nos habitudes alimentaires. Des compléments tels que des mélanges de vitamines, des nutriments concentrés ou des extraits de plantes contenant des molécules bioactives, distribués sous forme de poudres, de gélules ou autres capsules ont intégré les rayons des supermarchés et des magasins spécialisés. Des aliments dotés de vertus fonctionnelles, par exemple parce qu'ils sont enrichis de polyphénols, de phytostérols, d'acides gras oméga 3 ou d'autres éléments actifs, sont également devenus familiers. Ces aliments et ces compléments alimentaires se situent à la frontière entre l'alimentation et les produits médicamenteux. De nombreuses questions se posent quant à l'efficacité ou à l'innocuité de ces produits. Des zones d'ombre subsistent en matière de composition chimique détaillée, notamment au niveau de la présence d'impuretés ou de substances toxiques, de l'identification précise des composants actifs, de leur degré de concentration, de leur niveau d'absorption par le tube digestif et de leur métabolisation dans le corps humain. D'autre part, il faut aussi se poser la question fondamentale des interactions possibles entre toutes les substances qui se retrouvent ensemble dans notre tube digestif et dans notre organisme suite à l'ingestion d'aliments classiques, d'aliments fonctionnels, de compléments alimentaires, de médicaments et de composés antinutritionnels ou toxiques. Ces interactions peuvent mener à des effets négatifs pour notre santé. L'étude et l'analyse de ces interactions est l'objectif principal du projet de recherche FOODINTER.

"Il faut d'abord noter que le projet FOODINTER est le dernier volet d'une approche beaucoup plus vaste de la problématique des contaminants dans l'alimentation, projet global qui couvre une période de plus de dix ans. Le volet de FOODINTER qui se focalise sur les interactions entre constituants de l'alimentation, a dé-



buté en janvier 2007 et s'est terminé en janvier 2011", souligne Yvan Larondelle, coordinateur de projet et professeur à la Faculté des Bio-ingénieurs de l'UCL.

Enquêtes et échantillons

Dans une première phase, l'équipe de recherche s'est concentrée sur la consultation de différentes sources dans la littérature scientifique, afin de constituer une base de données globale des compléments alimentaires existants. Dans le cadre de cette phase, les chercheurs ont également organisé des enquêtes auprès du grand public et rassemblé des groupes de travail afin de mieux connaître les habitudes du consommateur. Selon Yvan Larondelle quelques résultats sont assez saillants: "Le consommateur ne sait pas toujours dans quels cas il convient de prendre des compléments alimentaires. Un tiers des enquêtés prend des compléments alimentaires sans l'avis d'un médecin ou d'un diététicien. La plupart des consommateurs sont persuadés que les compléments alimentaires sont inoffensifs parce qu'ils dérivent de produits naturels, mais

ils ne se rendent pas compte des risques éventuels d'interactions potentielles avec la prise de médicaments ou d'autres substances".

Pour la deuxième phase, les chercheurs ont sélectionné des compléments alimentaires qui sont largement consommés et qui répondent à des préoccupations différentes des consommateurs comme par exemple la virilité, la dépression, la tension artérielle. Yvan Larondelle: "Nous sommes arrivés à six principaux types de compléments alimentaires: le millepertuis, le ginkgo biloba, le soja isoflavone, le radis noir, l'ail et le maca. Nous avons acheté 61 échantillons au total, dans des pharmacies, sur internet, dans des supermarchés. 25 étaient autorisés sur le marché belge, 36 n'avaient pas d'agrément. Ces échantillons ont alors été soumis au dosage des composants actifs et à la recherche de contaminants tels les éléments minéraux toxiques, les mycotoxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les pesticides, les dioxines. Dans certains compléments, nous avons trouvé de fortes doses de métaux lourds comme le cadmium et le plomb, en particulier dans les produits achetés sur internet".

Parmi les aliments les plus allergisants, les fruits à coque: amande, noisette, noix, pistache et les produits à base de ces fruits.



L'analyse in vitro

En dernier lieu, le groupe de recherche a utilisé des méthodes d'analyse in vitro pour pouvoir identifier les interactions entre les différents composants chimiques. Il s'agissait soit d'adapter des systèmes de tests existants, soit d'en développer des nouveaux.

“Nous avons beaucoup travaillé sur le millepertuis et avons observé que certains composés de cette plante influençaient l'expression de certaines enzymes qui ont la capacité de modifier des contaminants ou des médicaments. Quand on bloque l'activité d'une enzyme qui habituellement métabolise un médicament ou un contaminant pour le rendre inoffensif, alors on peut très bien s'imaginer que cela peut poser des problèmes de santé” explique Yvan Larondelle. “C'est précisément ce genre d'interactions complexes que nous avons voulu étudier”.

Pour le projet FOODINTER, Yvan Larondelle a pu rassembler une équipe de chercheurs néerlandophones et francophones de réputation. “Ainsi, à l'université d'Anvers, Ronny Blust et son équipe ont développé des méthodologies très sophistiquées pour identifier l'impact de composés particuliers sur la flore microbienne

Millepertuis



du côlon. A Louvain-la-Neuve, avec Yves-Jacques Schneider, nous avons travaillé sur les cellules de l'intestin humain. Des méthodes analytiques très performantes ont été développées dans les universités de Liège et de Gand, dans les équipes de Marie-Louise Scippo et Sarah De Saeger, respectivement. Liège a également testé des méthodes sophistiquées d'évaluation des interactions entre composants pour des récepteurs actifs sur l'expression génique. Quant à l'équipe de Luc Pussemier du Centre d'Etudes et de Recherches Vétérinaires et Agrochimiques basé à Tervuren, elle a coordonné l'ensemble du travail et a fourni les analyses de minéraux. Nous étions très complémentaires”.

Une productivité excellente

Tous les résultats de FOODINTER ont été introduits dans une base de données étendue rassemblant de nombreuses informations sur les compléments alimentaires sélectionnés, notamment au niveau des dosages chimiques des composants actifs et des contaminants. Et une rubrique spécifique est consacrée aux résultats des tests in vitro.

“Une dizaine d'articles scientifiques ont pu être publiés dans des revues réputées”, explique Yvan Larondelle. “Certains articles exposent les méthodes analytiques mises au point et les données engrangées sur les échantillons sélectionnés. D'autres mettent en évidence des interactions possibles entre contaminants et composés bioactifs sur base de tests cellulaires. A cet égard, nous avons notamment proposé dans un article publié en 2011 par Laurence Ribonnet dans la revue *Food Additives and Contaminants*, une méthodologie originale visant à analyser les liaisons dangereuses dans nos aliments et leurs risques pour la santé. C'est grâce à la collaboration très étroite entre collègues que le projet est devenu un succès”.

MUSICAL

L'agriculture comme pivot du développement régional intégré

Dans la Belgique urbanisée, les zones rurales et agricoles présentent de plus en plus un caractère multifonctionnel. Ce n'était pas le cas auparavant, lorsque les terres agricoles servaient à cultiver des produits agricoles, sans accorder une importance particulière à d'autres fonctions. On en est ainsi arrivé à négliger la durabilité écologique et sociale de l'agriculture. Mais aujourd'hui, des fonctions autres que la production alimentaire revêtent une importance accrue. On parle de services verts, jaunes et bleus. Le vert se rapporte aux activités liées à l'écologie et aux paysages. Le jaune concerne la cohésion sociale et le bleu la gestion de l'eau et le contrôle des inondations. Mais pour que ces services soient vraiment rentables, ils doivent bénéficier d'un marché, ce qui n'est pas (suffisamment) le cas. Le projet socioéconomique MUSICAL est parti en quête de l'identité d'une région et des communautés agricoles et rurales qui y vivent et y travaillent. L'agriculteur joue un rôle central dans ce processus. Est-il ouvert à la multifonctionnalité de sa région? Est-il impliqué dans le développement régional? Quelle est l'interaction entre son activité et celle des autres résidents? Peut-il y avoir une coopération? La multifonctionnalité de l'activité agricole d'une région est-elle possible? Si oui, comment?

Écouter les groupes cibles

Afin de rassembler les données nécessaires, quatre régions ont été sélectionnées pour servir d'études de cas. La Hesbaye et le Meetjesland en Flandre ainsi que la Gaume et le Pays des Deux Ourthes en Wallonie. Des entretiens et des enquêtes ont été réalisés, des groupes de discussion ont été mis sur pied et des ateliers ont été organisés. Les groupes cibles rassemblaient aussi bien des habitants d'origine que des nouveaux venus, ainsi que des représentants de divers secteurs comme l'agriculture, le tourisme et le secteur immobilier.

Pour ce faire, le coordinateur Guido Van Huylenbroeck, du Département d'Économie agricole de l'Université de Gand, a pu compter sur un groupement d'instituts disposant chacun de compétences différentes et abordant la problématique dans la perspective de leur discipline et de leur expertise. "Notre groupe s'est avant tout concentré sur l'analyse économique des relations et interactions entre les fermes et leur environnement, et les conséquences de ces interactions sur le développement du secteur. Les spécialistes de la géographie sociale et économique de l'ISEG (Instituut voor Sociale en Economische Geografie, KULeuven) se sont penchés sur l'identité régionale. La section Mobilité et planification spatiale (AMPR, Université de Gand) compte des économistes spatiaux qui se sont demandé comment fondre toutes les informations obtenues dans une planification et comment financer l'agriculture multifonctionnelle de manière alternative (indépendamment des subventions classiques). Et l'Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO) a examiné comment naît l'image de marque d'une région et quel rôle les acteurs locaux peuvent jouer dans ce processus. Sans oublier notre partenaire wallon, la Fondation Rurale de Wallonie, qui a apporté son expertise sur toutes les dimensions possibles de la campagne wallonne. C'est ainsi que nous avons pu rassembler une palette de connaissances beaucoup plus riche", explique Guido Van Huylenbroeck.

Une menace présentant des côtés positifs

"Il reste des oppositions", résume Guido Van Huylenbroeck. "Les agriculteurs voient la multifonctionnalité comme une menace. L'aménagement de champs de bordure par exemple ou l'interdiction de fertiliser à certaines périodes. Cela vient restreindre leurs activités. Selon eux, ces fonctions sont insuffisamment



valorisées. Les éventuelles recettes, tirées du tourisme régional par exemple, pourraient compenser les pertes de revenus qui découlent de ces limitations à condition que cet argent leur soit réellement destiné.”

Mais Guido Van Huylenbroeck a également eu des retours positifs: “Le concept de *branding* régional plaît cependant aux agriculteurs. La commercialisation de l’image multifonctionnelle de leur région représente, pour eux, une possibilité d’utiliser l’agriculture comme moteur du développement régional. Ce qui pourrait leur permettre de générer de nouveaux revenus.”

Une autre conclusion importante de l’étude était que les agriculteurs sont réticents à collaborer aux initiatives qui leur sont imposées d’en haut. “La Hesbaye est en cela un bon exemple”, précise Guido Van Huylenbroeck. “Selon les agriculteurs locaux, une image nostalgique reste attachée à leur région fruitière. Mais ils ne reçoivent aucune compensation pour ouvrir l’accès de leurs terres aux touristes. Ils se sont plaints de ne pas avoir voix au chapitre dans le développement régional. Dans le Meetjesland au contraire, un véritable développement régional est en cours. Les agriculteurs sont davantage impliqués dans l’image que la région entend véhiculer. Réfléchir ensemble à la forme que cela prend. Rechercher des possibilités pour associer agriculture et tourisme. Quelles initiatives peuvent être développées? L’ambiance est plus positive.”

L’importance de la durabilité

“La durabilité est un concept clé pour un développement régional intégré”, souligne Guido Van Huylenbroeck. “Nous avons recherché les éléments caractéristiques d’une région. Cela va bien au-delà de la simple durabilité écologique. Pourquoi vient-on dans une région? Qu’est-ce qui la rend attrayante? Il s’agit de s’appuyer sur ces caractéristiques typiques pour impliquer les agriculteurs. À défaut, on obtient une politique fragmentée, comme c’est souvent le cas actuellement.”

Dans son étude, l’équipe MUSICAL a donc sondé l’opinion du citoyen. Qu’est-ce qu’un habitant du Meetjesland, un Hesbignon, un Gaumais ou un habitant du Pays des Deux Ourthes? À quoi s’identifie-t-il? Le Meetjesland est une région d’agriculture, mais aussi de gastronomie, de tourisme à la ferme, de loisirs naturels et bien d’autres choses encore. “L’agriculture peut effectivement être un moteur, mais à condition que la thématique soit bien élaborée et que tous les groupes d’intérêts soient impliqués dans le développement régional”, conclut Guido Van Huylenbroeck.



Un financement approprié

*Cultiver en respectant
l'environnement*

Les agriculteurs peuvent aujourd'hui recevoir toutes sortes de primes dans le cadre des mesures agro-environnementales. Mais ces mesures ne sont pas toujours adaptées aux besoins actuels d'une région ni appropriées pour encourager la durabilité économique. Il existe également des ressources financières plus axées sur la région, mais "il s'agit souvent de fonds temporaires, basés sur des projets", souligne Guido Van Huylenbroeck. "Et cela constitue un gros obstacle lorsqu'il s'agit de développer une vision à long terme et de parvenir à un développement régional intégré. Par ailleurs, les primes sont souvent versées par les pouvoirs publics et pas par les usagers de ces services. C'est la raison pour laquelle nous avons recherché, lors de notre étude, des sources alternatives de financement."

"Les produits régionaux et la vente à la ferme sont des classiques. Mais il existe d'autres possibilités. Par exemple, le prélèvement d'une taxe sur les nuitées à la ferme ou dans des hôtels régionaux. Comme cela se fait d'ailleurs dans les villes. Ou encore la vente de cartes de randonnées. Les pouvoirs publics locaux pourraient utiliser les recettes pour rétribuer les agriculteurs pour les restrictions qui leur sont imposées ou pour rénover des monuments ou des bâtiments de valeur ou pour aménager des places."

"L'agriculture multifonctionnelle peut donc bien contribuer à l'identité d'une région donnée", conclut Guido Van Huylenbroeck. "Cette identité peut, à son tour, se traduire par une concrétisation du développement rural et régional à long terme. Et cela est bénéfique pour la durabilité et la compétitivité de l'agriculture, mais aussi des autres secteurs régionaux."



NORISK A la recherche des norovirus

Dans les médias on parle de la grippe intestinale. Celle-ci peut émerger soudainement et prendre les allures d'une vraie épidémie. Par exemple parmi les passagers d'une croisière, chez les patients hospitalisés ou dans des maisons de repos, des collectivités d'enfants ou des camps scouts. On devient malade et on doit garder le lit pour quelques jours. Les symptômes? Diarrhée, fièvre, vomissements, nausées, douleurs abdominales... Il suffit qu'une seule personne soit contaminée pour causer une flambée explosive. La grippe intestinale ou la gastro-entérite peut être causée par des virus, des bactéries ou des parasites. Mais parmi les plus grands coupables se trouvent les norovirus. Ils sont extrêmement contagieux et leur période d'incubation varie de 24 à 48 heures à peine. La détection de norovirus dans la chaîne alimentaire et dans des échantillons humains, ainsi que la recherche de leurs voies de transmission fut l'objectif principal du projet NORISK.

La transmission comme point cible

"L'essentiel de la contamination et ce qui maintient le virus dans la population humaine sont les transmissions fécales orales, puisque le norovirus est émis dans les matières fécales. Des personnes peuvent alors se transmettre leurs virus par des comportements tout à fait ordinaires comme par exemple les poignées de mains. La transmission interhumaine est donc très importante", explique le Professeur Etienne Thiry de la Faculté de médecine vétérinaire de l'université de Liège, coordinateur du projet.

Mais aussi les fruits, les légumes et d'autres aliments frais ou chauds peuvent héberger des norovirus, par le simple contact avec de l'eau contaminée ou par manque d'hygiène lors de la distribution ou la manipulation de ces aliments par le personnel. Et puis, il y a les mollusques comme les huîtres et les moules, dont la consommation est un risque de gastro-entérite virale, parce que les norovirus peuvent s'y concentrer. Les animaux domestiques tels les bovins ou les porcs, et aussi les chiens et les chats, possèdent également des norovirus qui, heureusement, ne se transmettent pas à l'homme.

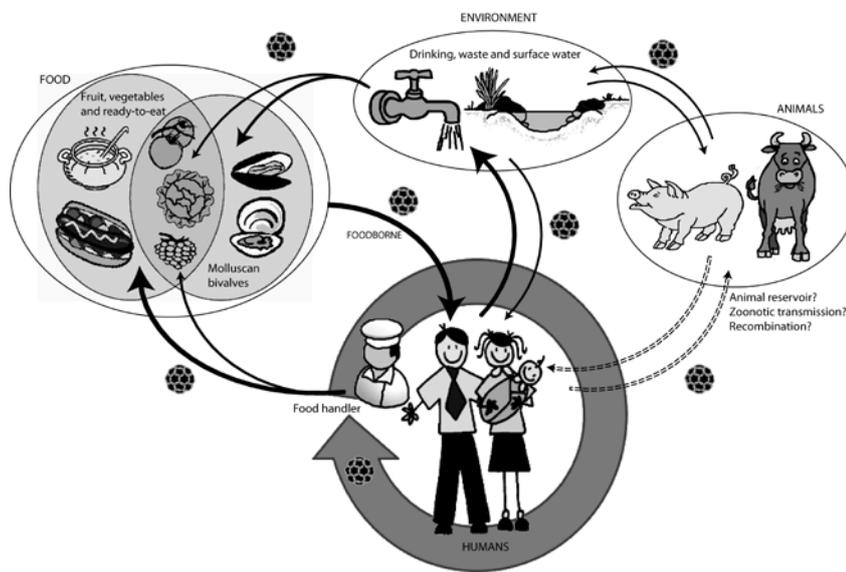
Un virus intelligent

L'amélioration de la qualité de la sécurité alimentaire. Voilà tout simplement le défi et la raison d'être du projet NORISK. "On commence à bien les connaître, les norovirus", souligne Etienne Thiry. "Les norovirus sont des virus qui ont une très grande intelligence. Ils ont évolué de manière à muter très rapidement. Lorsqu'on étudie le norovirus humain, on étudie en fait une constellation de virus différents avec de nouveaux variants qui apparaissent continuellement. Les norovirus peuvent toujours nous échapper parce qu'il est possible que nos méthodes ne permettent pas d'identifier le type de norovirus qui est en train d'émerger dans la population humaine. C'est donc toujours un défi pour mettre au point des méthodes de diagnostic rapides et efficaces".

"En plus, le norovirus a comme particularité de ne pas se multiplier en culture de cellules. Pour l'identifier on ne peut alors pas utiliser les méthodes conventionnelles. On doit s'adresser à des méthodes moléculaires. Pendant longtemps, la microbiologie alimentaire s'est beaucoup cantonnée à l'étude des bactéries. Ce n'est que depuis quelques années que la virologie alimentaire a pris son essor, grâce au développement de toute une série de nouvelles techniques et de méthodes en génétique moléculaire".

Les tests sur les virus se font en laboratoire selon les normes de biosécurité appropriées.





Vue d'ensemble des voies de transmission des norovirus. Les flèches en traits pleins et en pointillés indiquent respectivement les voies connues et probables. Plus une flèche est épaisse, plus grande est la probabilité qu'elle soit une voie de transmission.

Des méthodologies efficaces

Afin de mettre au point une méthode d'analyse et de détection de norovirus dans différentes matrices alimentaires, le Professeur Thiry a pu compter sur la collaboration d'un consortium de cinq laboratoires performants. A part son propre laboratoire en virologie vétérinaire, figuraient également le laboratoire de microbiologie et de conservation des aliments de l'université de Gand, le laboratoire des pathogènes alimentaires de l'Institut Scientifique de la Santé publique (ISP), le laboratoire de technologie et des aliments et de la nutrition de l'Institut pour l'Agriculture et la Pêche (ILVO) et celui de microbiologie des denrées alimentaires de l'université de Liège.

Etienne Thiry: "Il faut savoir que les échantillons d'aliments à analyser contiennent des quantités très faibles de virus. Aussi, il faut essayer d'optimiser les conditions d'extraction de l'acide nucléique du virus à partir des matrices alimentaires. Grâce à ce consortium de laboratoires, nous avons pu développer des méthodologies très sensibles et robustes basées sur une technique qui s'appelle la RT-PCR (*Real Time Polymerase Chain Reaction*). La technique RT-PCR permet notamment d'amplifier l'acide nucléique viral dans un échantillon et d'en mesurer la quantité".

En ce qui concerne l'évolution virale, le consortium coordonné par le professeur Thiry s'est concentré sur un modèle de norovirus qui est le norovirus de la souris: "Il est toujours possible qu'un norovirus subisse une mutation qu'on ne connaît pas encore. Or, le norovirus de la souris a la particularité de se multiplier en culture de cellules. On peut également infecter la souris de laboratoire. Avec ce virus, nous disposons d'un modèle de reproduction d'une infection de norovirus. Cela nous a permis de tester certaines voies d'évolution du virus, c'est à dire d'étudier leur diversité virale. Le norovirus mute régulièrement. Alors deux virus légèrement différents peuvent se recombiner ensemble et former un nouveau virus qui contient les caractéristiques des

deux virus parentaux. Avec cette méthodologie nous sommes capables d'étudier comment on peut obtenir, en conditions de laboratoire, un virus recombinant qui imite assez bien les norovirus recombinants qu'on observe dans la nature".

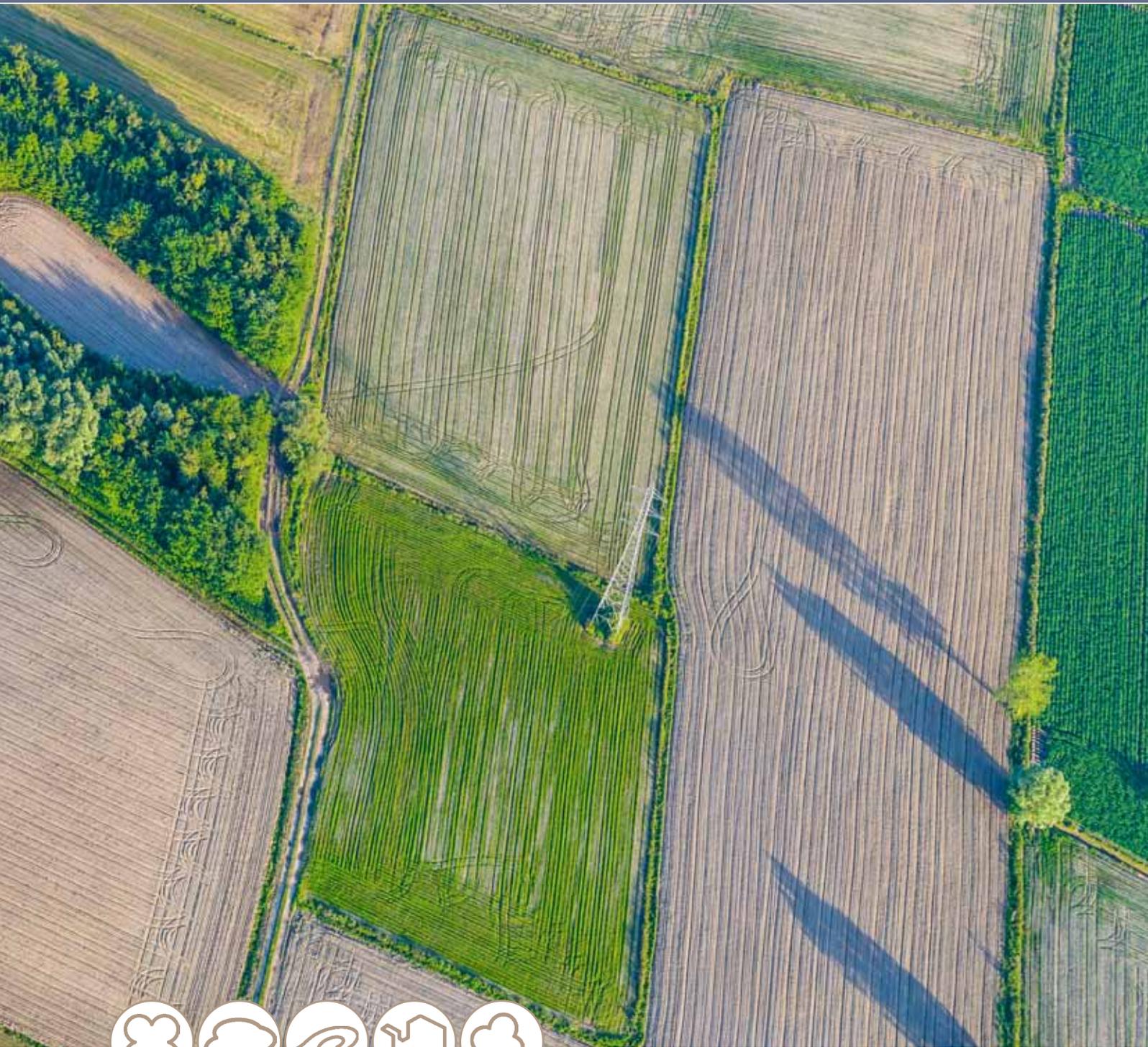
Une valorisation fructueuse

Ces différentes méthodologies n'ont pas manqué leur but. Le laboratoire de l'ISP est devenu le laboratoire national de référence pour ce qui concerne les flambées de gastro-entérite d'origine alimentaire. Et le laboratoire de microbiologie des denrées alimentaires de Liège a été accrédité comme laboratoire de référence pour le monitoring des contaminations bactériennes et virales par les mollusques et pour la microbiologie alimentaire.

"Peu après la fin du projet NORISK en janvier 2011, nos collègues hollandais ont créé un réseau qui s'appelle Noronet. Le laboratoire de l'ISP participe à ce réseau pour ce qui concerne les souches virales qui sont présentes en Belgique", explique Etienne Thiry. "Aussi notre laboratoire et celui de Gand étaient présents dans le programme Environet de l'action européenne COST, qui se focalise sur les virus dans l'environnement".

En guise de conclusion, Etienne Thiry souligne l'importance de la recherche des norovirus dans le cadre du développement durable: "La mise au point de tests performants permet d'obtenir un diagnostic très rapide et un traitement efficace. Ceci concerne non seulement les personnes malades, mais aussi l'identification puis l'enlèvement de l'aliment contaminé des rayons des magasins ou l'identification d'une source de contamination et son élimination. Eviter une épidémie avec toutes les conséquences que cela implique, est sans aucune doute une contribution importante au bien-être de la société".





BIODIVERSITÉ & ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES ET MARINS

Texte: Jan Van Pelt
Paul Devuyt
Christian Du Brulle



AMBIO-project Regard sur un continent microbien

En ratifiant la Convention biodiversité, en 1997, la Belgique s'est engagée à contribuer, notamment par la recherche et développement, à enrayer le déclin de la biodiversité à l'échelle globale. La biodiversité constitue l'ensemble de la diversité des formes de vie sur Terre: les espèces animales et végétales, les champignons et microorganismes, l'ensemble des gènes qu'elles contiennent et les écosystèmes dont elles font partie. Le programme SSD s'est intéressé à étudier les relations structurelles et fonctionnelles entre tous ces niveaux d'organisation du vivant. Les écosystèmes visés par les recherches SSD étaient: la Mer du Nord, l'Antarctique et son Océan Austral, l'Afrique sub-saharienne et les écosystèmes terrestres et d'eaux douces de nos Régions tempérées.

En ayant pour objectifs de venir en support à l'élaboration de mesures de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité, les recherches SSD s'inscrivaient dans un cadre général d'analyse de l'état de la biodiversité, d'identification des pressions et de leurs impacts sur cette diversité biologique.

Pour le docteur en sciences Annick Wilmotte, chercheur au département des sciences de la vie à l'Université de Liège, les micro-organismes sont les véritables "héros de l'Antarctique".

"Son climat rigoureux et son isolement font du continent blanc un endroit inhospitalier pour la faune que nous connaissons en zone tempérée et les manchots, phoques et oiseaux que l'on peut y voir ne passent en réalité que peu de temps de l'année en Antarctique. Ses seuls habitants permanents sont les micro-organismes" explique-t-elle.



Le Professeur A. Wilmotte observe les échantillons de la Péninsule de Byers à l'aide d'un microscope, dans le laboratoire de terrain.

De là, l'intérêt d'étudier de plus près cette vie microbienne pour les scientifiques du Centre d'Ingénierie des protéines (Université de Liège), des laboratoires de Protistologie et Ecologie Aquatique et de Microbiologie (tous deux de l'Université de Gand) en prenant des échantillons, en les analysant séparément et en comparant leurs résultats. Cette coopération permet d'étudier la diversité d'une large variété de micro-organismes, allant des bactéries, cyanobactéries, aux microalgues (dont les diatomées). "Il s'agit ici de ce que l'on pourrait appeler de la science pure dont le but est découvrir la diversité de ces micro-organismes

ainsi que leur distribution géographique" précise Annick Wilmotte.

Tout est partout, mais la nature sélectionne

"Dans le cadre d'AMBIO, nous ciblons des environnements aquatiques que nous trouvons surtout dans les régions côtières qui sont libres de glace en été pour prélever nos échantillons. C'est en bordure et au fond de ces lacs et zones de fonte des neiges que nous prélevons, dans des conditions stériles, des tapis et des bio-films microbiens. Ces échantillons sont alors surgelés sur place et ramenés ensuite en Belgique pour être analysés" poursuit la scientifique.

"Nous étions aussi intéressés par la distribution géographique de ces micro-organismes. Nous voulions savoir si la biodiversité présente dans un lac antarctique est de même nature que ce que l'on rencontre au pôle nord ou dans les régions tempérées. On se doute qu'il y a des chances que, vu leur taille microscopique et leur abondance dans la nature, le vent et d'autres vecteurs puissent les disséminer et

Calothrix sp. échantonné dans le lac de Firelight (Larsemann Hills, Antarctique). Photo d'une cyanobactérie Antarctique. Photographie: Arnaud Taton.





qu'ils peuvent donc se retrouver sur toute la surface du globe" dit-elle. C'était l'hypothèse "Tout est partout, mais la nature sélectionne" avancée par Baas Becking vers les années 1930.

"Pourquoi n'en est-il pas ainsi en réalité? Parce que la survie de ces micro-organismes est également déterminée par les conditions de leur environnement qui leur conviennent ou non. Cette étude en Antarctique était intéressante parce que ce continent est isolé du reste du monde à la fois par des courants marins et atmosphériques et que les températures y frôlent parfois les -35°C en hiver. Elle permettait de déterminer scientifiquement si les mêmes micro-organismes se retrouvaient en Antarctique et ailleurs" poursuit Annick Wilmotte.

"La curiosité scientifique nous pousse à savoir jusque sous quelles conditions extrêmes le vivant peut exister - les bactéries sont

championnes dans ce domaine - et pourquoi et comment des organismes se retrouvent à un endroit ou à un autre de la planète" conclut la chercheuse. "Cela nous a permis, dans le cadre du Traité de l'Antarctique, d'attirer l'attention des membres du Comité chargé de la protection de l'environnement, sur l'importance de protéger ces communautés microbiennes, notamment lors de la désignation de zones protégées et de mesures de gestion" ajoute-t-elle.

Agrandir la base de données

Autrefois, pour déterminer la morphologie des micro-organismes et leur donner un nom, les scientifiques avaient recours au seul instrument existant, le microscope. La mise en culture était absolument nécessaire pour identifier les bactéries. Depuis une trentaine d'années, ils ont la possibilité d'extraire leur ADN et d'en dériver les séquences de certains gènes qui servent en-

Photo prise par microscope électromagnétique, d'un *Diademsis australis*, une espèce de diatomée originaire de l'Antarctique (photo: Elie Verleyen, UGent)



Les héros oubliés

- * **Micro-organismes:** premières formes de vie à se développer sur Terre il y a environ 3,4 à 3,7 milliards d'années et qui peuvent survivre dans les environnements les plus sévères.
- * **Cyanobactéries:** appartiennent au domaine des bactéries et sont les fossiles les plus anciens connus. Ce sont des organismes "photoautotrophes", c'est-à-dire qu'elles ont inventé la photosynthèse, utilisant l'énergie lumineuse pour produire de l'oxygène et de la matière organique à partir d'eau et gaz carbonique.
- * **Diatomées:** sont des micro-algues unicellulaires (de $2\ \mu\text{m}$ à $1\ \text{mm}$) présentes dans tous les milieux aquatiques, avec une préférence pour les eaux froides. Elles peuvent vivre isolées ou en colonie, être libres ou fixées. Les diatomées sont un constituant majeur du phytoplancton et jouent donc un rôle primordial dans la vie des écosystèmes marins. Environ 100 000 espèces sont répertoriées, mais elles pourraient être bien plus nombreuses.

Pour en savoir davantage sur la base de données des séquences mondiales, consultez: www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank



suite à les identifier d'une manière beaucoup plus précise. Ils se sont alors aperçus que leur morphologie pouvait varier en fonction des conditions environnementales. De plus, de nombreux micro-organismes encore inconnus ont été découverts.

En ce qui concerne les algues vertes, en étudiant l'évolution de leurs souches et corrélant l'information génétique observée avec une horloge moléculaire, les chercheurs de Gand sont arrivés à l'idée que celles-ci étaient déjà sur le continent blanc alors que son climat était encore tropical (65-100 million d'années) et qu'elles se sont ensuite adaptées au froid.

"La recherche scientifique dans l'Antarctique est très internationale, c'est l'esprit même du Traité que de partager la connaissance. Ainsi, beaucoup des échantillons sur lesquels nous travaillons nous ont été donnés par d'autres chercheurs anglais, italiens ou australiens et nous avons travaillé avec des Espagnols et des Japonais. Et les souches que nous avons isolées ont été déposées dans le domaine public" précise Annick Wilmotte.

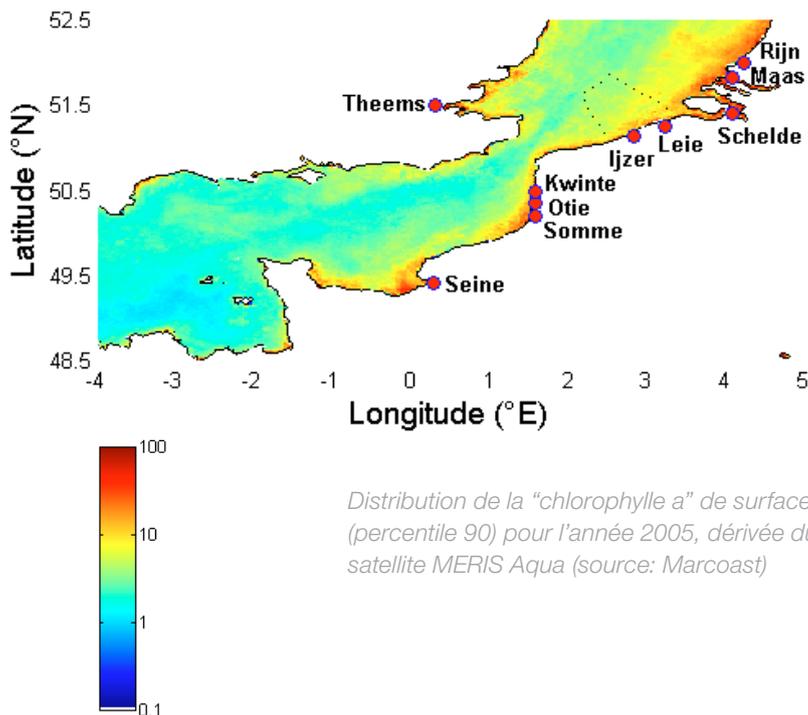
Travail de terrain au Ô-Ike sur l'île West Ongul, Lutzow Holm Bay, Antarctique de l'Est. Au cours de cette campagne, des échantillons ont été prélevés des tapis microbiens et des sédiments lacustres (Photo: Elie Verleyen, UGent).



*Tapis microbiens dans les eaux de fonte (péninsule Byers, Shetland du Sud).
Photographe: A. Wilmotte*



AMORE-project (1997-2010) L'eutrophisation de la mer du Nord modélisée



Distribution de la "chlorophylle a" de surface (percentile 90) pour l'année 2005, dérivée du satellite MERIS Aqua (source: Marcoast)

L'état de santé de la mer du Nord est fortement perturbé par des substances anthropiques apportées par les fleuves qui s'y déversent. Et si certaines mesures prises par les pays riverains font déjà leur effet, il reste encore beaucoup à comprendre et à entreprendre afin de restaurer le bon état écologique.

"La problématique portée par le projet AMORE trouve son origine dans les années 1970 lorsque la Politique Scientifique fédérale belge fut concernée par les problèmes d'environnement et plus particulièrement la pollution de la mer du Nord. S'en sont suivis une série de programmes scientifiques finançant des recherches fondamentales d'appui au développement d'une politique de développement durable. Dans ce cadre, le projet AMORE (Advanced Modelling and Research on Eutrophication) a mené des recherches sur le fon-

ctionnement de l'écosystème de la mer du Nord menant au développement du modèle écologique MIRO, outil scientifique proposé pour la gestion de l'eutrophisation côtière. L'originalité de la démarche scientifique du projet AMORE est de combiner observations, expérimentation et modélisation, - les trois éléments étant complémentaires" explique le professeur Christiane Lancelot, coordinateur du projet AMORE (Université Libre de Bruxelles, Ecologie des Systèmes Aquatiques).

L'eutrophisation

L'eutrophisation anthropique des zones côtières est liée à un apport excessif de substances nutritives (azote provenant surtout des fertilisants agricoles, phosphore provenant principalement des eaux usées) perturbant l'équilibre naturel azote, phosphore et silice des eaux marines. Ces changements nutritifs induisent le développement d'algues dites indésirables soit parce qu'elles sont toxiques soit parce qu'elles s'accumulent dans le milieu sans bénéficier aux niveaux trophiques supérieurs ; elles sont alors dégradées par les bactéries avec comme conséquence un possible déficit en oxygène. Rupture de chaîne trophique, perte d'efficacité trophique et de biodiversité, pauvreté en oxygène sont entre autres les conséquences indésirables de l'eutrophisation d'origine anthropique.

*"C'est le lien entre ces changements de nutriments et le fonctionnement de l'écosystème côtier de la mer du Nord dont la perturbation est visible chaque printemps sous la forme d'accumulations de mousses blanchâtres et nauséabondes sur les plages, que les chercheurs ont essayé de comprendre. Nous savons aujourd'hui que ces mousses sont la conséquence d'efflorescences de colonies mucilagineuses de la microalgue *Phaeocystis globosa* dont la croissance est soutenue par*

les excès de nitrates apportés par les fleuves. Ces colonies atteignent des tailles telles que le zooplancton herbivore ne peut les ingérer ; les colonies non ingérées s'accumulent et c'est l'action mécanique des vagues sur le mucilage qui permet la formation des mousses qui se déposent sur les plages" poursuit la scientifique.

Un outil scientifique d'évaluation de l'état d'eutrophisation

Les expérimentations menées par les biologistes du projet AMORE, ont été intégrées dans le modèle écologique MIRO décrivant les efflorescences de diatomées et *Phaeocystis* et les cycles de nutriments associés (azote, phosphore, silice) dans l'écosystème eutrophisé de la mer du Nord. En collaboration avec ses collègues de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris, France), le professeur Christiane Lancelot et son équipe ont couplé le modèle écologique marin MIRO au modèle fluvial Senneque/Riverstrahler, faisant ainsi le lien entre activités humaines sur le bassin versant, apports de nutriments à la mer et état d'eutrophisation de la mer du Nord. Cet outil mathématique a permis de reconstruire l'état pristine de l'écosystème de la mer du Nord lequel a abouti à l'énoncé d'un indicateur écologique de qualité fixant une densité de colonies de *Phaeocystis* au-delà de laquelle il y a rupture de la chaîne trophique, accumulation de biomasse algale et dépôts de mousse sur les plages.

"Un modèle mathématique n'est cependant jamais parfait car il implique de faire des simplifications et des hypothèses mais l'important est qu'il intègre au fur et à mesure les connaissances scientifiques et évolue avec celles-ci. Ce n'est qu'en associant l'observation, l'expérimentation et la modélisation que l'on peut arriver à construire un outil scientifique de qua-

lité et susceptible d'orienter la décision en matière de politique de réduction des apports de nutriments à la mer" conclut la scientifique.

Vers un modèle éco-hydrodynamique: MIRO&CO

"Restait à introduire le modèle d'écosystème développé par l'équipe du professeur Lancelot dans le modèle hydrodynamique mis au point à l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB), dans la Direction Opérationnelle "Milieux Naturels" (anciennement l'Unité de gestion du modèle mathématique de la mer du Nord, UGMM). Ce modèle hydrodynamique permet de calculer entre autre les courants marins, la température et la salinité de l'eau. Après intégration du modèle MIRO le modèle "éco-hydrodynamique" MIRO&CO permet de simuler de manière synoptique l'étendue spatiale des efflorescences algales non seulement dans toute la zone marine belge, mais également en Manche et en baie sud de la mer du Nord" explique Geneviève Lacroix, docteur en océanographie et chercheuse à l'IRSNB dans l'équipe de télédétection et modélisation des écosystèmes.

"La vérification de la qualité du modèle MIRO&CO est réalisée en confrontant les résultats du modèle avec les images satellitaires. A partir d'images de la couleur de l'eau de mer, des collègues spécialistes en télédétection, ont développé des algorithmes qui permettent d'estimer la concentration en chlorophylle a, indicateur de la biomasse algale. L'avantage des images satellitaires est qu'elles offrent une image synoptique de la surface de l'eau sur toute la région" poursuit la scientifique.



Un outil scientifique d'aide à la décision

Une fois validé, le modèle MIRO&CO peut être utilisé pour évaluer l'ampleur de l'eutrophisation dans la zone mais également pour tester en collaboration avec les autorités politiques différentes options possibles de réduction des apports de nutriments à la mer et en évaluer l'efficacité en terme de réduction des efflorescences algales indésirables.

*Accumulation de mousses d'origine Phaeocystis et déposées au printemps sur les plages du littoral belge.
Fotos V. Rousseau*



La mer du Nord en quelques chiffres

- * D'une superficie totale de 746.000 km², la mer du Nord est circonscrite par sept pays dont la Belgique, et la zone maritime placée sous juridiction belge s'étend sur 3.454 km², moins de 0,5 % de la mer du Nord;
- * Sa profondeur moyenne est de 95 mètres mais de 20 à 30 mètres dans les eaux belges. En été, sa température moyenne est de 17 degrés C.
- * La longueur du littoral belge est de 66 kilomètres;
- * Le courant résiduel moyen est orienté sud-ouest / nord-est et donc parallèle à la côte;
- * Les voies maritimes tracées en mer du Nord sont parmi les plus fréquentées du monde: environ 500.000 bateaux naviguent dans la Manche chaque année;
- * La surface du bassin versant des rivières se jetant dans la mer du Nord est de 841.000 m² et sa population est estimée à plus de 180.000 habitants. Le flux annuel de matières en suspension est compris entre 60 et 75.000.000 tonnes.

La directive cadre européenne "Stratégie Marine" impose en effet aux Etats membres d'atteindre le bon état écologique dans leur zone économique exclusive pour 2020.

"Pour atteindre le bon état écologique en matière d'eutrophisation, il faudra réduire les apports de nutriments à la mer en agissant sur les effluents urbains et/ou les pratiques agricoles. Le choix n'est pas intuitif et le modèle éco-hydrodynamique est un outil pour tester la faisabilité et l'effet de différentes options". C'est dans ce cadre que s'est monté le réseau européen SEAS-ERA EMoSEM, véritable suite des projets AMORE ajoute Geneviève Lacroix.

Pour en savoir plus:

- sur le projet AMORE:
<http://www.ulb.ac.be/assoc/esa/AMORE/amore.htm>, http://www.belspo.be/belspo/ssd/science/Reports/AMORE%20III_FinRep_AD.pdf
- Sur l'eutrophisation de la zone côtière belge: Current Status of Eutrophication in the Belgian Coastal Waters. Eds: Véronique Rousseau, Christiane Lancelot, David Cox. Presses Universitaires de Bruxelles. D/2006/1191/45
- Sur l'équipe de télédétection et modélisation des écosystèmes de l'IRSNB:
<http://www2.mumm.ac.be/remsem>
- sur le SEAS-ERA EMoSEM "Ecosystem Models as Support to Eutrophication Management in the North Atlantic Ocean":
<http://www2.mumm.ac.be/emosem/>



Projet WestBanks La mer du Nord et sa biodiversité

La parcelle belge de la mer du Nord n'est pas bien grande (3 454 km² à peine) mais la présence d'un ensemble de bancs de sable et de chenaux intermédiaires parallèles à la côte (principalement dans sa partie occidentale appelée "Westdiep") crée un paysage sous-marin complexe favorable au développement d'un grand nombre d'espèces marines.

"Le projet WestBanks se situe dans le prolongement de recherches antérieures visant à dresser l'inventaire des organismes vivants au fond de l'eau, dans l'eau et au-dessus et à chercher les relations existantes entre eux. Son but était de comprendre et décrire chacune de ces relations mais aussi de les mesurer afin de pouvoir déterminer leur importance dans le fonctionnement du système" explique le docteur en sciences Jan Vanaverbeke, du département Mariene biologie de l'université de Gent.

"Nous avons constaté que le fond marin est habité par un grand nombre d'animaux qui, de par leurs activités, acheminent les matériaux naturels qui se déposent dans le fond de la colonne d'eau vers les couches plus profondes des sédiments. De plus, ils aspirent de l'eau riche en oxygène vers des lieux dans le sol qui, sinon, ne contiendrait que peu d'oxygène et stimulent ainsi les processus biochimiques qui se déroulent dans le fond marin. Des expériences en laboratoire ont révélé que cet apport peut atteindre la valeur annuelle de 72.9 ± 6.2 g par mètre carré. Les nutriments qu'ils créent ainsi sont introduits dans la colonne d'eau et constituent autant d'éléments du réseau alimentaire" poursuit le chercheur.



La fidélité de la sole

Les bancs de sable et les récifs constitués notamment par le ver tubicole *Lanice conchilega* forment une multitude de petits îlots qui sont autant de sources de nourriture et d'abris pour les jeunes poissons de toutes espèces.

Les chercheurs ont constaté que chaque année les poissons migrent de la zone où ils vivent habituellement vers des frayères pour s'y reproduire et que les jeunes poissons s'attardent dans ce qui constitue alors leurs nurseries où ils trouvent abri et nourriture. *"En se basant sur l'analyse chimique réalisée en laboratoire des otolithes des soles adultes, nous avons pu déterminer l'endroit exact où elles ont vécu et en déduire la composition de l'eau de mer à cet endroit. On en est arrivé à la conclusion que les larves de sole, en fonction des conditions rencontrées au printemps, parcourent des distances variables entre les frayères et les nurseries. Ce qui veut dire que la sole est relativement fidèle à ses eaux nourricières"* précise encore le docteur Vanaverbeke.

La sterne (ou hirondelle de mer) est une espèce d'oiseau de la famille des mouettes vivant sur la côte. Elle a une tête partiellement noire et un dos gris. Son bec crochu est vermillon, seule la pointe est noire. La sterne vole de manière rapide, fluide et gracieuse. (Photo Thierry Hubin, IRSNB).

L'otolithe révélatrice

Le mot *Otolite* (ou *Otolithe*) signifie littéralement "Pierres d'oreilles". Ces pierres (et non os) ont à peu près la taille d'un pois et se trouvent dans le crâne du poisson, juste à l'arrière du cerveau. Il s'agit de pièces calcifiées qui permettent au poisson de se situer dans son milieu. Il fait office de ce que l'on pourrait dire pour simplifier "gyromètre".

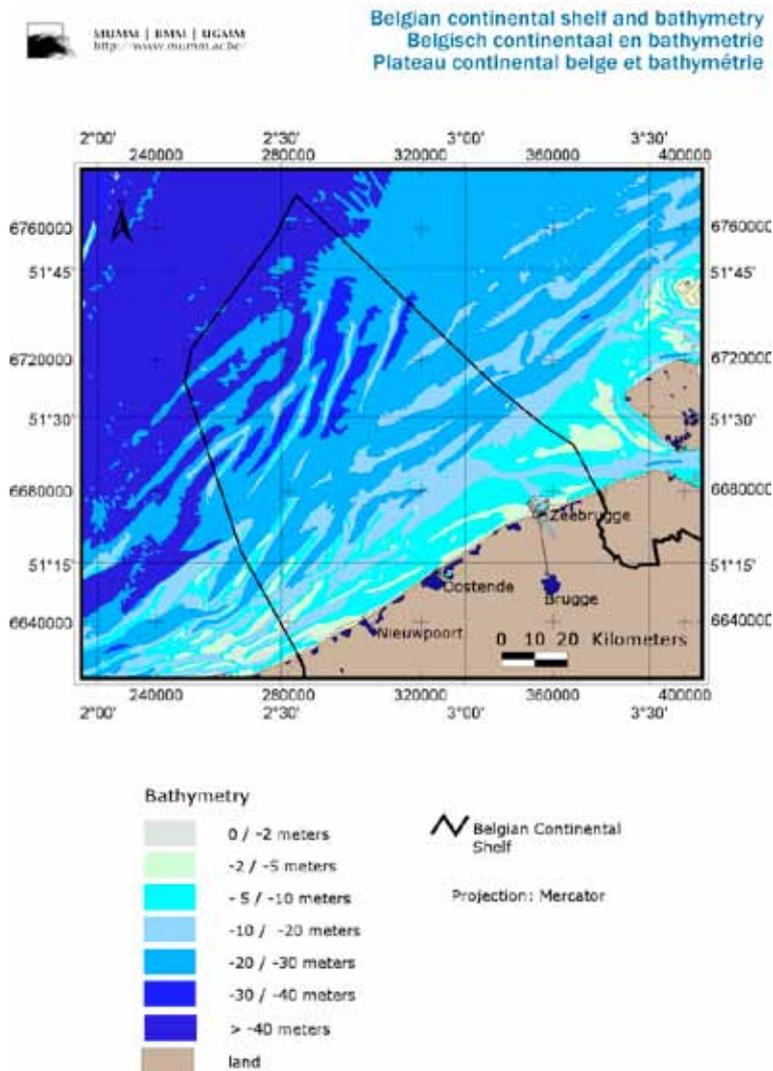
L'otolithe a pour particularité de conserver sous forme d'anneaux concentriques (un peu à la manière des arbres) les différents moments de la vie de l'animal. En outre, sa santé et son alimentation y sont inscrites.

Les poissons osseux (sole, truite par exemple) possèdent généralement trois paires d'otolithes.



Carte de la zone maritime belge.

(Photo de l'Unité de gestion du Modèle Mathématique de la mer du Nord).



Dans la colonne d'eau

Pour connaître l'état de la colonne d'eau de mer, les chercheurs se sont notamment intéressés au comportement des sternes, plus connues sous le nom d'hirondelles de mer, étant donné que leur alimentation se limite à un nombre limité d'espèces de poissons présents dans la colonne d'eau.

“Le projet WestBanks a montré que le succès d'une couvée n'est pas déterminé par le nombre d'œufs pondus mais par la survie des poussins dans les colonies, c'est-à-dire par la quantité de nourriture qui leur est apportée par

Dépôt d'organismes benthiques du lit de la mer du Nord. (Photo de l'Unité de gestion du Modèle Mathématique de la mer du Nord)



leurs parents, nourriture qui se compose principalement de harengs et de petits harengs. Or la taille des poissons apportés par les parents varie en fonction de l'âge des oisillons: les poussins âgés de moins de 5 jours sont nourris avec des poissons dont la taille moyenne est inférieure à 5,5 cm ; ceux âgés de 5 à 15 jours sont nourris avec des poissons d'une longueur moyenne de plus de 8 cm. L'étude nous a permis de constater que les chances de survie des jeunes sternes diminuaient fortement si ces petits poissons venaient à manquer" poursuit le chercheur.

"Elle a montré que les principaux territoires de la mer du Nord susceptibles de fournir cette nourriture sont situés dans la zone du banc de Wenduine et ont pour nom "Scheur" et "Vlakte van de Raan". Outre son aspect pure scientifique consistant à établir son bilan de santé, WestBanks a permis de rassembler de précieuses informations nécessaires à une bonne gestion de la partie belge de la mer du Nord" conclut le docteur en sciences Vanaverbeke.

Pour en savoir davantage:

www.vliz.be/projects/westbanks/



Le norvégien (*Trisopterus luscus*) est un poisson d'eau salée de la famille de la morue (Gadidae), qui compte de nombreuses espèces de poissons (cabillaud, merlan, églefin, etc.) économiquement importantes. Il se trouve dans les eaux peu profondes de l'Atlantique Nord-Est et de la mer du Nord.
(Photo A. Norro, IRSNB).



PONDSCAPE

Une gestion durable des plans d'eau

Si les plans d'eau sont petits à l'échelle des paysages (généralement entre 25 m² et 50 m²), leur biodiversité est grande. Bien plus que celles des lacs, des rivières et des fleuves, par exemple. C'est surtout la richesse des espèces menacées qui frappe. Ce phénomène s'explique par le fait que les migrations d'un plan d'eau à l'autre sont difficiles. La capacité de diversité est donc beaucoup plus importante. De nombreux plans d'eau ont disparu au cours des dernières décennies, mais on en aménage de plus en plus de nouveaux en Belgique, et surtout en Flandre, précisément parce qu'ils se révèlent si essentiels à la préservation de la biodiversité. De nombreuses études ont déjà été réalisées autour de la biodiversité des plans d'eau en Angleterre. Celles-ci ont révélé qu'une part considérable des nombreuses espèces de plantes et de macro-invertébrés d'une région donnée se retrouvait dans les plans d'eau. Les chercheurs anglais Williams et Biggs ont même découvert que jusqu'à 60 % des espèces rares d'eau douce en Angleterre étaient présentes dans les plans d'eau. Une raison de plus pour procéder à des études de ce type en Belgique.

Le projet MANScape a été lancé en décembre 2006. Il mettait l'accent sur les schémas et les processus et sur un échantillonnage dans un grand nombre de plans d'eau. Quelles dynamiques stimulent la biodiversité dans les plans d'eau? Quels facteurs locaux et régionaux les influencent? Le projet PONDSCAPE a vu le jour quatre ans plus tard. "Là, l'approche était différente", explique le coordinateur du projet Koen Martens, de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB). "Nous avons examiné les effets de la connectivité entre plans d'eau. Nous sommes parvenus à impliquer un partenaire luxembourgeois spécialisé dans la productivité des bactéries dans les écosystèmes aquatiques. Nous avons également examiné quels étaient les effets des plans d'eau sur les parasites. Comme de nombreux plans d'eau se situent en zone agricole, nous avons aussi

étudié les conséquences des pesticides sur la biodiversité des plans d'eau. Enfin, nous avons examiné les effets de certaines techniques de gestion sur la biodiversité des plans d'eau. Sur la base de ces résultats, nous avons réalisé des simulations informatiques qui nous ont permis de cerner la meilleure manière d'entretenir les plans d'eau ou de creuser un nouveau plan d'eau."

Des recommandations concrètes

L'objectif du projet PONDSCAPE était de formuler des recommandations scientifiques pour une approche de gestion durable des plans d'eau en préservant ou en améliorant leur biodiversité. Le projet s'est déroulé jusqu'en janvier 2011, mais les principaux résultats sont encore en cours d'analyse. On peut cependant en tirer quelques conclusions claires.

"Nous avons toujours pensé que la biodiversité des plans d'eau était principalement liée à ce qui se passait dans les plans d'eau mêmes ou, tout au plus, à quelques mètres alentour. Or, on sait aujourd'hui que la présence d'un bois à 100 ou 200 mètres plus loin par exemple peut également exercer une influence. Nous avons été frappés de constater que les plans d'eau en zones agricoles ne présentaient pas des niveaux plus élevés de pesticides que la valeur légalement autorisée. Cela s'explique par le contrôle strict des activités agricoles. Mais plus un plan d'eau est situé près d'une zone résidentielle, plus nous avons pu y détecter des herbicides et des pesticides."

Autre résultat intéressant: la profondeur du plan d'eau a elle aussi une incidence sur la biodiversité présente. Martens: "Notre étude révèle que les plans d'eau plus profonds abritent généralement des espèces différentes de celles des plans d'eau moins profonds. La connecti-

tivité, la rapidité de colonisation des nouveaux plans d'eau, constitue également un critère. En cas de creusement de nouveaux plans d'eau, nous recommandons un aménagement par groupes de 5 à 10, en alternant plans d'eau profonds et peu profonds. On maximalise ainsi la biodiversité locale."

Le site de Tommelen

Les étangs de Tommelen occupent une place à part au sein du projet PONDSCAPE. Ils sont nés à la suite du bombardement des forces aériennes américaines sur la gare de Hasselt et l'atelier de la SCNB de Kuringen entre le 8 et le 10 avril 1944. La plupart des bombes ont manqué leur cible et ont atterri dans les champs environnants. "Le site de Tommelen est un laboratoire naturel unique", raconte Martens. "On dénombre au total 123 cratères dans une zone naturelle d'environ 12 hectares gérée par Natuurpunt Vlaanderen. Ils forment un lieu de reproduction idéal pour les amphibiens. C'est un site précieux, car les cratères sont âgés de 70 ans exactement. Chaque étang présente un biotope bien particulier et l'on peut tous les comparer. Une mine d'or pour les scientifiques."



Sparganium emersum
Kleine egelskop © Tom De Bie

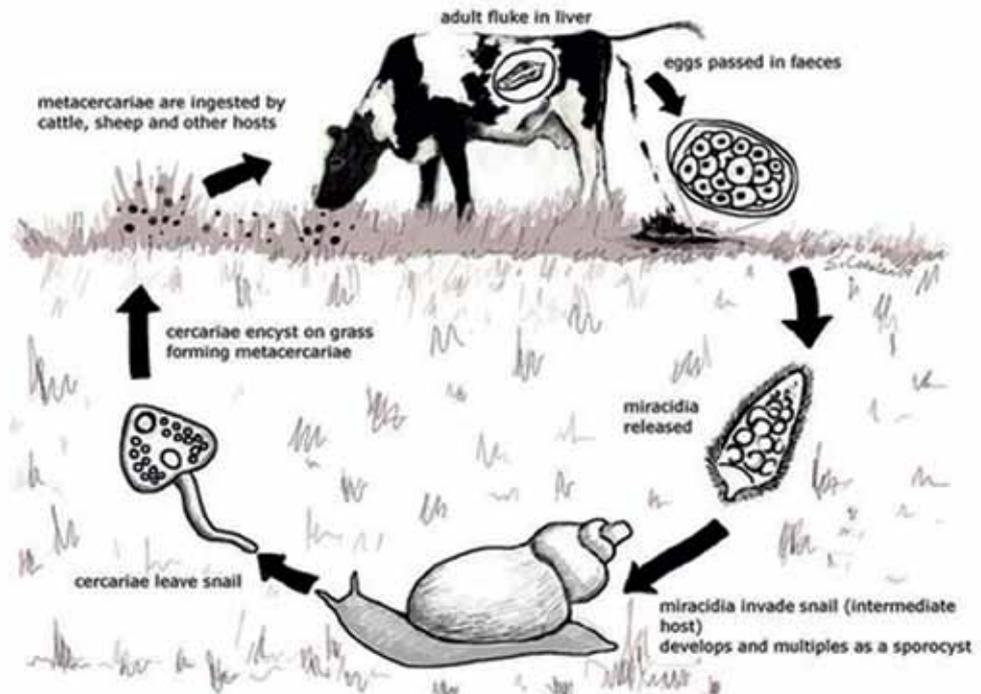


La douve du foie

La douve du foie est un parasite qui peut causer bien des dommages au foie des vertébrés et causer la mort. De nombreux agriculteurs pensaient jusqu'alors que cet escargot vivait dans les étangs. Par crainte de la maladie, ils comblaient ces étangs pour protéger leurs troupeaux. PONDSCAPE a démontré que la problématique de la douve du foie était beaucoup plus nuancée. Martens: "La douve du foie est un parasite qui utilise un escargot

comme hôte intermédiaire. Nous étions convaincus qu'il s'agissait d'une seule espèce d'escargot. Mais grâce à une nouvelle méthode de dépistage ADN, nous avons pu évaluer simultanément dix individus. Il est apparu que seuls quelques-uns des centaines d'escargots examinés étaient infectés par le parasite. Nous avons par ailleurs trouvé la douve du foie dans d'autres types d'escargots. Enfin, nous avons découvert que les escargots de la douve du foie ne se rencontraient pas tant dans l'eau des étangs que dans l'herbe humide.

Cycle de transmission de la douve du foie
Les animaux sont infectés par l'ingestion de larves encapsulées (métacercaires) sur l'herbe contaminée.
<http://www.farmfile.ie/liverfluke>





MODIRISK Les moustiques, vecteurs de maladies

Donc pas uniquement dans les lieux où les agriculteurs avaient comblé des plans d'eau, mais aussi autour des abreuvoirs des vaches. Les résultats de cette étude doivent encore être publiés, mais ils jettent en tout cas un jour nouveau sur un élément important de la biodiversité des plans d'eau."

Mission impossible

Dans le cadre de Natura 2000, toutes les autorités régionales et nationales sont tenues d'établir une typologie générale des habitats des plans d'eau. Mais jusqu'à présent, toutes les tentatives allant dans ce sens ont échoué, en raison précisément de l'immense biodiversité des plans d'eau. C'est la raison pour laquelle PONDSCAPE a organisé un congrès européen sur la typologie des plans d'eau fin 2010. Martens: "La conclusion générale était qu'il est impossible de dresser une typologie des plans d'eau. Car elle peut être totalement différente d'une année à l'autre. Les plans d'eau peuvent s'assécher. Selon la taille et le sous-sol, ils renferment une flore et une faune typiques. Les plans d'eau sont de petits biotopes dotés d'une très grande dynamique. Voilà pourquoi ils sont si difficiles à gérer. Avec MANScape et PONDSCAPE, nous avons en tout cas apporté notre pierre à l'édifice. Le point fort du projet, c'est que nous avons pu échantillonner et analyser un grand nombre d'organismes dans les étangs étudiés. Au total, nous avons examiné par moins de 12 groupes. C'est une étude de cas très solide, ce qui s'est également traduit par quelques publications dans des revues internationales de très haut niveau."

Depuis une dizaine d'années, l'Europe redoute l'*Aedes albopictus*, le moustique-tigre. Amené par le tourisme et le transport de marchandises, ce culicidé originaire d'Asie du Sud-Est s'est désormais installé dans nos contrées. Se propageant facilement dans de nouvelles régions, le moustique-tigre est considéré comme une espèce exotique invasive. Pas une espèce comme les autres toutefois, mais une susceptible de présenter un réel danger pour la santé publique. Le moustique-tigre est en effet un vecteur très efficace de maladies. S'il est infecté par l'un ou l'autre virus, il peut transmettre un certain nombre de maladies graves, comme le virus du Nil occidental, le chikungunya, l'encéphalite, la dengue également appelée fièvre tropicale et la fièvre jaune. L'Europe a tiré la sonnette d'alarme pendant l'été 2007 lorsque plus de 250 personnes ont été victimes d'une épidémie de chikungunya près de Ravenne en Italie, onze d'entre elles ayant dû être hospitalisées et une personne en étant décédée. Le porteur du virus s'est révélé être un Italien qui revenait de vacances en Inde. Il y a quelque temps, la découverte d'un moustique-tigre dans des plants de bambou importés de Chine a fait grand bruit aux Pays-Bas.

La Belgique a jusqu'à présent été épargnée par ce genre d'épidémie, mais en 2000, plusieurs moustiques-tigres ont tout de même été signalés dans la zone de stockage de pneus usagés d'une entreprise de recyclage en Flandre-Orientale. Il est apparu que ces pneus avaient été transportés par navire depuis les États-Unis et le Japon et que le moustique-tigre les avait accompagnés.

"Pour pouvoir évaluer le risque d'épidémie et agir de manière préventive contre les possibles risques de maladies transmises par les moustiques, nous devons d'abord, bien sûr, connaître la biodiversité des espèces de moustiques endémiques et invasives. Les facteurs déclencheurs de changements, tels que les données écoclimatiques, l'affectation des terres et l'urbanisation, revêtent en cela une grande importance",



explique Veerle Versteirt d'Avia-GIS, le partenaire privé de MODIRISK chargé de la stratégie d'échantillonnage, du développement des modèles de prédiction spatiale et de la gestion des données.

*Le moustique tigre !
Dangereusement invasif,
retrouvé occasionnellement
en Belgique et
potentiellement vecteur de
maladies telles que le
chikungunya et la dengue.*

À partir de rien

Lorsque BELSPO a lancé son appel, Avia-GIS n'a pas hésité à se joindre à l'aventure. L'entomologiste médical Wim Van Bortel de l'Instituut voor Tropische Geneeskunde à Anvers a été sollicité pour coordonner le projet. Le département

d'entomologie de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique a été prié d'apporter son expertise en matière d'insectes. Le Centre de Recherche sur la Biodiversité de l'UCL a lui aussi participé au projet. Enfin, il a été fait appel à l'expertise du spécialiste du paludisme Willem Takken, de l'université de Wageningen aux Pays-Bas.

Versteirt: "Nous manquions en Belgique de connaissances sur la taxonomie et la biodiversité des espèces de moustiques endémiques ou sur les moustiques invasifs. Nous ne savions rien non plus des facteurs déclencheurs de changements. Nous sommes donc réellement partis de rien. De zéro. Pendant deux ans – 2007 et 2008 – nous avons parcouru toute la Belgique pour échantillonner des moustiques. Nous avons travaillé au total dans 936 sites différents représentant trois types d'habitats: urbain, agricole et naturel. Nous avons placé un piège sur chaque site. Il y avait toujours 27 pièges en fonctionnement.

Chaque piège est resté une semaine sur le site étudié. Chaque jour, nous vidions et déplaçons trois pièges. En plus du travail de terrain, nous réservions suffisamment de temps à l'identification morphologique des moustiques attrapés. Les chercheurs chargés de cette mission ont commencé leurs propres collections de référence qui ont ensuite été soumises à un examen approfondi en laboratoire. Sur ces deux années, nous sommes parvenus à visiter 97 % des 936 sites étudiés. Au total, ce sont quelque 4 000 moustiques qui ont été collectés et examinés. Une réussite !"

Pionnier en Europe

Cette réussite est due au fait que trois équipes de recherche composées des trois instituts partenaires ont pris en charge l'ensemble du travail de terrain. Mais on la doit également au développement d'outils spécifiques destinés à soutenir le travail de terrain: un site Internet, un outil *palm-to-web* et une base de données. Pour le travail de terrain,



936 pièges au total ont été placés d'après un modèle mathématique tiré de la littérature. "Mais lors de l'évaluation, nous nous sommes demandé s'il était bien nécessaire de placer autant de pièges à autant d'endroits", précise Versteirt. "L'analyse des données a en effet montré que nous aurions obtenu les mêmes résultats si nous avions placé 300 pièges au lieu de 936 !"

Après analyse de tous les résultats et affinement de la méthodologie, les chercheurs de MODIRISK ont pu, grâce à leur méthode d'échantillonnage et leurs outils de haute technologie, élaborer une stratégie d'échantillonnage particulièrement rapide et peu coûteuse. Celle-ci est unique en Europe, car l'échantillonnage n'est pas réalisé en fonction de données historiques, mais selon une approche aléatoire soutenue par des appareils intégrant la cartographie géographique et la modélisation à base de télédétection. Il est ainsi possible de prévoir parfaitement la présence ou l'absence d'un certain moustique. "MODIRISK est un projet de référence pour l'échantillonnage de moustiques dans toute l'Europe", déclare Versteirt. "Les Pays-Bas l'ont repris. La France, la Suisse, l'Allemagne et l'Angleterre ont également montré un grand intérêt pour la manière dont nous avons organisé la prise d'échantillons, les pièges que nous avons utilisés et toute l'approche du projet. On peut considérer MODIRISK comme un pionnier du développement de méthodes destinées à répertorier la biodiversité spatiale des moustiques et découvrir comment ceux-ci s'organisent et se répartissent en différentes populations et différents habitats. Dans le prolongement du modèle MODIRISK, Avia-GIS a développé un système amélioré pour la détection et l'inventorisation des vecteurs, Vec-Map, avec le soutien financier de l'ESA. MODIRISK était donc véritablement à la source du *vector mapping* en Europe."

Le lien avec la santé publique

Les moustiques qui provoquent des maladies virales constituent un risque pour la santé publique. Mais l'extermination des moustiques représente elle aussi un danger. "Jusqu'à présent, cela se faisait en utilisant des insecticides de manière massive et au hasard, sans trop d'arguments scientifiques", poursuit Versteirt. "Cet aspect aussi entre dans le cadre de notre étude. Comment pouvons-nous rendre l'utilisation d'insecticides plus efficace et la réduire? C'est là qu'intervient le *precision pest management*, c'est-à-dire utiliser les pesticides de manière dosée lorsque c'est nécessaire et les limiter à certains moments dans le temps."

"Lorsque l'on pense à la gestion de l'espace naturel, on oublie bien souvent les effets sur la santé publique. On ne se préoccupe que de la nature, des loisirs, etc. MODIRISK a été le premier projet d'étude réalisé dans le cadre du développement durable à établir également le lien avec l'aspect sanitaire. Nous avons démontré qu'il est essentiel d'accorder de l'attention à la transmission de maladies par des vecteurs. La politique doit en tenir compte. Suite à MODIRISK, des discussions ont été lancées en vue de créer une plateforme sur les moustiques invasifs. Grâce à cette plateforme, les autorités fédérales et régionales chargées de la santé publique, de la médecine vétérinaire, de l'environnement et de la nature discuteront ensemble pour établir un plan politique. Je suis très contente que nous ayons pu enclencher ce débat social", conclut Versteirt.



Projet FORBIO Quand l'arbre sauve la forêt

La forêt. Ce mot a pour chacun d'entre nous un parfum de rêve d'enfance. Touffue, variée, mystérieuse, habitée de mille vies discrètes, la forêt sauvage du Petit Poucet est légende.

Dans l'Antiquité, l'Europe entière en était couverte et la nature y régnait sans partage. Les diverses essences avaient conservé une importante richesse écologique et donc une grande biodiversité. L'exploitation des taillis servait souvent au bois de chauffage, à la fabrication du charbon de bois tandis que les troncs des arbres étaient transformés par le menuisier, le charpentier ou le tonnelier. Pressés par des obligations économiques, les sylviculteurs l'ont en grande partie convertie en blocs homogènes d'arbres sortis d'un même moule: même âge, même taille et même espèce.

La forêt, la vraie, à fait place aux plantations standard où l'arbre ne répond désormais plus qu'à la seule fonction prédominante... la production du bois.

Le projet Forbio

A l'issue d'une rencontre avec un groupe de forestiers représentant une douzaine de pays du monde entier (Europe, Asie, Amérique du Nord et Centrale, Australie et Afrique), un certain nombre de professeurs belges en sylviculture, sous la direction du professeur Dr. Ir. Kris Verheyen (Université Gent), ont décidé de promouvoir le développement de forêts plus diversifiées et davantage respectueuses des processus naturels, considérées comme plus résistantes aux maladies et aux aléas climatiques.

"L'idée première était de partir d'une forêt existante très mélangée au point de vue essences différentes et, par élimination, de la rendre de moins en moins diversifiée (jusqu'à en arriver à

une monoculture) pour ainsi étudier les espèces de plus en plus résistantes. Mais la forêt vit très lentement, trop lentement pour réaliser l'étude envisagée. Nous avons donc décidé d'inverser le travail, de planter nous même les arbres et de créer ainsi... une forêt" explique le professeur Verheyen. *"L'inspiration vient de collègues allemands du Max Planck Institute à Jena qui avaient débuté une telle expérience en 2003. Notre équipe, compte aujourd'hui des chercheurs des universités de Gand, Leuven, Louvain la Neuve, Liège"* poursuit le chercheur.

Le but de Forbio** est d'étudier, dans un cadre de recherches menées à l'échelle mondiale, les relations existantes entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes forestiers. *"Nous avons aujourd'hui une nouvelle conception de la forêt et nos travaux portent sur les services que rendent les écosystèmes forestiers à la société. La production de bois demeure mais il y a désormais une prise de conscience de l'importance de la forêt pour l'absorption du CO₂, dans le contrôle de l'érosion, dans la purification de l'eau, de la diffusion des poussières fines, de la pollinisation, comme lieu de récréation, etc."* précise encore le professeur Verheyen.

Il est évident que nous vivons actuellement dans un monde en pleine évolution et que les forêts, qui couvrent aujourd'hui 30 pour cent des terres émergées de la planète, risquent d'être transformées (sinon disparaître) dans de nombreux endroits, par les impacts de la croissance démographique, l'essor des économies et les effets profonds liés à la sécheresse et à l'élévation de la température suite aux changements climatiques. *"Il y a donc un risque à se limiter aux monocultures et il était par conséquent temps de diversifier les essences d'arbres dans un milieu en évolution"* recommande le scientifique.

* www.treedivnet.ugent.be

** <http://forbio.biodiversity.be/>

Ça pousse !

“Les arbres que nous avons plantés il y a maintenant quatre ans ont pris racines et les bouleaux atteignent une hauteur de 5 à 6 mètres à Zedelgem, les mélèzes de 4 à 5 m à Gedinne . Les autres espèces ont environ 2 mètres de haut” poursuit le professeur Verheyen “Mais l’expérience se poursuivra encore certainement pendant 30 ou 40 ans. Nous n’en sommes encore qu’à la première étape: la mise en place”. Et déjà une chercheuse indonésienne va publier le premier article scientifique basé sur des observations réalisées dans les plantations. Il s’agit d’une étude sur les attaques subies par les feuilles des différentes essences d’arbres par les insectes. Ce travail confirme ce que la logique laissait supposer, à savoir que les arbres d’une même essence mais regroupés sont davantage attaqués que ceux isolés et mêlés à d’autres espèces” conclut le professeur Verheyen.

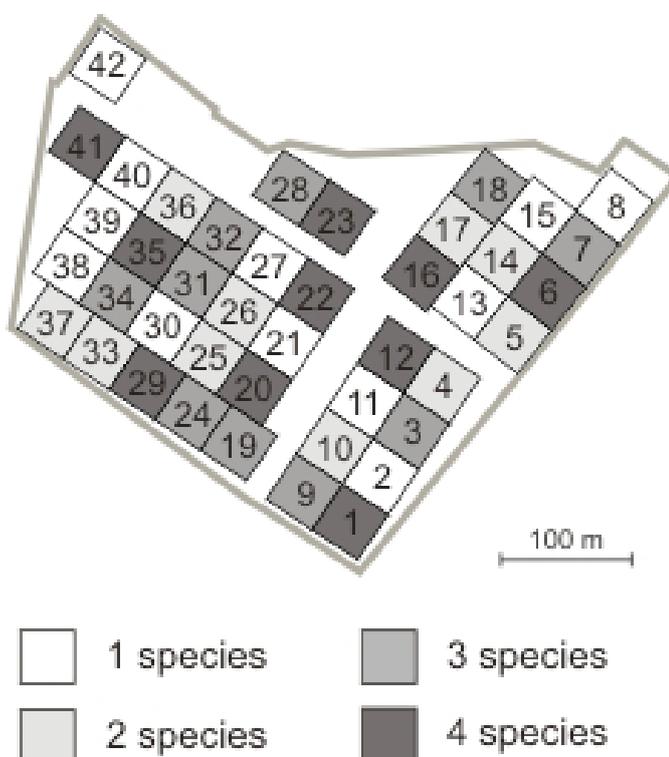


Schéma de la plantation de Zedelgem

Trois dispositifs expérimentaux similaires ont été mis en place en Belgique dans le cadre du projet Forbio: les deux premiers à Zedelgem (province de Flandre occidentale) et à Gedinne (province de Namur) au cours de l’hiver 2009/2010, le troisième à Hechtel-Eksel (province du Limbourg) depuis 2012 grâce au soutien financier de Belspo, du département de la nature et des forêts (DNF) en Wallonie et de l’agence pour la nature et les forêts (ANB) en Flandre ainsi que la commune de Gedinne.

Dans chaque site, environ 33.000 arbres appartenant à cinq essences ligneuses différentes ont été plantés dans 40 à 42 parcelles à Zedelgem, 41 à Hechtel-Eksel et 44 à Gedinne. Les cinq essences ont été choisies sur base de l’adéquation avec les conditions locales, de leur complémentarité physiologique et d’une diversité réaliste pour nos forêts. C’est ainsi que ces cinq essences comprennent des chênes, des douglas, des érables, des hêtres, des mélèzes, des bouleaux, des pins ou des tilleuls, au maximum quatre essences différentes étant mélangées au sein de chaque bloc. Dans certaines parcelles une monoculture a été introduite, tandis que dans certaines autres il s’agit d’un mélange de deux ou trois sortes.



5



2



3



4



5



6

- 1 Site de Hechtel juste après la plantation en Décembre 2012 (JeroenOsselaere_Pijnven_20121221)
- 2 Site de Zedelgem en Avril 2013 (MathiasDillen_Zedelgem_20130424)
- 3 Site de Zedelgem en Juin 2013: parcelle où 2 espèces d'arbres (pin sylvestre et tilleuls) sont mélangés (MathiasDillen_Zedelgem_20130612)
- 4 Site de Gedinne (Gouverneurs) en Juillet 2013 (MathiasDillen_Gouverneurs_20130717)
- 5 et 6 Site de Zedelgem: plantation en Mars 2010 (JohanEeckhout_Zedelgem_20100323, XX_Zedelgem_20100323)



COBIMFO

Mesure du stockage du carbone et surveillance de la biodiversité des ressources forestières dans le bassin central du Congo

Le programme international ONU-REDD*+ entend exprimer en “dollars” la valeur des initiatives de gestion durable des stocks de carbone dans les forêts tropicales. Pour ce faire, il faut d’abord examiner la quantité précise de carbone présente dans ces forêts et la quantité de carbone qui vient s’ajouter ou qui est dégagée chaque année. D’autres éléments entrent toutefois en jeu en parallèle à cet objectif car il ne s’agit pas seulement de la quantité de carbone stockée dans ces forêts. Il est également question du maintien de la biodiversité, aussi bien de la faune que de la flore et d’autres fonctions écosystémiques. Pensons par exemple au “Parc national de Kahuzi Biega” dans le Sud-Kivu (République démocratique du Congo), où vivent les gorilles des montagnes en voie d’extinction. Les forêts tropicales constituent par ailleurs une source importante d’eau potable. En protégeant ces forêts de manière durable, on lutte également contre la dégradation des sols. Le programme ONU-REDD+ a pour objectif final de rétribuer de manière juste les groupes de population vivant dans les forêts tropicales ou aux environs pour leur gestion durable.

Le bassin central du Congo, une zone inexplorée

Les ressources forestières du bassin du Congo en Afrique centrale constituent un domaine d’étude important dans le cadre d’ONU-REDD+. En effet, le bassin central du Congo est encore une zone presque vierge. Contrairement à l’Amazonie, on ne sait pour ainsi dire rien sur les stocks et l’échange de carbone, sur la diversité et sur la vulnérabilité du sol dans le bassin central du Congo. C’est la raison pour laquelle la République démocratique du Congo a été reprise parmi les 9 pays pilotes du programme.

La Belgique ne pouvait rester absente d’un projet aussi ambitieux. Un groupe de chercheurs a

donc collaboré au projet COBIMFO sous la coordination de Pascal Boeckx, de la faculté d’ingénierie biologique de l’université de Gand. Objectif: rassembler des données de référence sur l’atténuation du carbone et la biodiversité dans le bassin central du Congo.

Une passion pour l’écologie des forêts tropicales africaines

“Pour commencer, il nous a fallu sélectionner plusieurs sites”, explique Boeckx. “Pour cela, nous avons essentiellement eu recours à l’expertise de Pierre Defourny de l’UCLouvain dans le domaine de la télédétection. Nous avons pu ainsi déterminer une vingtaine de sites d’un hectare chacun, dans la réserve de biosphère de Yangambi le long du fleuve Congo. Ces sites se situent au cœur ou en bordure de divers types de forêts: jeunes forêts, forêts en pleine recroissance et forêts entièrement développées. Pour que les travaux d’étude se déroulent dans les meilleures conditions, nous avons composé deux équipes: l’une se consacrant au carbone et l’autre à la biodiversité. L’équipe “carbone” comprend des experts des universités de Gand et de Liège ainsi que Hans Beeckman du Musée royal de l’Afrique centrale. Ils coordonnent toutes les activités liées à la surveillance des stocks de carbone dans ces 20 sites. L’équipe “biodiversité”, composée d’experts du Jardin botanique national de Meise, de l’institut belge des Sciences naturelles de Belgique et de l’université d’Anvers, se concentre sur l’inventorisation et la surveillance de la biodiversité sur les sites.”

Selon Boeckx, l’évaluation des stocks de carbone dans les forêts est relativement simple. “On mesure le diamètre et la hauteur de chaque arbre sur le site et, en fonction de cette relation, on peut déterminer la quantité de carbone présente. Mais lorsque nous avons examiné les rapports entre diamètre et hauteur des arbres

* United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries

de l'ouest du bassin du Congo – à savoir au Cameroun et au Gabon –, décrits dans la littérature comme valables d'une manière générale pour l'Afrique centrale, nous avons constaté qu'ils ne correspondaient pas à nos mesures sur place. Pendant nos campagnes de mesures, nous avons en effet constaté que les arbres les plus hauts à Yangambi étaient en moyenne plus petits de dix mètres. Entre-temps, nous avons également réalisé des observations avec des instruments modernes de télédétection sur de plus grandes surfaces dans le bassin central du Congo. Et il en est ressorti que les hauteurs d'arbres sont très variables. Nous ne savons pas encore quelle en est la raison. Un travail de terrain ultérieur devra le démontrer. Mais si nous extrapolions les données du Cameroun et du Gabon au bassin

central du Congo, cela entraînerait une surestimation des stocks de carbone de près de 25 % ! Ce qui équivaldrait également à une surestimation de 25 % de la valeur financière du bassin central du Congo. Ce qui est, bien sûr, impossible.”

Des données belges de qualité

La qualité des données collectées par l'équipe carbone pendant la surveillance au sol dans le bassin central du Congo et publiées dans le magazine de renom *Nature Communications* n'est pas passée inaperçue. Des organisations comme le World Wildlife Fund et l'université de Los Angeles (UCLA, États-Unis) se montrent très intéressées dans le cadre du projet “**Car-**

Phallus indusiatus
(syn: *Dictyophora indusiata*)
© Bart Wursten





CHOLTIC-project Epidémies de choléra au lac Tanganyika

bon Map and Model” (CO₂M&M). Boeckx: “Pour ce projet, un avion spécial est équipé d’appareils laser de télédétection afin de compter les arbres et de mesurer très rapidement leur hauteur sur de vastes superficies. Mais, pour pouvoir bien calibrer ces signaux laser, il est indispensable de disposer de données de qualité tirées d’une surveillance au sol. Ce que nous pouvons fournir. L’association de ces deux sources d’information permet de générer des données extrêmement fiables sur les stocks de carbone dans l’ensemble du bassin du Congo. L’International Institute for Tropical Agriculture de Nairobi (Kenya) nous a aussi demandé – dans le cadre d’un projet de l’African Wildlife Fund – de réaliser des mesures du carbone dans la province congolaise de l’Équateur. Les deux projets débiteront courant 2014.”

L’équipe “biodiversité”, de son côté, travaille actuellement sur la mise sur pied d’une banque de données présentant des indices de biodiversité liés aux plantes, champignons, fourmis, termites, araignées, mouches, abeilles, arthropodes et rongeurs enregistrés dans les 20 sites du bassin central du Congo. L’accent est placé avant tout sur l’inventorisation. Il faudra bien sûr attendre la fin du projet que pour les résultats puissent être publiés dans des magazines de premier plan comme *Nature Geoscience*, *Nature Climate Change*, *BMC Biology of Conservation Biology*.

On croyait la maladie moribonde mais depuis 1971 on assiste à la septième pandémie de choléra, le continent africain et plus particulièrement la région du lac Tanganyika étant la zone géographique la plus fréquemment et la plus violemment touchée par la maladie depuis 1977-1978.

Un docteur en médecine congolais, Didier Bompangue, qui s’intéressait aux épidémies de choléra a contacté le docteur en sciences agronomiques Pierre-Denis Plisnier, chercheur au Musée Royal d’Afrique Centrale. Celui-ci a vécu de nombreuses années dans le sud du lac Tanganyika et avait observé dans le cadre d’un projet de recherche précédent d’importants changements au niveau du climat, de la pêche et du fonctionnement du lac vers 1977.

Tout naturellement, ces deux chercheurs se sont posés la question du rôle du lac dans la diffusion du choléra et c’est en collaboration avec quatre équipes belges (Universités de Liège et de Louvain-la Neuve, du Jardin botanique national de Belgique et de l’Institut de médecine tropicale), de chercheurs des Hôpitaux de Marseille et de l’université de Besançon (France), de l’Institut National de la Recherche Biomédicale et du Centre de recherches hydro-biologique de la République Démocratique du Congo, du Département des Pêches et du Ministère de la Santé de Zambie qu’ils cherchent à vérifier les relations pouvant exister entre l’abondance planctonique et les cas de choléra

Deux hypothèses de base

*“On savait que dans l’océan Indien la bactérie *Vibrio cholerae* avait trouvé refuge dans l’estomac de certains zooplanctons et qu’en fonction du développement de blooms d’algues, le choléra pouvait se développer. Il existait donc un lien entre le plancton et le choléra dans les eaux*



océaniques mais cela n'est pas connu pour les eaux douces" explique Pierre-Denis Plisnier. "Le docteur Didier Bompangue, (RDC) disposait de données épidémiologiques tandis qu'avec nos collègues de l'ULG, nous disposions de données satellitaires sur l'abondance du phytoplancton sur une période de quatre années au lac Tanganyika. En comparant ces données nous avons constaté une certaine corrélation mais on ignorait s'il y avait une relation de cause à effet" poursuit-il.

Les chercheurs se lancent alors dans la recherche de ce lien et avancent deux hypothèses: il existerait un déclencheur environnemental lié au développement de la bactérie et un facteur humain, c'est-à-dire que certaines personnes pourraient être infectées sans en mourir, certaines circonstances déclenchant les épidémies. L'idée était donc de repérer à quel moment les premiers cas de la maladie étaient signalés et quelles étaient les conditions environnementales à cette période.

"Dans le cadre du projet CHOLTIC, un suivi régulier a été développé: enregistrements météorologiques (vent, température...), mesures de paramètres limnologiques du lac (transparence, pH, température, biomasse planctonique, etc.) à trois endroits au bord du lac Uvira et Kalemie en RDC et Mpulungu en Zambie" continue le chercheur.

L'environnement et l'homme

Le lac Tanganyika n'est pas homogène temporellement et on y observe d'énormes vagues internes entraînant un déplacement régulier vertical pouvant atteindre 40 à 50 m avec une périodicité d'environ trois semaines. Vers le mois de mai et pendant quatre mois, suite aux alizés du sud-est, on assiste à une accumulation des eaux chaudes en surface vers le nord et à un courant de retour vers le sud en profondeur. Cela entraîne des mouvements d'eaux chargées en nutriments vers la surface qui peut alors rapidement changer de couleur et les espèces planctoniques prolifèrent. En sep-

Un panneau indiquant les précautions à prendre contre le choléra (Mpulungu, Zambie).



tembre, c'est l'arrêt du vent du SE avant le retour de la pluie, le lac est alors balayé par une énorme vague progressive et les couches plus profondes oscillent pendant le reste de l'année. Sa surface se couvre régulièrement de blooms d'algues en relation avec la pêche alors plus abondante de sardines. Elle est pratiquée par plus de 40.000 pêcheurs qui ramènent plus de 200.000 tonnes par an et consommée par plus d'un millions de personnes.

"Un modèle mathématique tenant compte des paramètres climatologiques et limnologiques disponibles est actuellement en développement mais déjà il aide à mieux comprendre quand et pourquoi les blooms d'algues se développent. Différents scénarios de changements climatiques et de simulations des mouvements de la thermocline le long de l'axe nord-sud du lac devraient ainsi permettre de faire une prédiction de l'état du lac et peut-être de prévoir l'émergence du choléra dans la région" poursuit Pierre Denis Plisnier. "La bactérie du choléra a déjà été trouvée dans le lac Tanganyika mais pas sous sa

Comme beaucoup d'autres résidents, un enfant collecte l'eau du lac à Uvira (République démocratique du Congo).



forme toxique. Par conséquent, en multipliant les échantillonnages et les analyses, peut-être que nous la découvrirons au cours du projet. De toutes façon, nous nous intéressons à l'aspect statistique des conditions environnementales favorisant le développement des épidémies et leur propagation" conclut le chercheur.

Pêcheurs de retour de la pêche à Mpulungu.



La maladie

Le choléra est une maladie contagieuse strictement humaine, provoquée par *Vibrio cholerae*, une bactérie qui colonise très rapidement la surface des eaux de certaines algues et du zooplancton. Elle peut ainsi persister dans cet environnement pendant des périodes de temps prolongées. L'eau est donc un facteur essentiel de transmission de la maladie.

La maladie se traduit par une diarrhée profuse parfois accompagnée de vomissements survenant quelques heures à quelques jours après l'ingestion d'eau ou d'aliments souillés par *V.Cholerae*. Si elle peut emporter un malade en quelques heures, elle se soigne heureusement très bien.



Afrique centrale: quand notre planète se fait menaçante

Chaque année, les accidents liés aux risques d'origine géologique défrayent la chronique dans la région des Grands Lacs, en Afrique centrale.

Les séismes d'une amplitude dévastatrice sont des phénomènes récurrents entraînant des impacts humains et matériels parfois dramatiques.

Les glissements de terrain affectent les collines du Burundi, jusque dans sa capitale, Bujumbura, où des habitations s'écroulent régulièrement. Les provinces de l'ouest du Rwanda sont aussi affectées par de tels phénomènes.

En République Démocratique du Congo, plus précisément dans la région de Goma (province du Nord Kivu), il y a le cas de ces élèves qui souffrent de maux de tête récurrents quand ils sont en classe ou de ces enfants que l'on retrouve décédés dans les eaux du lac Kivu, du fait de l'accumulation de dioxyde de carbone dans des dépressions de terrain ou à la surface du lac. Lors de l'éruption volcanique du volcan Nyiragongo en 2002, ce sont des quartiers entiers de cette ville qui avaient été ensevelis en quelques instants par des coulées de lave aussi soudaines que mortelles.

Aléa sismique, volcanisme et glissements de terrain

Ces tragiques faits-divers reflètent quelques-unes des difficultés rencontrées par les habitants de cette région. "Globalement, nous travaillons dans une vaste zone allant du nord du lac Tanganyika au Parc National des Virunga", indique Caroline Michellier, géographe de l'Université Libre de Bruxelles, impliquée dans le projet. "Nous nous intéressons plus spécifiquement aux provinces du Nord et du Sud Kivu (RDC), ainsi qu'au Rwanda et au Burundi".

"Nous étudions cette zone depuis plusieurs années. Elle est soumise à de nombreux aléas d'origine géologique (séismes, activité volcanique et glissements de terrain) que nous étudions sous tous leurs aspects pour tenter de mieux les comprendre", explique François Kervyn, géologue au Musée Royal de l'Afrique centrale (MRAC) et coordinateur du projet de recherche GeoRisCA (Géo-risque en Afrique Centrale: approche intégrée des multi-aléas et de la vulnérabilité au service de la gestion du risque global). En effet, afin de déterminer la localisation de ces risques et émettre des hypothèses quant à leur période d'occurrence, les scientifiques impliqués dans le projet GeoRisCA ont mené depuis 2005 une série de recherches sur place.

Les outils d'analyse spatiale

Avec leurs collègues de la VUB, de l'ULg et, au Luxembourg, du Musée National d'Histoire Naturelle et le Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, les scientifiques du projet GeoRisCA ont pour objectif de produire des cartes des risques en présence dans cette région. Les partenaires du projet utilisent et développent leurs expertises respectives, notamment en matière de télédétection spatiale.

"Depuis les années 1980, le MRAC étudie l'activité tectonique du Rift Est-africain. Notre domaine de recherche s'est ensuite diversifié vers d'autres risques naturels d'origine géologique. Depuis les années 1990 et l'arrivée de l'interférométrie radar par satellite, les chercheurs du Musée ont développé des compétences de pointe dans ce domaine, appliqué à l'étude des risques naturels. D'autres projets de recherche financés par la Politique scientifique fédérale, tels les programmes STEREO, ont grandement contribué à cette spécialisation" précise le Dr Kervyn.

En sismologie et en volcanisme, cette approche est combinée à des mesures in situ et des études en paléovolcanologie. De plus, des techniques de surveillance du lac de lave du Nyiragongo sont développées afin de mieux comprendre ses variations.

Composante sociétale

Avec l'aide d'un anthropologue du MRAC et de géographes de l'ULB, le projet GeoRisCA s'intéresse aussi à la vulnérabilité des populations locales face à ces risques. Cela passe par l'identification des éléments susceptibles d'être exposés aux aléas géologiques considérés (localisation et densité des populations, des réseaux, des infrastructures). L'étude prend aussi en considération les capacités d'adaptation des populations, principalement dans les régions de Bukavu et de Goma.

Enfin, la perception de ces risques naturels par les populations locales est comparée avec d'autres problèmes auxquels elles doivent faire face, comme l'insécurité engendrée par les conflits politiques ou encore l'accès aux ressources alimentaires.

Collaboration scientifique

En 2012, l'équipe de chercheurs belges et luxembourgeois a effectué une tournée des partenaires locaux de GeoRisCA. Elle a présenté le projet, défini le cadre des collaborations, détaillé les techniques qui seront développées et écouté les souhaits émis par les acteurs de terrain. Cela a permis de renforcer le partenariat avec l'Observatoire Volcanologique de Goma et de formaliser des collaborations avec d'autres équipes académiques de la région: à Bujumbura et Bukavu, par exemple.



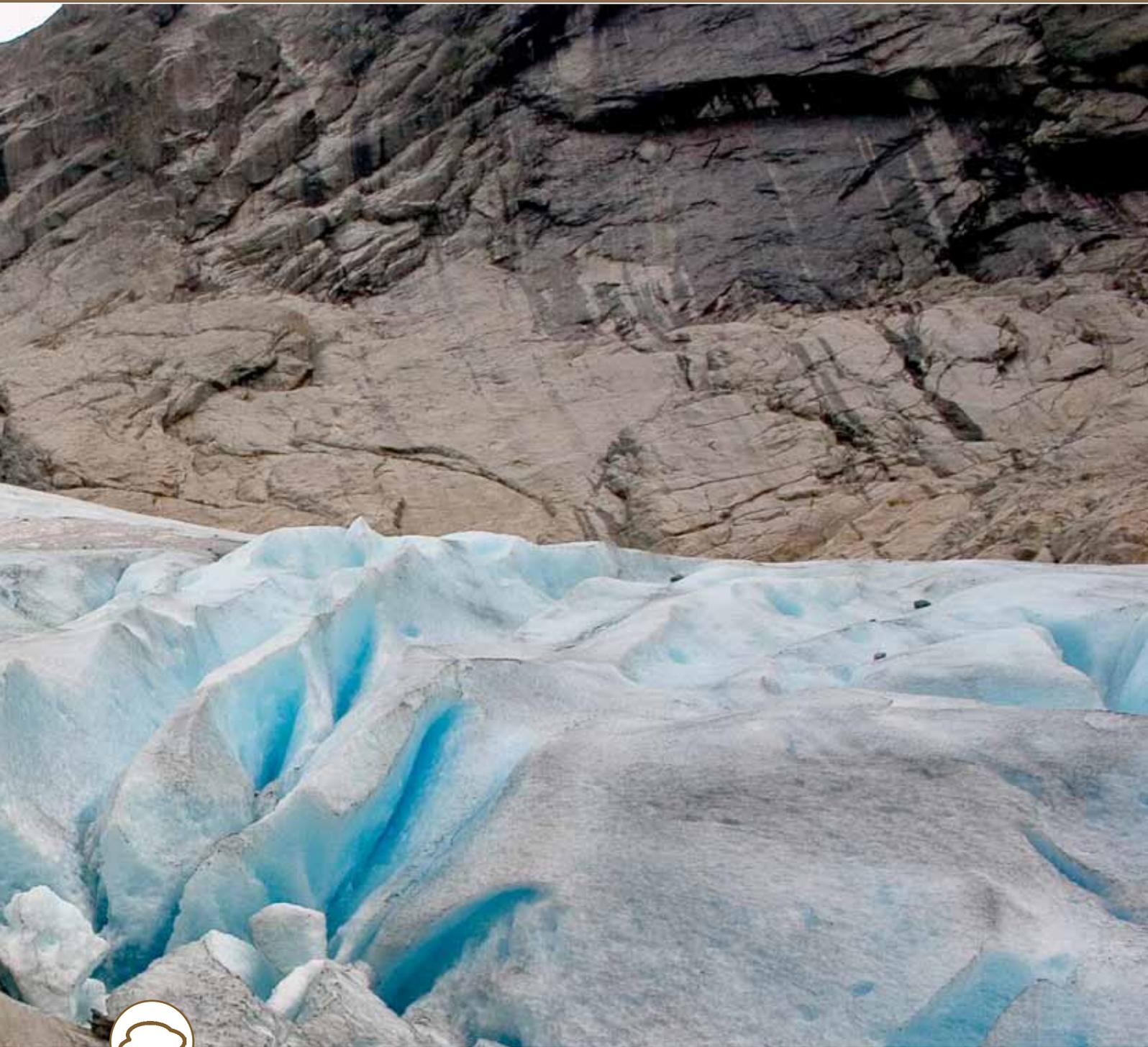
“Outre la mise en œuvre et le développement de l'expertise scientifique des équipes impliquées dans le projet, GeoRisCA vise aussi à produire des outils d'aide à la décision les plus adaptés aux besoins des acteurs de terrain (autorités locales, ONG, agences internationales de coopération). Ceux-ci combineront les données relatives à chaque aléa avec celles correspondant à la vulnérabilité” reprend François Kervyn. Au final, ces outils contribueront non seulement à réduire les effets dévastateurs des différentes catastrophes géologiques et à l'identification des zones à risques, mais ils devraient également permettre une autre gestion de l'aménagement du territoire.

La concertation avec les acteurs locaux autour des résultats à venir du projet se double d'échanges scientifiques avec les chercheurs africains, comme en atteste le succès de la conférence AVCoR-2013, organisée en novembre 2013 à Gisenyi (Rwanda) (<http://avcor2013.africamuseum.be/>).

Pour les équipes belges et luxembourgeoises impliquées, GeoRisCA a aussi pour objectif de renforcer leur visibilité, de même que d'attirer l'attention sur les problématiques rencontrées dans cette région très particulière. “Avec AVCoR-2013, nous avons eu l'occasion de mettre sur l'avant de la scène internationale le rôle prépondérant de nos activités dans la région”, conclut le coordinateur du projet, qui souligne aussi les perspectives de publications scientifiques qui découleront de GeoRisCA.

Glissement de terrain dans les monts Itombwe, pouvant avoir été initié par un tremblement de terre (étude de terrain en cours). <http://georisca.africamuseum.be>





CLIMAT ET ATMOSPHÈRE LES DÉFIS DU CHANGEMENT

Texte: Johan LAMBRECHTS

Processus climatiques

Parmi les grands défis auxquels notre société sera confrontée au cours des années à venir, la thématique du climat est certainement la plus urgente. Les études financées par BELSPO accordent une attention particulière à cette problématique. Ces dernières années, les scientifiques ont effectué des recherches fondamentales autour des processus biologiques et ont affiné et amélioré les modèles climatiques. L'impact du changement climatique en Belgique a également fait l'objet d'études minutieuses, de même que la façon dont nous devons nous y adapter en réalisant des travaux d'infrastructure ou en modifiant notre gestion de l'eau.

Quelle est l'influence des processus biologiques, physiques et chimiques sur le changement climatique? C'est autour de cette question centrale qu'ont travaillé différents scientifiques dans le cadre des recherches BELSPO en vue d'améliorer les connaissances des processus atmosphériques et des aérosols.

L'étude AGACC a permis d'améliorer la méthodologie de mesure de la composition atmosphérique et de ses changements, grâce à des observations au sol avancées qui ont ensuite servi à concevoir des modèles climatiques.

Professeur Martine De Mazière (IASB):

“Les mesures AGACC sont réalisées dans le cadre de réseaux internationaux: les résultats prennent vraiment sens lorsqu'ils sont associés aux résultats des autres stations au monde. Les méthodes de détection et l'analyse des mesures surtout ont été fortement améliorées. Grâce à des appareils de mesure avancés, nous pouvons désormais détecter de très petites absorptions bien mieux que par le passé. Le projet AGACC 2 se concentre surtout sur les gaz à effet de serre: le méthane et le CO_2 . Pour le Jungfraujoch dans les Alpes suisses, nous avons procédé à de nouvelles analyses d'anciennes mesures atmosphériques à l'aide de techniques modernes actuelles et établi ainsi une série temporelle de l'évolution des gaz à effet de serre depuis 1976. Pour le CO_2 , cette étude a confirmé la tendance en cours depuis des années: la teneur en CO_2 dans l'atmosphère continue d'augmenter considérablement. Cela prouve la nécessité du suivi à long terme. C'est en effet la seule manière de détecter les changements chimiques dans l'atmosphère qui peuvent avoir une incidence sur le climat et sur la qualité de l'air. Nous avons également lancé une station d'observation atmosphérique au Burundi afin d'observer la pollution et la qualité de l'air locales. Peu de mesures sont réalisées en



Son infrastructure et son emplacement unique sur le Jungfraujoch (Suisse) font de l'observatoire Sphinx une station importante pour la recherche atmosphérique.

Afrique, mais là aussi bien sûr, on retrouve des émissions qui ont une très forte incidence sur l'atmosphère."

L'étude BIOSOL se concentrait sur les composés organiques volatils biogéniques (COVB) émis par les arbres (monoterpènes) qui, par oxydation atmosphérique, provoquent la formation d'aérosols secondaires.

Le projet IBOOT cherchait à mieux comprendre et à quantifier l'impact des COVB sur la qualité de l'air et sur le système climatique, notamment en raison des aérosols et des gaz à effet de serre comme l'ozone et le méthane.

Professeur Willy Maenhaut (UGent): "Les aérosols exercent une influence sur le climat. Ils provoquent d'une manière générale un refroidissement de l'atmosphère au niveau du sol et neutralisent le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, mais ils ont également des effets sur la santé humaine. En effet, les submicroparticules peuvent pénétrer profondément dans les poumons et certains composants présentent de sérieux risques pour la santé. Pour l'étude, des expériences ont été réalisées en chambre à smog et des mesures de terrain

ont été relevées dans trois sites européens boisés ainsi que sur une île reculée au sud de l'océan Indien. La maîtrise des niveaux de particules fines, appelées aérosols PM 10, est un défi important pour la Belgique. L'influence néfaste des particules fines pour la santé publique entraîne, dans notre pays, une diminution de l'espérance de vie de plus d'un an. Cette étude portant sur la formation et la contribution des différents composants des particules fines est nécessaire pour que les responsables politiques puissent prendre des mesures adaptées afin de faire baisser les niveaux. Ainsi, la Vlaamse Milieumaatschappij (société flamande pour l'environnement) s'est fondée sur notre étude pour émettre des recommandations en vue de limiter la combustion de bois pendant les épisodes hivernaux présentant des phénomènes d'inversion thermique néfaste et réduire ainsi les concentrations de PM10."

Modélisation du climat

Les modèles climatiques sont des représentations scientifiques simplifiées d'un système complexe, en l'occurrence de la surface de la terre, de l'atmosphère, des océans et des processus à l'œuvre. Ces systèmes informatiques (logiciels) de formules mathématiques élaborées, auxquels des corrections peuvent être apportées en permanence, se basent sur les lois de la physique, le mouvement des liquides et des gaz et la chimie.

Les scientifiques belges jouent un rôle important dans la recherche en Antarctique, y compris en matière de dynamique des calottes glaciaires.



La dynamique des calottes glaciaires: une estimation corrigée de la masse des glaces

Il existe actuellement entre 30 et 50 modèles climatiques disponibles dans le monde, sur lesquels travaillent des milliers de scientifiques. Mais il n'existe qu'une dizaine de modèles différents sur les calottes glaciaires, qui occupent moins d'une centaine de scientifiques. Les scientifiques belges jouent dans ce domaine un rôle particulier, comme le montre l'étude ICECON.

Professeur Frank Pattyn (ULB): "Avec ICECON, nous voulons mieux cerner le volume de glace actuel et passé ainsi que l'ampleur de la calotte antarctique en Dronning Maud Land à l'aide de nouvelles observations et modélisations. L'objectif du projet est de vérifier à quelle vitesse la calotte antarctique perd de sa masse, où cela se produit exactement et quelle quantité elle a déjà perdue par le passé, car cette donnée reste inconnue. Or, il s'agit d'une information essentielle si nous voulons connaître la contribution de l'Antarctique au niveau des mers. Cette thématique est très importante, car une hausse du niveau des mers aura une incidence partout dans le monde. Mais il reste de grandes incertitudes concernant l'Antarctique, même dans le dernier rapport du GIEC.

Les reconstructions actuelles et certains modèles indiquent que l'épaisseur de la calotte antarctique dans la région côtière était supérieure de plus de 1000 mètres à son niveau actuel, mais nous en doutons. Notre hypothèse est que, pendant la dernière ère glaciaire, il y a environ 20 000 ans, il y avait beaucoup moins de glace dans toute cette région qu'on ne le supposait jusqu'alors. La seule manière de vérifier si cette hypothèse est correcte consiste à procéder à un nombre suffisant de mesures de précision. La méthode la plus utilisée fait appel à un satellite qui mesure les changements de masse sur l'ensemble de l'Antarctique. Mais ces changements ne portent pas seulement

sur la masse des glaces, mais aussi sur les mouvements de la croûte terrestre et des océans. Si nous voulons traduire ces données pour évaluer la quantité de glaces, nous devons également mesurer avec précision les changements réels en certains lieux. Avec des appareils GPS de haute précision que nous plaçons sur des aiguilles rocheuses en Antarctique, notamment sur la base Princesse Élisabeth, nous mesurons la position en permanence depuis quatre ans. Après un filtrage considérable, nous pourrions en déduire le mouvement de la croûte terrestre, de quelques millimètres seulement. Nous pourrions ainsi calculer la masse des glaces présentes par le passé, car la croûte terrestre réagit en effet à la perte de masse des glaces (isostasie). Mais nous utilisons également d'autres informations. On trouve, autour de l'Antarctique, des petits îlots de glace. Ils constituent un phénomène glacio-dynamique très particulier: si nous émettons un signal électromagnétique à l'aide d'un radar à travers la calotte glaciaire, nous pouvons identifier différentes couches de glace. Il s'agit d'isochrones qui ont tous le même âge, ce qui permet de déterminer l'âge de la glace. Ces îlots de glace développent un certain schéma dans ces isochrones, ce qui nous permet de voir depuis combien de temps ces îlots existent. Enfin, un troisième type d'information est déjà disponible. Dans les monts Sør Rondane où se situe la station Princesse Élisabeth, il est possible de définir les hauteurs précédentes de la glace, en analysant des pierres à nu et en déterminant combien de temps elles ont été exposées au rayonnement cosmique. Lorsqu'il y avait de la glace, elles n'étaient bien sûr pas soumises à ce rayonnement. Nous utilisons également ces informations et il en ressort, là encore, que les changements étaient relativement limités, ce qui nous conforte dans notre hypothèse. En rassemblant toutes ces informations dans le cadre du projet ICECON, nous pourrions présenter un nouveau modèle affiné du mouvement de la calotte glaciaire."

Icecon2012.blogspot.be

Modélisation régionale: une meilleure vue d'ensemble du changement climatique en Belgique

La mise en place d'un modèle climatique régional revêt une très grande importance pour notre pays. En effet, le changement climatique a de lourdes conséquences sur les travaux d'infrastructure qui devront être réalisés à l'avenir. L'étude MACCBET entend améliorer le modèle climatique régional et, ainsi, générer des projections du climat futur et de la qualité de l'air à une résolution spatiale sans précédent.

Professeur Nicole Van Lipzig (KUL): "Il existe des modèles climatiques pour le monde entier, il y en a d'autres qui ne concernent que l'Europe. Ces modèles utilisent une résolution relativement grossière, car les ordinateurs ne peuvent traiter tous les détails pour une très grande région. Ce que nous faisons avec cette étude BELSPO, c'est zoomer sur la Belgique et donc améliorer la résolution du modèle afin de mieux cerner le changement climatique tel qu'il se présente chez nous. Pour ce faire, nous mettons surtout sur une hydrologie atmosphérique améliorée, autrement dit les processus qui se déroulent dans les nuages, la formation de précipitations et la grêle.

Puis, nous nous concentrons sur la climatologie urbaine, parce que nous estimons que les villes restent peu représentées dans les modèles climatiques à haute résolution. Près de la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain et un changement du climat urbain est tout de même une donnée importante. Pensez à l'effet d'îlot de chaleur urbain qui fait que la ville conserve la chaleur beaucoup plus longtemps. Dans l'ancien modèle climatique, une ville n'était rien de plus qu'un "rocher". Nous avons affiné le modèle en intégrant des caractéristiques urbaines réalistes comme la capacité thermique, l'évaporation ou l'albédo (réverbération de la lumière du

soleil) qui sont tout à fait différentes en ville et en campagne. Enfin, nous nous concentrons sur la qualité de l'air. Celle-ci est souvent traitée séparément de la problématique du climat, mais il y a finalement une interaction entre les deux thématiques puisque si l'air devient plus chaud, les réactions chimiques et, partant, l'effet sur la pollution évoluent. Il s'agit d'une étude très vaste, nous formons donc un groupement avec 4 partenaires qui disposent chacun de leur propre expertise. Cette étude BELSPO a eu pour résultat direct la création de produits qui ont pu servir à l'élaboration de politiques et sont devenus de véritables services climatiques, comme les informations sur la qualité de l'air par exemple. Plusieurs villes comme Anvers utilisent également les cartes de chaleur qui ont vu le jour au cours de notre étude, afin de mettre en place une politique concernant les toits verts. Et les scénarios climatiques ont bien sûr été sensiblement corrigés. Nous avons procédé à des calculs intégrant un scénario de réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à différents instruments politiques tels que les prix d'émission. Il en ressort qu'il fera déjà, au cours de la période 2026-2035, entre 0,4 et 1,1 degré de plus que maintenant. Au cours de la période 2061-2070, on peut parler de 1 à 1,7 degré. Avec nos modélisations, nous pouvons également mieux comprendre la répartition spatiale: à Ostende, le climat se réchauffera moins qu'à Bruxelles, car le réchauffement sera légèrement modéré par la proximité de l'eau. Ces différences régionales constituent réellement la grande plus-value de ce modèle par rapport aux modèles globaux."

l'Antarctique = une spécialité belge

Les grands scientifiques belges et le pôle Sud: voilà une association qui fonctionne à merveille. C'est ce que prouvent le projet ICECON, mais aussi les autres projets de recherche en Antarctique qui ont pu voir le jour grâce à BELSPO ces dernières années:

***ASPI et iCLIPS:** mieux comprendre les processus qui contrôlent la calotte glaciaire antarctique grâce à des modèles 3D à grande échelle et des projections du climat et du niveau des mers corrigées pour le millénaire à venir

Professeur Philippe Huybrechts (VUB): "Dans l'étude ASPI, nous avons notamment travaillé sur des carottes de glace. Un des prochains défis consistera à forer une carotte contenant de la glace datant d'au moins un million d'années. Pour déterminer le lieu exact où nous avons le plus de chances de la trouver, nous avons réalisé un certain nombre de calculs reconstituant tout le mouvement de la calotte glaciaire sur des millions d'années. Nous avons ainsi été en mesure de localiser le lieu le plus optimal sous le Dôme A, au centre de l'Antarctique, sur le plateau où la calotte glaciaire présente une épaisseur de 4 250 mètres et où la température oscille autour de -60°C . Il y fait très sec, les couches de glace qui viennent s'ajouter chaque année sont très fines. Nous estimons par ailleurs que la glace à la base a gelé au cours du dernier million d'années, car il y fait très froid. Sur la base de nos conclusions, des chercheurs chinois se rendent maintenant sur place pour tenter de procéder à un forage de carotte. Rien que le transport de tout le matériel nécessaire sur place exige une logistique considérable. Les résultats de notre étude iCLIPS ont reçu un écho à l'échelle internationale, car nous avons été largement cités dans un chapitre du dernier rapport du GIEC.

Nous avons étudié ce que l'on appelle le committed climate change et démontré que le CO_2 est un gaz qui possède une très longue durée de vie et que nous subissons les conséquences du changement climatique pendant encore de nombreuses années. Le carbone s'accumule dans l'atmosphère et reste présent pendant des centaines, voire des milliers



La station polaire belge Princesse Elisabeth est un lieu de recherche où sont étudiés les différents effets du changement climatique.

d'années. Aussi bien le réchauffement de l'océan et la hausse du niveau des mers qui l'accompagne que la réaction des calottes glaciaires sont des phénomènes qui persisteront encore très longtemps. Même si nous arrêtons dès à présent d'émettre des gaz à effet de serre, le niveau des mers augmenterait tout de même d'un mètre dans mille ans."

***PREDANTAR:** comprendre les mécanismes responsables des changements de la glace de mer antarctique

Professeur Hugues Goosse (UCL): "Nous avons constaté que le volume de la glace de mer a augmenté au cours des 30 dernières années. Cela semble paradoxal dans un monde qui se réchauffe, et nous avons donc cherché une explication à ce phénomène particulier à l'océan Austral. La glace de mer subit à la fois l'influence de l'atmosphère et celle de l'océan. Dans notre étude, nous avons démontré la structure particulière des changements de l'océan Austral et la manière dont les changements de la glace de mer sont induits par les variations des flux verticaux de chaleurs océaniques. La nouveauté réside dans l'attention accordée à l'interaction entre ces mécanismes spécifiques. Nos conclusions mèneront donc à l'avenir à des modèles plus fiables et améliorés concernant la glace de mer, ce qui nous permettra de réaliser des projections plus précises pour les prochaines décennies et pour le XXI^e siècle."

***BIGSOUTH:** mieux évaluer les mécanismes de séquestration efficace du carbone au moyen de la pompe biologique dans l'océan Austral, tant dans les eaux recouvertes de glace que dans les eaux libres de glace

Professeur Frank Dehairs (VUB): "La séquestration du CO₂ dans l'océan profond (carbon sink) représente environ un tiers du CO₂ dégagé dans l'at-

mosphère depuis le début de la révolution industrielle. Ce processus, qui permet de considérablement atténuer le réchauffement, acidifie en même temps l'océan. Les eaux océaniques situées entre 500 et 800 mètres de profondeur subissent déjà l'influence du CO₂ produit par les activités humaines, nous le savons désormais. Dans ce contexte, l'océan Austral, qui représente 18 % de tous les océans de la Terre, joue un rôle important de puits de carbone. Depuis 2008, nous avons déjà entrepris 5 expéditions en Antarctique dans le but d'étudier les mécanismes complexes de la pompe biologique océanique, c'est-à-dire le transfert du carbone par la productivité des algues. Cette pompe biologique a aussi ses limites: seulement 10 % de la production d'algues est transportée vers les eaux profondes, seulement 1 % atteint le fond de l'océan et seulement 0,1 % se sédimente et permet ainsi la séquestration sur des échelles temporelles géologiques plus longues. La Belgique ne dispose pas d'un navire de recherche et le gros avantage est que nous avons pu travailler en intense collaboration avec des instituts de recherche de France, d'Allemagne, d'Australie, de Nouvelle-Zélande et des États-Unis. Notre expertise unique et complémentaire est également décisive pour le bon déroulement de l'étude internationale. Une conclusion importante du projet BIGSOUTH est que les eaux couvertes de glace ne sont pas des zones impénétrables où rien ne se passe. Il se produit au contraire un échange de gaz à effet de serre sur toute la glace de mer. Pour certaines régions déglacées où l'on enregistre une productivité algale accrue, nous avons constaté qu'une production accrue n'entraînait pas nécessairement une meilleure pompe biologique, notamment en raison de l'activité bactérienne accrue. Le réchauffement humain induit par l'homme et l'acidification de l'océan modifient ces interactions complexes entre l'atmosphère et l'océan, ce qui pourrait réduire l'efficacité de la pompe biologique à l'avenir."



l'Impact du changement climatique

De nombreux scientifiques se consacrent à l'impact du changement climatique dans le cadre de projets BELSPO. Ils ne se contentent pas d'en étudier les conséquences, ils analysent également les manières et les moyens de le freiner et de nous y adapter.

Un nouveau modèle d'appui pour la séquestration du dioxyde de carbone

Cause directe principale de l'effet de serre et du réchauffement accéléré de la planète au cours des 150 années passées, les activités humaines dégagent des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Plus d'un tiers du CO₂ de l'atmosphère en provient. Un des instruments utilisés pour réduire radicalement les émissions de CO₂ d'origine industrielles est ce que l'on appelle le **Carbon Capture and Storage (CCS)**, c'est-à-dire le captage et le stockage permanent du dioxyde de carbone dans des réservoirs géologiques.

Un projet BELSPO a permis de concevoir un simulateur éco-environnemental qui tente de prédire de manière très précise l'impact et le développement du CCS entre 2010 et 2050. Un inventaire des possibilités de séquestration géologique en Flandre et en Wallonie a également été établi, et une application a été développée pour le trajet des canalisations. En quelques années, les chercheurs sont parvenus à constituer une véritable expertise en la matière.

Kris Piessens (IRSNB): "Le CCS est particulièrement adapté aux grandes industries, car il nécessite un flux concentré de CO₂. Cela exige par ailleurs une infrastructure de grande échelle, depuis le captage jusqu'au transport vers les différents sites géologiques adaptés. Il s'agit d'introduire le dioxyde de carbone dans un sous-sol géologique, à un kilomètre ou plus, à une profondeur où l'on trouve également des

nappes naturelles de CO₂. Les investissements pour l'ensemble d'un projet se chiffrent vite à plusieurs centaines de millions d'euros. Le CCS est un sujet relativement controversé, non pas tant parce qu'il serait polluant, mais parce qu'il suscite de la méfiance concernant ce qui produirait dans le sous-sol profond. Mais nos résultats sont clairs: ou l'on tente uniquement de faire du rafistolage et on laisse le changement climatique se poursuivre, ou on attaque le problème à la base et dans ce cas on ne peut faire l'économie du débat autour du CCS. Le CCS ne coûte pas cher par rapport aux énergies renouvelables, mais celles-ci peuvent être mises en œuvre progressivement, tandis que le CCS implique par définition de grands projets.

Dans notre étude BELSPO, nous avons rassemblé toutes les compétences techniques et les données techniques possibles, afin de pouvoir mettre sur pied un modèle qui vienne soutenir la politique et qui puisse démontrer l'utilité potentielle de cette technologie pour la Belgique. Nous avons étudié comment adapter les installations industrielles pour que 20 % du CO₂ des gaz d'échappement puisse être isolé des autres gaz qui disparaissent par les cheminées. Le simulateur que nous avons développé est assez révolutionnaire, également à l'échelle internationale, et il a également inspiré d'autres modèles standards qui servent désormais dans d'autres domaines. Le plus bel aspect du projet est, selon moi, que nous avons travaillé avec des géologues comme nous, mais aussi avec des ingénieurs et des scientifiques à tendance économique. La nouveauté de cette étude résidait dans le fait que nous avons recherché, dès le début, qui étaient les parties prenantes potentielles. Le comité de suivi du projet comptait non seulement des personnes de l'administration fédérale, mais aussi des représentants des niveaux politiques provincial et régional, de l'industrie et des ONG, ainsi que des syndicats. Cette diversité était très frappante. Elle nous a permis de devenir une véritable plateforme technologique:

toute personne désireuse d'en savoir plus sur le CCS en Belgique s'adressait à nous.

De nombreuses parties prenantes ont utilisé les résultats de notre étude. Le Bureau fédéral du plan fait référence à nos simulations. Au port d'Anvers, des idées très concrètes ont été avancées par le groupe industriel pour lancer un grand projet de CCS avec l'aide d'un financement européen.

L'étude BELSPO est désormais achevée, mais elle a été pour nous un point de départ tellement important que la thématique continue de faire son chemin. C'a vraiment été le début de la reconnaissance internationale de notre groupe de recherche. Nous avons ainsi pu nous asseoir à la table de la Commission européenne pour débattre des directives CCS européennes, nous sommes devenus coordinateurs d'autres groupes de travail et nous avons eu accès à plusieurs réseaux internationaux. Nous avons été invités comme experts en Chine et au Canada. Le simulateur que nous avons conçu en Belgique est désormais appliqué dans divers nouveaux projets, en Inde, au Kazakhstan, en Autriche et en Suède. Notre méthodologie est également appliquée à des techniques actuelles comme la géothermie et la production d'énergie à partir du gaz de schiste."

Événements extrêmes dans les rivières et les installations de collecte des eaux usées

En modifiant les précipitations, les températures et l'évaporation, le changement climatique a une forte incidence sur le cycle hydrologique, c'est-à-dire tout ce qui touche aux cours d'eau. Le changement du climat exigera une nouvelle gestion des eaux. Le projet CCI-HYDR visait à étudier le risque d'événements hydrologiques extrêmes dans les rivières et les systèmes de drainage urbain en Belgique. Il s'agit de fortes précipitations et donc de risque d'inondations ou de périodes

sèches avec faible débit. L'étude a également développé des instruments d'appui à la politique.

Professeur Patrick Willems (KUL): "Plusieurs modélisations climatiques de nombreux instituts météorologiques sont disponibles, aussi bien pour le monde entier que pour l'Europe plus précisément. Nous avons traité statistiquement ces données météorologiques et en avons extrait les informations sur les événements extrêmes concernant notre pays, de manière à en déduire des scénarios climatiques permettant de calculer l'impact du changement climatique sur nos rivières et nos installations de collecte des eaux usées pour les 100 prochaines années. Nous nous sommes par exemple concentrés sur les changements attendus concernant l'intensité des précipitations jusqu'en 2100 en examinant également l'intensité ou la durée des averses. Nous avons ensuite utilisé ces informations pour développer une méthode permettant d'adapter les séries de mesures des précipitations, telles que celles réalisées par l'IRM depuis la fin du XIXe siècle à Uccle, en fonction du futur

Le changement climatique affecte également le cycle hydrologique. Une autre gestion de l'eau est par conséquent nécessaire.





climat. Si les modélisations climatiques indiquent que d'ici 2100 une averse aura une intensité 30 % supérieure, nous indiquons une averse 30 % plus forte dans les données historiques. Le nombre de jours humides et la durée des périodes sèches sont également adaptés. Nous avons ainsi conçu un programme logiciel qui adapte automatiquement les séries historiques. Avec ces séries de mesures adaptées, nous avons pu réaliser des calculs d'impact concernant le cycle hydrologique des bassins versants de différentes rivières des bassins de l'Escaut et de la Meuse. En effet, si l'on dispose d'informations sur les précipitations et sur l'évaporation, on peut calculer à l'aide des modèles ce qui se passera exactement dans le régime hydraulique. Y aura-t-il plus d'eau s'écoulant vers les rivières? Y aura-t-il plus ou moins d'eau pénétrant dans le sous-sol? Les résultats étaient toutefois surprenants. Nous pensions auparavant que le changement climatique entraînerait plus d'inondations. Mais, ce n'est pas aussi évident, en fait. Les crues des rivières se produisent surtout l'hiver.

Mais l'étude semble suggérer que les précipitations hivernales augmenteront bien en raison du changement climatique, mais qu'il y aura également une évaporation beaucoup plus importante en raison de la hausse des températures, ce qui compensera l'augmentation des précipitations. Pour les périodes estivales, les conclusions sont un peu plus claires. En cas de pluie, les averses seront beaucoup plus violentes, ce qui créera plus de débordements au niveau des installations de collectes des eaux. Tous les modèles climatiques indiquent par ailleurs une évolution vers de plus longues périodes plus sèches. Nous devons donc plutôt redouter des épisodes de sécheresse. La problématique est plus vaste que nous le pensions. Le citoyen lambda ne se doute pas qu'il vit dans un pays susceptible de connaître des pénuries d'eau ou des sécheresses.

Nos scénarios climatiques ont permis de clarifier et de mettre en évidence les problèmes, en tout cas la problématique de la sécheresse. Les pouvoirs publics ont commencé à comprendre que nous devons trouver des solutions efficaces à ces problèmes. Dans certaines régions, comme dans le sud de la Flandre-Occidentale, on pompe trop les eaux souterraines, notamment pour l'industrie textile. Il en résulte que le niveau des nappes phréatiques est inférieur de 100 mètres à la normale. À l'avenir, il faudra donc se mettre à utiliser l'eau des rivières pour favoriser la durabilité. Dans le même temps, le débit des rivières sera plus faible en raison des plus longs épisodes de sécheresse et on rencontrera une dilution moindre et de plus fortes concentrations de polluants, ce qui, là encore, aura des conséquences sur l'épuration des eaux et sur le prix de revient de la production d'eau potable. Nous avons recensé toutes ces difficultés et nous avons informé les pouvoirs publics qu'il était indispensable de procéder à des adaptations si l'on veut avoir une gestion des eaux réellement plus durable. Il s'agirait par exemple de stocker et de laisser infiltrer l'eau de pluie dans des zones ouvertes. Plusieurs instances ont commencé à travailler avec ces recommandations. Cette étude BELSPO a ainsi attiré l'attention de nombreux utilisateurs finaux qui utilisent nos résultats de manière concrète. C'est le cas notamment de la Vlaamse Milieumaatschappij qui est responsable de la gestion des eaux de certaines rivières en Flandre. Cette étude a même contribué à la révision du code de bonnes pratiques pour la conception des systèmes de drainage des eaux usées, comme celui qu'utilisent Aquafin et les communes. Pour les chercheurs, il est évidemment agréable de savoir que l'étude sur laquelle ils ont travaillé est si bien utilisée. Nous avons coopéré à maintes reprises avec les utilisateurs finaux pendant notre étude, ce qui présente l'avantage d'informer ces personnes tout au long de l'étude. Les recherches durent souvent plusieurs années, il est donc nécessaire de sensibiliser les utilisateurs en présentant régulièrement des résultats lors d'ateliers."

Professeur Jean-Pascal van Ypersele (UCL), Vice-président du GIEC

“De nombreux scientifiques trouvent frustrant que leurs pronostics climatiques mènent à si peu de changements sociaux”

En 1988, le GIEC a été créé dans le but de réaliser une évaluation des informations scientifiques sur tous les aspects de la problématique du climat. Quel rôle joue la Belgique dans ce domaine?

“Rien que pour le premier volume du dernier rapport du GIEC, il a fallu analyser plus de 9 200 articles consacrés aux différents aspects de la climatologie dans la documentation validée par les pairs. Pour le rapport, il est indispensable d’avoir une littérature scientifique de qualité et BELSPO, avec sa longue tradition dans le domaine des sciences de qualité, contribue fortement à l’élaboration et à l’amélioration du rapport.

Lorsqu’un appel à auteurs a été publié début 2010, des scientifiques belges comme Philippe Huybrechts et Thierry Fichefet ont été désignés pour participer à l’écriture du rapport du GIEC. La Belgique dispose d’une expertise mondiale dans le domaine de la climatologie pour ce qui concerne la modélisation de la glace de mer, la dynamique des calottes glaciaires, la paléoclimatologie ou la théorie de Milankovitch qui attribue les âges glaciaires au lent changement des paramètres relatifs à l’orbite de la Terre autour du soleil. Mais les relecteurs (*review editors*) eux aussi sont très importants: ce sont des scientifiques expérimentés qui vérifient si les auteurs ont tenu compte de manière correcte et objective des milliers de commentaires émis sur leur chapitre, qu’ils proviennent d’un climatologue sceptique ou d’une organisation écologique. C’est très important pour la crédibilité de l’ensemble du processus GIEC. Rien que pour le premier chapitre du dernier rapport, il y avait par exemple plus de 54 000 commentaires. Chacun de ces commentaires est publié et accompagné de la réponse des auteurs. Il est donc regrettable que le rapport sur le climat suscite autant de critiques de la part du grand public, car il est rédigé avec un le plus grand soin scientifique et la plus grande précision. On ne peut pas faire plus transparent en science.”

Estimez-vous que les résultats des études scientifiques suscitent suffisamment de réactions?

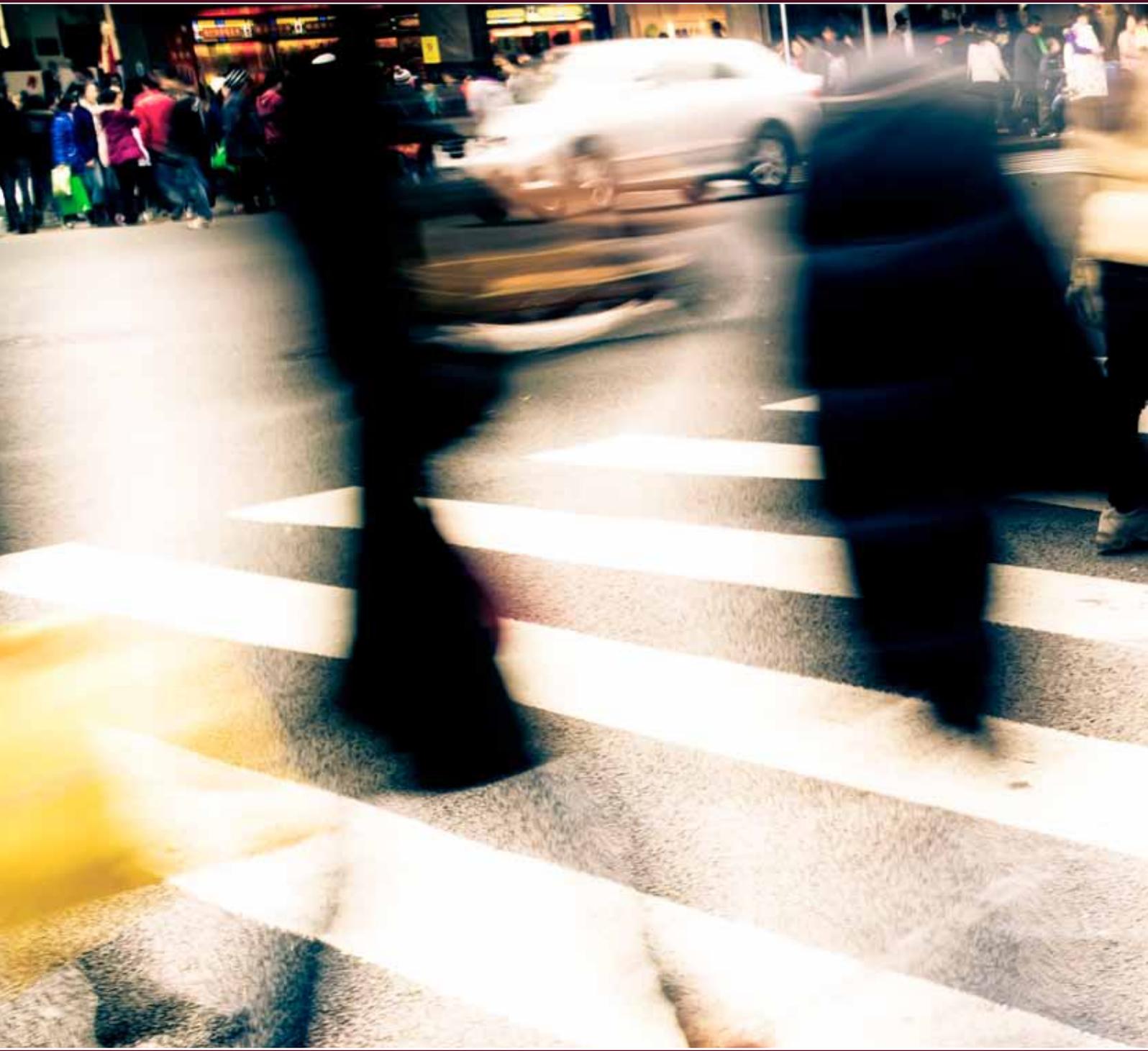
“Je pense en effet qu’il pourrait être utile que certains rapports scientifiques soient mieux “traduits” dans une version plus simple, plus compréhensible à l’intention des responsables politiques et du monde politique. Mais c’est un travail peu valorisé dans les institutions scientifiques. Les magazines scientifiques qui publient les articles suscitent beaucoup d’intérêt, mais on se désintéresse de ce qui se passe ensuite.”

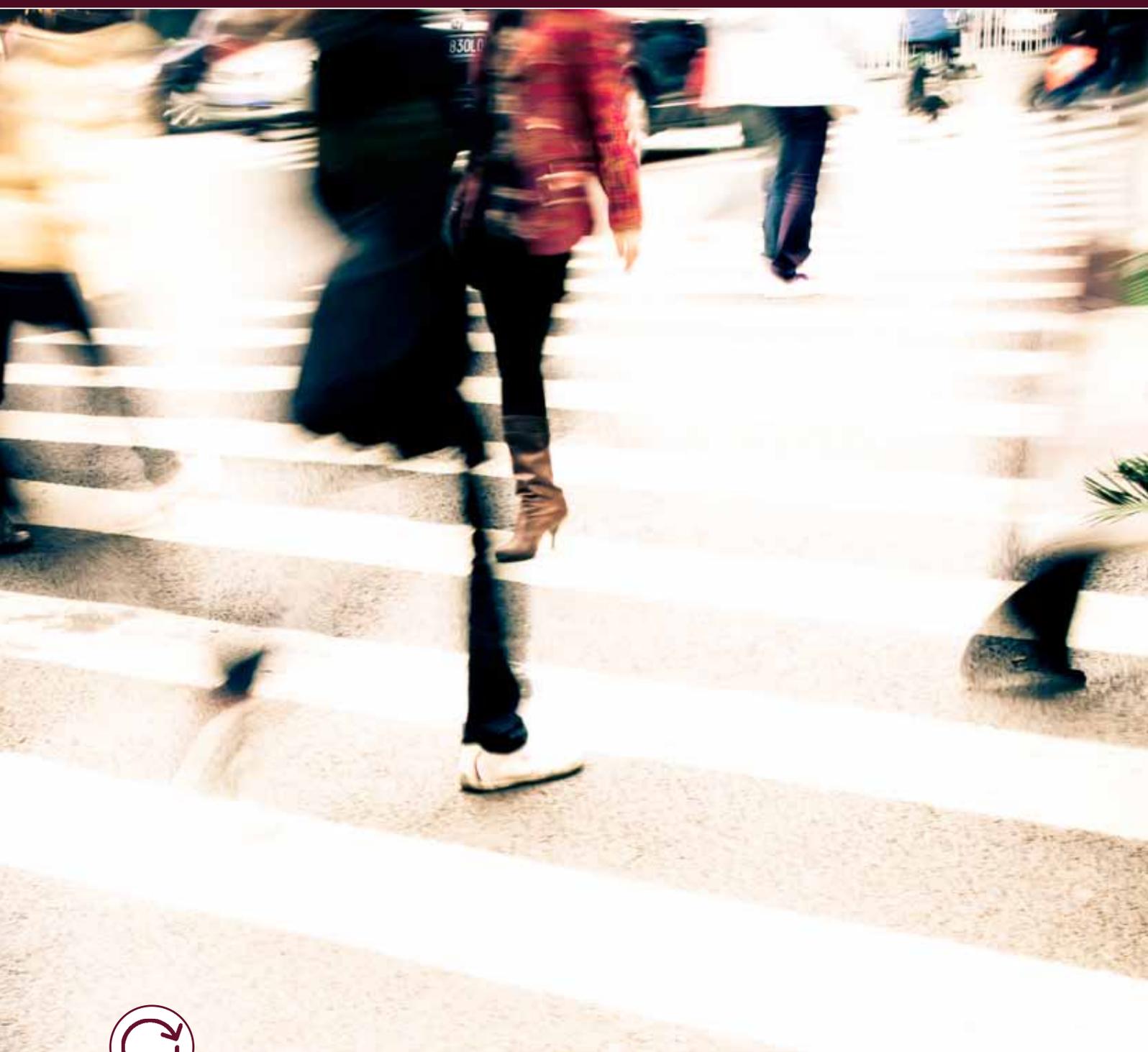
-Il existe un nombre considérable d’études sur le climat. Comment expliquez-vous qu’il soit si difficile d’amener les pays et les gouvernements à agir contre le changement climatique?

“On ne peut pas accuser le manque d’informations. Le principal problème est le manque de volonté politique pour procéder aux changements nécessaires. De nombreux décideurs politiques internationaux n’ont pas encore pris la mesure du changement climatique. Ni des défis auxquels nous sommes confrontés, ni de l’ampleur des conséquences du changement climatique. Cela constitue une priorité moindre dans la masse de décisions urgentes qui doivent être prises. Le climat est un problème à moyenne ou longue échéance, et de nombreux responsables politiques s’imaginent que nous pouvons encore attendre un peu avant d’agir. Mais le problème vient de l’accumulation des gaz à effet de serre. Le changement climatique ne s’arrêtera pas, même si nous cessons immédiatement d’émettre du CO₂ partout dans le monde. Le climat continuera de se réchauffer pendant des dizaines d’années, car nous avons émis trop de CO₂ par le passé. Pour de nombreux scientifiques, il est frustrant de voir que les pronostics climatiques qu’ils ont établis et qui ont été confirmés par le GIEC mènent si peu aux indispensables changements sociaux.”



Le Professeur Jean-Pascal Van Ypersele, climatologue belge de premier plan, est actuellement vice-président du GIEC.





L'APPROCHE GLOBALE PASSE PAR UNE RECHERCHE TRANSVERSALE

Texte: Christian DU BRULLE



Quels scénarios pour une société plus durable?

Le développement durable ne s'analyse pas uniquement au travers de questions exclusivement centrées sur l'énergie, le transport, la biodiversité ou toute autre approche mono-thématique. La notion de développement durable concerne nécessairement divers écosystèmes en interactions intimes les uns avec les autres.

Afin de tenir compte de ces articulations, le programme SSD a permis à de nombreuses équipes d'adopter une approche transversale dans leurs travaux.

Une douzaine de projets de ce type ont ainsi été soutenus. Ils s'intéressaient aux changements de modes de production et de consommation, à la mondialisation, aux mutations des sociétés, à l'élaboration de nouveaux outils pour les décideurs politiques telle la création de nouveaux indicateurs socio-économiques reflétant plus exactement le concept de bonheur ou de bien-être des populations...

Ressources limitées sur Terre, pollution, démographie planétaire galopante... Faire évoluer nos habitudes de consommation pour qu'elles deviennent davantage durables est une obligation à moyen terme. Mais quels changements apporter à nos habitudes pour effectuer cette transition en douceur? Et quels types de transitions envisager pour y arriver? Ces questions étaient au coeur du projet CONSENTSUS (Construction de scénarios et exploration de transitions pour le développement de modes de consommation soutenables), piloté par le Centre du développement durable de l'Université de Gand (Centrum voor Duurzame Ontwikkeling, "CDO").

"Les attitudes des consommateurs et les pratiques sociales en matière de consommation ne sont pas simples à appréhender", souligne Erik Paredis (CDO), le coordinateur du projet CONSENTSUS. "Le sujet est vaste. Nous avons dès lors choisi de le restreindre à la seule consommation alimentaire".

Mais ici aussi, la thématique reste multiforme. Il faut tenir compte d'une série de paramètres sur lesquels s'appuient les circuits alimentaires: les technologies impliquées dans la production, les consommations énergétiques, la mobilité des biens et des personnes, les modes de vie actuelles, nos habitudes alimentaires, les circuits de distribution et de transformation des aliments, le confort des consommateurs...

"Pour appréhender cette notion complexe liée au développement durable, nous voulions nous affranchir des méthodes de travail et des approches classiques, traditionnelles", reprend le chercheur. "Un nouveau cadre de pensée était nécessaire pour analyser cette problématique et émettre des suggestions de transitions potentielles. Ce cadre devait tenir compte à la fois de la manière dont la Recherche dans ce domaine s'organise, des processus de décision politique, des aspirations des consommateurs, des ressources, des incertitudes liées au fait qu'on envisage des transitions sur des périodes allant de 25 à 50 ans. Nous avons donc choisi de travailler par scénarios".

Trois types de scénarios

Les spécialistes distinguent trois types de scénarios dans ce domaine: prédictif, exploratoire et normatif. Le premier s'intéresse plutôt à des échelles de temps allant de 2 à 5 ans. Un horizon trop restreint qui n'entraîne pas vraiment dans les objectifs du projet CONSENTSUS

Les scénarios exploratoires prennent en compte la situation actuelle et analysent l'évolution de grands facteurs susceptibles d'avoir un impact sur le domaine étudié. Il s'agit par exemple de l'avenir de la globalisation des marchés. Cette globalisation va-t-elle encore prendre de l'ampleur ou au contraire allons-nous assister à son essoufflement et à l'émergence d'une nouvelle forme de régionalisation?

Enfin, les scénarios normatifs portent sur la définition de projets à long terme. Il s'agit davantage ici de développer une vision de ce que devrait être l'agriculture en 2050, de proposer dans le même temps divers modes de transition afin de modéliser cette situation nouvelle. Bref, c'est dans ce cadre que se posent les grands choix de société. "Au bout du compte, ce type de scénarios normatifs revient donc à élaborer des choix très politiques", estime Erik Paredis.

Ce sont donc, en toute logique, les scénarios exploratoires et normatifs qui ont retenu l'attention des chercheurs de CONSENTSUS.

Groupements d'achats locaux

Plus concrètement encore, les partenaires du projet (le CDO de l'Université de Gand, le Centre d'étude du développement durable de l'Université Libre de Bruxelles et l'Institut pour un développement durable à Ottignies), ont restreint le champ de leurs travaux aux groupements d'achats locaux. "Ce sont des niches qui pourraient être exemplaires d'une sorte de transition systémique", estiment les chercheurs.

Quelques conclusions de ce projet de recherche? Il apparaît aux scientifiques que les innovations systémiques et les transitions dans le domaine de la consommation durable n'émergent pas spontanément et qu'il est sans doute plus simple d'imprimer des transitions dans certaines niches (comme les groupes locaux de consommation). Les chercheurs notent aussi que les communes peuvent jouer un rôle moteur dans le cadre des groupes d'achats locaux et que l'intérêt politique est de plus en plus marqué en Belgique pour les initiatives relatives aux circuits courts. "Des initiatives qui restent néanmoins le fait de citoyens et non des autorités", soulignent aussi les partenaires de CONSENTSUS.

Enfin, les équipes impliquées dans ce projet constatent humblement que la tâche est gigantesque et qu'au terme de quatre années de recherches "les implications politiques du projet CONSENTSUS sont davantage de nature exploratoire que de support à la décision politique".

Vers l'esquisse de scénarios de consommation soutenable en Belgique ...





Quel marketing favoriser pour susciter des comportements durables chez les consommateurs ?



Le développement durable, tout le monde en parle, tout le monde en est conscient. En Belgique, une large frange de la population montre un intérêt clair pour cette problématique.

“Globalement, on peut dire que l’attitude des Belges est plutôt pro-environnementale”, estime le Pr Benoit Dardenne, de l’unité de psychologie sociale (Département des sciences cognitives) de l’Université de Liège. “Toutefois, au delà de cette simple prise de conscience, il reste encore pas mal d’efforts à faire pour transformer cette bienveillance en actes concrets, par exemple en matière de consommation”.

Cette problématique était au cœur du projet FSB-CBSM coordonné par le scientifique liégeois. Pendant quatre ans, avec la collaboration de collègues de la KULeuven et des associations Ecolife (Louvain) et Espace-Environnement (Charleroi), l’équipe de FSB-CBSM (Encourager la consommation durable - Community-based Social marketing) a étudié les ressorts et les éléments susceptibles d’encourager la démarche pro-environnementale via un marketing spécifique mieux compris.

Ces travaux visaient notamment à cerner les attitudes réelles des consommateurs vis-à-vis d’un mode de vie durable mais également de définir quand, comment et pourquoi certains types de marketing social fonctionnaient plutôt bien en matière environnementale et pourquoi d’autres initiatives du même genre ne portaient que très peu de fruits.

Alimentation, déchets, énergies, transports

“Pour nos concitoyens, le paradoxe dans le domaine du développement durable est similaire à celui de nos comportements liés à la santé. Nous avons en général conscience de l’intérêt de certaines attitudes favorables à la préservation de la santé mais entre cette connaissance et sa mise en pratique, il y a souvent un énorme

décalage”, explique Benoit Dardenne. “Et comme tous les comportements durables ne sont pas perçus de la même manière, nous avons dès lors commencé par les classer. Quatre catégories sont apparues au fil de nos recherches: l'alimentation, la réduction des déchets, l'utilisation des énergies et les transports”.

Chacune emporte un certain type d'adhésion de la part du public. Les travaux des partenaires de FSB-CBSM montrent qu'il y a des secteurs où les décisions sont simples à prendre et à mettre en oeuvre par les consommateurs. C'est le cas du placement d'un autocollant sur sa boîte aux lettres pour signaler son refus de recevoir des publicités. Le geste est facile à poser et il ne faut pas le répéter régulièrement.

D'autres comportements sont par contre plus difficiles à assumer sur le long terme parce qu'ils impliquent un plus grand contrôle de soi. Ceci est vrai en matière de consommation énergétique ou pour les transports notamment, surtout quand cela implique un changement d'habitudes bien ancrées.

Outil prédictif

“Une fois ces catégories identifiées, avec leurs richesses et leurs faiblesses, nous avons analysé les différentes catégories de comportements en fonction de l'environnement physique des individus”, reprend le psychologue de l'Université de Liège.

“Il est ainsi plus facile de se déplacer quotidiennement en vélo quand on habite en ville comparativement au milieu rural. L'environnement physique, les infrastructures disponibles exercent une influence sur le développement d'habitudes plus en phase, dans ce cas, avec la notion de développement durable”.

“Un autre volet majeur de nos travaux portait sur la définition de ce qu'englobait, pour les citoyens, la notion d'attitude pro-environnement-

ale. Il s'agissait ici d'identifier ce qui pouvait faire le lien entre la perception de cette notion et un comportement réellement en phase avec celle-ci. A nos yeux, il s'agissait donc ici d'élaborer un outil prédictif. Et il nous est apparu que les émotions jouaient dans ce contexte un rôle important.

Certaines émotions peuvent faciliter le passage à l'acte. On pense aux émotions morales qui dépendent de la présence d'autres individus, comme la honte ou la culpabilité, mais aussi aux émotions positives, comme la fierté. “Voilà autant d'émotions qui peuvent clairement être reliées à la présence d'actes”, précise le coordinateur du projet.

Marketing social

“Ce qui nous a amenés au marketing social”, continue-t-il. “Si on prend l'exemple de la culpabilité, celle-ci peut s'exprimer à titre personnel mais aussi parce qu'un proche commet un acte qui nous rebute: comme jeter un papier au sol en notre présence. Ce genre de situation induit un sentiment de culpabilité, lequel a tendance à nous faire opter pour une attitude davantage pro-environnementale. Ce n'est toutefois ni automatique, ni systématique”.

“Nos travaux montrent aussi qu'il est sans doute plus efficace de faire passer des messages qui insistent sur les bénéfices directs et les impacts positifs de la mise en pratique d'une nouvelle attitude durable plutôt que de miser sur des messages tablant sur les impacts à long terme ou dans des régions éloignées de nos cercles de vie”.

“Néanmoins, jouer sur le sentiment de culpabilité est sans doute aussi un bon levier de marketing social, principalement la culpabilité vicariante (c'est-à-dire que l'on ressent suite au comportement d'autrui) mais ici, des études complémentaires sont nécessaires”, conclut-il.



Vers de nouveaux indicateurs du bonheur et du bien-être en Belgique

La croissance économique n'est pas synonyme de bonheur ni de bien-être pour tous. Paul-Marie Boulanger, qui dirige l'Institut pour un développement durable (IDD) à Ottignies, en est persuadé.

“Nous savons tous, depuis des années, que les indicateurs économiques classiques ne sont plus révélateurs de la qualité de la vie, du bien-être ou encore du bonheur de la population”, explique d'entrée de jeu le coordinateur du projet WELLBEBE (Wellbeing in Belgium). “Nous savons aussi que notre mode de vie actuel n'est ni généralisable à l'ensemble de la planète, ni durable en terme de ressources. La question qui se pose aujourd'hui est donc de savoir comment nous pouvons réduire notre empreinte écologique sans perdre notre niveau de bien-être, voire même en l'améliorant...”.

Posé ainsi, le problème a tout du paradoxe. C'est pourtant à sa résolution que les partenaires de WELLBEBE ont tenté de s'atteler. Leur but: identifier des indicateurs alternatifs visant à mesurer réellement cette notion de bien-être ou de bonheur. Dans le même temps, ces nouveaux indicateurs devaient aussi prendre en compte la nécessaire évolution de nos modes de vie tout en gardant à l'esprit la dimension “durable” qui les sous-tend. Un beau défi.

“Nous avons donc dû imaginer des indicateurs de bien-être qui englobent cette dimension de développement durable, qui soient le plus scientifiquement fondés, pluridisciplinaires, pas strictement économiques mais néanmoins légitimes... sur le plan économique”, précise le sociologue.

En collaboration avec le Hoger Instituut voor de Arbeid (HIVA) de l'Université de Leuven (KU-Leuven) et le Centre d'étude du développement durable de l'Université Libre de Bruxelles, les partenaires de WELLBEBE ont dès lors travaillé à l'élaboration d'une méthodologie et d'un cadre théorique pour tenter de résoudre cette nouvelle équation du “bien-être durable”.

La composante “stress” est incontournable

“Au départ, nous ne travaillions qu'en suivant l'approche des “capabilités-fonctionnements” chère à Amartya Sen, prix Nobel d'économie en 1998”, reprend Paul-Marie Boulanger. Pour ce Prix Nobel, la notion de capacité se traduit par la possibilité effective qu'a un individu de choisir diverses combinaisons de “fonctionnements”, c'est-à-dire de modes d'être et d'agir.

“Très vite, nous avons senti que cette approche devait être complétée par une autre démarche, moins abstraite pour la population: une approche basée sur les besoins”, précise Paul-Marie Boulanger. Cela donne déjà une première idée de la complexité à identifier de nouveaux indicateurs pertinents du bien-être. “Nous avons aussi envisagé inclure d'autres notions, plus anthropologiques comme la notion de stress par exemple qui prend en compte l'impact de la structure sociale sur la santé des individus”. En fin de compte, nous avons néanmoins choisi de ne retenir que la notion de besoin mais dans une perspective assez large.

Les besoins

La composante liée aux besoins telle qu'investiguée dans le cadre de WELLBEBE porte sur trois grandes notions. D'une part, il s'agit des besoins substantiels (alimentation, logement, culture, revenus...), d'autre part, l'équipe distinguait des besoins transversaux comme la liberté ou encore la sécurité. La troisième dimension prise en compte portait sur l'équité.

Ces outils définis, il convenait ensuite de les tester. Cela s'est fait de diverses manières pendant le projet, notamment à l'occasion d'un exercice participatif mobilisant un groupe de plusieurs di-



zaines de citoyens, réunis le temps de deux week-ends.

Il en ressort que la construction de véritables indicateurs alternatifs destinés à mesurer le bien-être doit nécessairement s'affranchir des considérations strictement économiques et opter pour l'interdisciplinarité, voir la transdisciplinarité qui implique une co-construction avec le public. "Ils doivent nécessairement intégrer d'autres outils scientifiques provenant de domaines aussi variés que la médecine, la psychologie, l'anthropologie et peuvent avantageusement mêler les approches par les capacités-fonctionnements et celles liées aux besoins", estiment encore le sociologue.

Prolongements en Wallonie

Ce projet est-il une réussite? En matière de gouvernance durable, il pointe l'importance de repenser le bien-être autrement qu'en termes de croissance et de consommation. Sa tentative d'identification de nouveaux indicateurs du bien-être a en outre connu un prolongement en Wallonie sous la forme d'un complé-

ment de recherches visant à élaborer un nouvel indicateur régional basé sur la notion de besoins. Ce complément de recherches a ainsi fait partie d'un ensemble d'indicateurs proposé au gouvernement wallon. "Nos outils se basaient dans ce cadre sur des données immédiatement disponibles en Wallonie", explique Paul-Marie Boulanger. "Nous voulions qu'ils racontent une "histoire" qui ne soit pas strictement empirique et dépourvue d'un cadre théorique mais qui ne nécessite pas la collecte de nouvelles masses de données", indique le coordinateur de WELLBEBE. "Mais notre produit n'a finalement pas été retenu par les autorités régionales qui lui en ont préféré un autre".

"Au terme de ces projets, les choses sont claires", conclut le sociologue. "Nous sommes loin d'avoir tout dit et tout écrit sur les indicateurs de bien-être alternatifs. Leur développement nécessite un financement à plus long terme et la mobilisation d'équipes plus nombreuses et plus interdisciplinaires. Au bout du compte, je pense qu'ils devront nécessairement intégrer les éléments centraux de trois paradigmes: les capacités, les besoins et le stress".

Le bien-être social. Tenter de le mesurer en vue d'élaborer des politiques de consommation durables ...





LE CLUSTERING: UNE AUTRE MANIÈRE D'OPTIMISER DURABLEMENT LES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

Texte: Christian DU BRULLE



Comme on peut le découvrir dans cette brochure, le programme SSD a permis de financer 103 projets de recherche en phase avec la thématique du développement durable.

Mais le programme SSD ne s'est toutefois pas limité à cette seule forme de mise en oeuvre de la politique scientifique fédérale en la matière. Il comprenait aussi diverses mesures complémentaires d'accompagnement, dont le "clustering", une initiative qui a permis d'enrichir davantage encore et par une approche innovante, les résultats engrangés par des pans entiers du programme.

Concrètement, le "clustering" est une technique de mise en commun des résultats et des expertises issus de diverses recherches menées dans le cadre du programme mais aussi d'apports extérieurs. Le but de la manœuvre est d'apporter une nouvelle vision multidisciplinaire, une approche intégrée d'une problématique liée au développement durable afin d'en extraire des résultats additionnels.

"Il s'agissait d'offrir la possibilité à des équipes de disciplines parfois très différentes qui avaient travaillé ensemble ou de manière indépendante sur certaines thématiques de pousser plus avant leurs réflexions scientifiques", précise-t-on du côté de l'administration de la Politique Scientifique (Belspo).

Dix clusters ont été financés

Deux appels à projets ont été spécifiquement lancés concernant le clustering dans le cadre du programme SSD. Les règles de participation étaient relativement souples. Un cluster devait être initié par une équipe issue d'un projet du programme SSD et comprendre au minimum deux équipes ayant participé au programme SSD ou à l'un ou l'autre des deux

programmes qui l'avaient précédé (les programmes PADD I et PADD II). De plus, les clusters étaient également accessibles à d'éventuels partenaires extérieurs.

Les financements disponibles pour cette mesure d'accompagnement complémentaire étaient plutôt modestes (dix fois moindres que les montants généralement alloués aux projets de recherche "classiques"). Parallèlement, la durée des "clusters" était moins étendue dans le temps (deux ans en moyenne, contre quatre généralement pour les projets de recherche) et les financements disponibles pour le clustering ne devaient pas servir à soutenir de nouvelles recherches mais bien à maximaliser les résultats de travaux déjà engrangés.

"Le clustering visait donc bien à pousser un cran plus loin l'intégration des résultats de recherche, à renforcer l'interdisciplinarité et, in fine, à développer la communication des résultats scientifiques au delà du cercle clos des chercheurs", précisent encore les gestionnaires administratifs du programme, qui se félicitent des résultats obtenus. Un des objectifs était en effet de pouvoir générer une plus-value dans un esprit d'appui à une politique de développement durable.

Dix clusters ont, au final, été financés par le programme SSD. Deux d'entre eux illustrent particulièrement l'objectif de "valeur ajoutée" de cette formule: PM²TEN et BEES.

Impacts de la qualité de l'air sur la mobilité et la santé

PM²TEN (acronyme de "Particles, Mobility, Physical activity, Morbidity and the environment network") s'intéressait aux liens entre la qualité de l'air rencontrée par les cyclistes quotidiens sur leurs trajets domicile-travail ainsi qu'à l'impact de cette qualité atmosphérique sur leur santé.

Ce cluster a favorisé la collaboration entre les

scientifiques du domaine de la santé, de la pollution atmosphérique et du trafic routier, soit des domaines certes complémentaires au sein de la thématique "Santé et transport" mais qui ne sont pas nécessairement étudiés de manière coordonnée.

"En poussant plus avant leurs recherches et en organisant des réunions entre experts utilisant différentes méthodes de travail et des responsables politiques disposant d'opinions parfois divergentes sur ces questions, les partenaires de PM²TEN ont dès lors favorisé le dialogue entre des groupes ayant une approche différente vis-à-vis de la relation "environnement-santé publique" et les responsables politiques", souligne-t-on à la Politique Scientifique fédérale. Cela a permis de faire émerger des recommandations nouvelles sur d'éventuelles nouvelles mesures à prendre. L'intégration des ressources et des savoirs produits par divers projets en amont a donc permis l'apport d'une plus-value en matière d'appui à la décision politique. Par exemple en ce qui concerne le développement de nouvelles aires cyclables, la révision de normes en matière de qualité de l'air ou encore la prise en compte de certaines modulations saisonnières de la qualité de l'air en ville.

Mieux appréhender les services rendus par nos écosystèmes

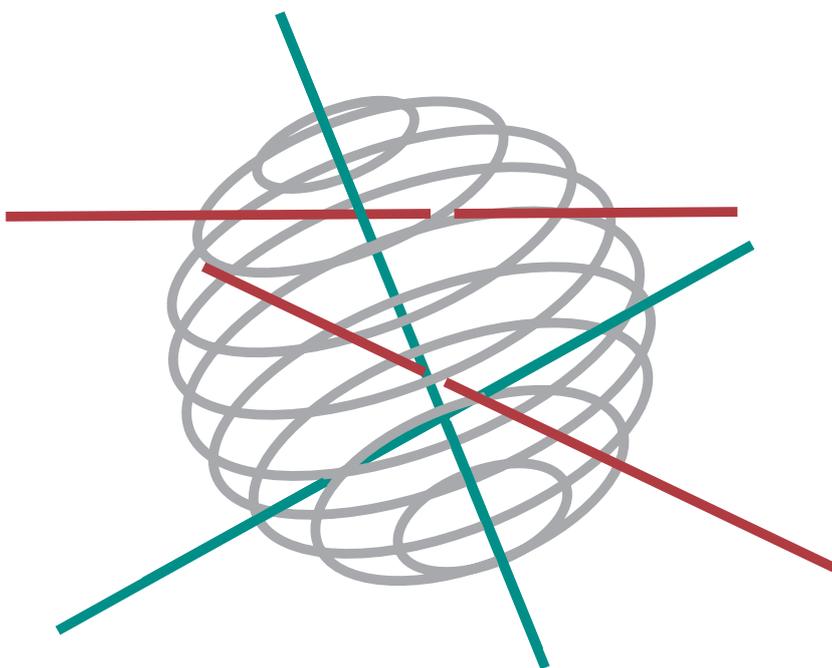
Le cluster BEES (BElgium Ecosystem Services) a lui aussi livré des résultats remarquables. Ce réseau de six partenaires intéressés par diverses facettes des services écosystémiques (les services que les écosystèmes peuvent rendre à l'Humanité) a organisé une série d'ateliers spécialisés autour de cette problématique.

Leur objectif était de réfléchir aux grandes questions de recherches qui se posent afin d'évaluer au mieux les services rendus par les écosystèmes en Belgique.

Au terme de chaque atelier (workshop), la réflexion abordée a fait l'objet d'un rapport. Ceux-ci ont ensuite été intégrés dans un rapport final qui a donné lieu à la publication d'un ouvrage (Elsevier), désormais cité dans la littérature internationale.

Résultats: les acquis de ce cluster ont permis d'identifier les pistes de recherche pour le futur dans ce domaine. Et bien qu'officiellement clôturé, BEES connaît aujourd'hui encore un prolongement !

Le pool d'experts qu'il a permis de fédérer est toujours en réseau et bien présent sur la scène nationale et internationale. Son secrétariat, confié à la Plateforme belge pour la Biodiversité (également financée par la Politique Scientifique Fédérale), constitue la plaque tournante des échanges entre toutes les parties intéressées par la problématique des services écosystémiques dans le pays et à l'étranger.



ENERGIE				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
LACSAWEP	Capacité paysagère et attitudes sociales face à l'implantation de parcs éoliens en Belgique	VAN ROMPAEY Anton (C)	KULeuven	anton.vanrompaey@geo.kuleuven.be
		SCHMITZ SERGE	ULg	S.Schmitz@ulg.ac.be
		KESTELOOT Christian	KULeuven	chris.kesteloort@geo.kuleuven.ac.be
WindBalance	Equilibrage de l'énergie éolienne dans le réseau: une approche globale, technico-économique et coordonnée	BELMANS Ronnie (C)	KULeuven	Ronnie.Belmans@esat.kuleuven.ac.be
		PALMERS Geert	3E nv	geert.palmers@3E.be
		D'HAESELEER William	KULeuven	William.Dhaeseleer@mech.kuleuven.be
		MAUN Jean-Claude	ULB	jcmaun@ulb.ac.be
BIOSES	Utilisation durable des biocarburants	PELMANS Luc (C)	VITO	luc.pelkmans@vito.be
		VAN MIERLO Joeri	VUB	joeri.van.mierlo@vub.ac.be
		DE RUYCK Jacques	VUB	jacques.de.ruyck@vub.ac.be
		MACHARIS Cathy	VUB	Cathy.Macharis@vub.ac.be
		JOSSART Jean-Marc	UCL	jossart@ecav.ucl.ac.be
Q-DIRECT	Développement de lignes directrices pour des systèmes qualité belges applicables aux installations d'énergies renouvelables de petites dimensions	HUBERLANT Bernard (C)	3E nv	bernard.huberlant@3E.be
		DE RUYCK Jacques	VUB	jdruyck@vub.ac.be
		VANDAELE Luk	CSTC-WTCB	luk.vandaele@bbri.be
		VAN PASSEL Willy	Hogeschool W&K	wvp@denayer.wenk.be
		DRIESEN Johan	KULeuven	johan.driesen@esat.kuleuven.be
TEXBIAG	Outils d'aide à la décision pour le développement de la bioénergie en agriculture	SCHENKEL Yves (C)	CRA	schenkel@cra.wallonie.be
		VAN STAPPEN Florence (C)	CRA	vanstappen@cra.wallonie.be
		DE RUYCK Jacques	VUB	jdruyck@vub.ac.be
		SVEND Bram	VUB	Svend.Bram@vub.ac.be
		NEVEN Thomas	VUB	thomas.neven@vub.ac.be
		CASTIAUX Annick	FUNDP	annick.castiaux@fundp.ac.be
		BROSE Isabelle	FUNDP	isabelle.brose@fundp.ac.be
		DRIESEN Johan	KULeuven	johan.driesen@esat.kuleuven.be
TUMATIM	Treating Uncertainty and risk in energy systems with MARKAL/TIMES	PROOST Stef (C)	KULeuven	stef.proost@econ.kuleuven.ac.be
		DUERINCK Jan	VITO	jan.duerinck@vito.be
SEPIA	Une approche intégrale d'une politique de l'énergie durable Contribution à un outil d'aide à la décision politique	VERBRUGGEN Aviel (C)	UA	aviel.verbruggen@uantwerpen.be
		LAES Erik	CEN-SCK	elaes@sckcen.be
		JACQUEMAIN Marc	ULg	marc.jacquemain@ulg.ac.be
		EGGERMONT Gilbert	VUB	human.ecology@vub.ac.be
HECoRE	Consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et effets rebond	WALLENBORN Grégoire (C)	ULB	Gregoire.wallenborn@ulb.ac.be
		VERBRUGGEN Aviel	UA	aviel.verbruggen@uantwerpen.be
		GOETGHEBUER Didier	ICEDD	kt@icedd.be
INESPO	Innovative instruments for Energy Saving Policies: White Certificates and Complementary Currencies	HUDON Marek (C)	ULB	mhudon@ulb.ac.be
		DECONINCK Geert	KULeuven	geert.deconinck@esat.kuleuven.be
		BACHUS Kris	KULeuven	kris.bachus@hiva.kuleuven.be
TRANS2HOUSE	Transition pathways to efficient (electrified) transport for households	VAN MIERLO Joeri (C)	VUB	joeri.van.mierlo@vub.ac.be
		PONNETTE Raf	VITO	raf.ponnette@vito.be
		MACHARIS Cathy	VUB	Cathy.Macharis@vub.ac.be
		VANDENZEGEL Stephan	Le Centre Urbain	Stephan.vandenzegel@curbain.be

TRANSPORT ET MOBILITÉ				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
LIMOBEL	Effets à long terme de politiques et mesures sur la mobilité en Belgique	MAYERES Inge (C)	BFP-FPB	m@plan.be
		JOURQUIN Bart	FUCaM	Bart.Jourquin@fucam.ac.be
		DE VLIÉGER Ina	VITO	ina.devlieger@vito.be
ADICCT	Initiatives en matière de déplacements domicile travail dans les entreprises: analyse et développements possibles	WITLOX Frank (C)	UGent	frank.witlox@ugent.be
		JOURQUIN Bart	FUCaM	Bart.Jourquin@fucam.ac.be
		THOMAS Isabelle	UCL	isabelle.thomas@uclouvain.be
		VERHETSEL Ann	UA	ann.verhetsel@uantwerpen.be
BMW	Comportements de mobilité hebdomadaires	TOINT Philippe (C)	FUNDP	philippe.toint@fundp.ac.be
		IMMERS Ben	KULeuven	ben.immers@cib.kuleuven.be
		AXHAUSEN Kay	ETH Zurich	axhausen@ivt.baug.ethz.ch
CLEVER	Recherche sur des Véhicules Propres: LCA (Analyse de Cycle de Vie) et Mesures Politiques	VAN MIERLO Joeri (C)	VUB	joeri.van.mierlo@vub.ac.be
		GOVAERTS Leen	VITO	leen.govaerts@vito.be
		MACHARIS Cathy	VUB	cathy.macharis@vub.ac.be
		HECQ Walter	ULB	whecq@ulb.ac.be
		DE CAEVEL Bernard	RDC Environment	bernard.decaevel@rdcenvironment.be

ESTIMATE	Analyse et évaluation des impacts environnementaux des choix comportementaux en faveur d'un transport multimodal	WETS Geert (C) MACHARIS Cathy VAN MIERLO Joeri LANNOY Pierre	UHasselt VUB VUB ULB	Geert.Wets@uhasselt.be cathy.macharis@vub.ac.be joeri.van.mierlo@vub.ac.be pilannoy@ulb.ac.be
PROMOCO	Mobilité professionnelle et voitures de société	TOINT Philippe (C) CORNELIS Eric (C) WETS Geert MACHARIS Cathy	FUNDP FUNDP UHasselt VUB	philippe.toint@fundp.ac.be eric.cornelis@fundp.ac.be Geert.Wets@uhasselt.be cathy.macharis@vub.ac.be
SUSTAPARK	Optimisation de la tarification et de la localisation des parkings urbains sous contrainte de durabilité	DE CEUSTER Griet (C) STEENBERGHEN Thérèse LANNOY Pierre	TML KULeuven ULB	griet@tmleuven.be therese.steenberghen@sadl.kuleuven.be pilannoy@ulb.ac.be
DSSITP	Système d'aide à la décision pour la politique de transport intermodal	MACHARIS Cathy (C) JANSSENS Gerrit JOURQUIN Bart	VUB UHasselt FUCaM	cathy.macharis@vub.ac.be gerrit.janssens@uhasselt.be Bart.Jourquin@fucam.ac.be
MOBLOC	Mobilités et choix de localisation à long terme en Belgique	TOINT Philippe (C) EGGERICKX Thierry GERBER Philippe	FUNDP UCL CEPS	philippe.toint@fundp.ac.be eggerickx@sped.ucl.ac.be philippe.gerber@ceps.lu
MESsAGE	Mobilité Et Seniors: montée en âge et système durable de transport	VLEUGELS Ilse (C) VERTE Dominique LANNOY Pierre	Mobiel 21 VUB ULB	ilse.vleugels@mobiel21.be dominique.verte@vub.ac.be pilannoy@ulb.ac.be
ISEEM	Développement d'un cadre de modélisation spatio-économico-environnemental pour l'analyse de politiques et mesures durables	IVANOVA Olga (C) MAYERES Inge HAMAIDE Bertrand WITLOX Frank	TML BFP-FPB FUSL UGent	olga@tmleuven.be im@plan.be hamaide@fusl.ac.be frank.witlox@ugent.be

SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
PARHEALTH	Les effets des particules fines sur la santé en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et la météorologie	NEMERY Benoit (C) NAWROT Tim (C) BERNARD Alfred NICKMILDER Marc VAN LANGENHOVE Herman DEWULF Jo DEMEESTERE Kristof VAN GRIEKEN René DE MAEYER-WOROBIEC Anna DE BACKER Hugo DELCLOO Andy	KULeuven KULeuven UCL UCL UGent UGent UGent UA UA IRM-KMI IRM-KMI	Ben.Nemery@med.kuleuven.be Tim.Nawrot@med.kuleuven.be Bernard@toxi.ucl.ac.be marc.nickmilder@toxi.ucl.ac.be herman.vanlangenhove@UGent.be jo.dewulf@UGent.be kristof.demeestere@UGent.be Rene.VanGrieken@uantwerpen.be anna.worobiec@uantwerpen.be Hugo.DeBacker@kmi-irm.be andy.delcloo@oma.be
S2NANO	Déterminants physico-chimiques de la toxicité: Une approche rationnelle pour des nanomatériaux plus sûrs	LISON Dominique (C) VOLDERS Micheline HOET Peter MARTENS Johan KIRSCHHOCK Christine	UCL VUB KULeuven KULeuven KULeuven	lison@toxi.ucl.ac.be mkirschv@vub.ac.be peter.hoet@med.kuleuven.ac.be johan.martens@biw.kuleuven.be christine.kirschhock@biw.kuleuven.be
MIC-ATR	Développement d'un nouveau système de détection par capteur, régénérateur et de faible coût, de composés microbiologiques	VAN CAUWENBERGHE Anne (C) DE CONINCK Joël VOUE Michel HUYGEN Kris DENIS Olivier	HPH Mons UMH UMH ISP-WIV ISP-WIV	anne.vancauwenberge@hainaut.be joel.de.coninck@crmm.umh.ac.be kris.huygen@iph.fgov.be olivier.denis@iph.fgov.be
ANIMO	Risques d'affections respiratoires chez l'enfant liés la qualité de l'air intérieur: développement et application de biomarqueurs non-invasifs"	SCHOETERS Greet (C) BERNARD Alfred DESAGER Kristin	VITO UCL UZA	greet.schoeters@vito.be Bernard@toxi.ucl.ac.be kristine.desager@uza.be
SHAPES	Activité physique et risque en matière de santé de la pratique du vélo pour différents milieux géographiques	INT PANIS Luc (C) TORFS Rudi (C) MEEUSEN Romain DE GEUS Bas THOMAS Isabelle VANDENBULCKE- PLASSCHAERT Grégory	VITO VITO VUB VUB UCL UCL	luc.intpanis@vito.be rudi.torfs@vito.be romain.meeusen@vub.ac.be bas.de.geus@vub.ac.be isabelle.thomas@geog.ucl.ac.be gregory.vandenbulcke@uclouvain.be

AGRO-ALIMENTAIRE				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
NORISK	Voies de transmission des Norovirus, agents pathogènes humains émergents présents dans la chaîne alimentaire	THIRY Etienne (C)	ULg	Etienne.thiry@ulg.ac.be
		UYTTENDAELE Mieke	UGent	mieke.uyttendaele@UGent.be
		DEBEVERE Johan	UGent	johan.debevere@UGent.be
		DIERICK Katelijne	ISP-WIV	Katelijne.Dierick@iph.fgov.be
		BROCHIER Bernard	ISP-WIV	bernard.brochier@iph.fgov.be
		HERMAN Lieve	ILVO	l.herman@ilvo.vlaanderen.be
		DAUBE Georges	ULg	Georges.Daube@ulg.ac.be
OFFQ	Impact de l'ozone troposphérique sur la qualité de l'alimentation humaine et de la nourriture pour animaux à base de Brassicaceae	VANDERMEIREN Karine (C)	CERVA-CODA	kavan@var.fgov.be
		GUISEZ Yves	UA	yves.guisez@uantwerpen.be
		CEULEMANS Reinhart	UA	reinhart.ceulemans@uantwerpen.be
ALLERRISK	Développement d'une stratégie intégrée pour le contrôle des allergènes dans les produits alimentaires et la restauration collective sur le marché belge	DE LOOSE Marc (C)	ILVO	marc.deloose@ilvo.vlaanderen.be
		DAESELEIRE Els (C)	ILVO	els.daeseleire@ilvo.vlaanderen.be
		DE MEULENAER Bruno	UGent	bruno.demeulenaer@ugent.be
		DEVREESE Bart	UGent	bart.devreese@ugent.be
		DE PAUW Edwin	ULg	e.depauw@ulg.ac.be
		MAGHUIN-ROGISTER Guy	ULg	g.maghuin@ulg.ac.be
		STEVENS Wim	UA	wim.stevens@uantwerpen.be
EBO Didier	UA	didier.ebo@uantwerpen.be		
MUSICAL	Multifonctionnalité et identité locale en tant que paradigmes pour une agriculture durable et compétitive	VAN HUYLENBROECK Guido (C)	UGent	Guido.VanHuylenbroeck@Ugent.be
		ALLAERT Georges	UGent	georges.allaert@ugent.be
		VAN HECKE Etienne	KULeuven	etienne.vanhecke@geo.kuleuven.ac.be
		LAUWERS Ludwig	ILVO	ludwig.lauwers@ewbl.vlaanderen.be
		NEVENS Frank	ILVO	frank.nevens@ewbl.vlaanderen.be
		LEROY Cathérine-Marie	Fondation rurale de Wallonie	cm.leroy@frw.be
STECTRACK	Validation de méthodes de recherche de nouveaux pathogènes émergents d' Escherichia coli	DE ZUTTER Lieven (C)	UGent	lieven.dezutter@ugent.be
		HERMAN Lieve	ILVO	lieve.herman@ilvo.vlaanderen.be
		HEYNDRIKX Marc	ILVO	Marc.Heyndrickx@ilvo.vlaanderen.be
		DE REU Koen	ILVO	koen.dereu@ilvo.vlaanderen.be
		DEL-FAVERO Jurgen	UA	jurgen.delfavero@uantwerpen.be
		PIERARD Denis	UZ Brussel	denis.pierard@uzbrussel.be
		DAUBE Georges	ULg	georges.daube@ulg.ac.be
FOODINTER	Interactions alimentaires: effets sur la santé, perception du consommateur et impact sur l'industrie agroalimentaire	MAGHUIN-ROGISTER Guy (C)	ULg	g.maghuin@ulg.ac.be
		SCIPPO Marie-Louise (C)	ULg	mlscippo@ulg.ac.be
		MORMONT Marc (C)	ULg	mmormont@ulg.ac.be
		SCHNEIDER Yves-Jacques	UCL	yjs@uclouvain.be
		LARONDELLE Yvan	UCL	yvan.larondelle@uclouvain.be
		PUSSEMIER Luc	CERVA-CODA	info@var.fgov.be
		BLUST Ronny	UA	Ronny.blust@uantwerpen.be
		DE SAEGER Sarah	UGent	sarah.desaeger@UGent.be
		VAN PETEGHEM Carlos	UGent	Carlos.VanPeteghem@ugent.be
BIODIVERSITÉ				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
ALIEN IMPACT	Impact de plantes exotiques fortement invasives sur la biodiversité: mécanismes, facteurs d'amplification, et analyse des risques	NIJS Ivan (C)	UA	Ivan.Nijs@uantwerpen.be
		MEERTS Pierre	ULB	pmeerts@ulb.ac.be
		TRIEST Ludwig	VUB	lтриest@vub.ac.be
		MAHY Grégory	FUSAGx	mahy.g@fsagx.ac.be
		JACQUEMART Anne-Laure	UCL	Jacquemart@ecol.ucl.ac.be
CCAMBIO	Changement climatique et la biodiversité microbienne en Antarctique	WILMOTTE Annick (C)	ULg	awilmotte@ulg.ac.be
		CONVEY Peter	BAS	p.convey@bas.ac.uk
		VAN DE PUTTE Anton	IRSNB-KBIN	anton.vandeputte@naturalsciences.be
		VAN DE VIJVER Bart	JBB-NPB	vandevijver@br.fgov.be
		VYVERMAN Wim	UGent	Wim.Vyverman@UGent.be
		WILLEMS Anne	UGent	Anne.Willems@UGent.be

PONDSCAPE	Vers une gestion durable des plans d'eau à l'échelle paysagère	MARTENS Koen (C) DE MEESTER Luc VYVERMAN Wim CASTIAUX Annick KESTEMONT Patrick CAUCHIE Henri-Michel HOFFMANN Lucien	IRSNB-KBIN KULeuven UGent FUNDP FUNDP GRP-GL GRP-GL	martens@naturalsciences.be Luc.DeMeester@bio.kuleuven.be wim.vyverman@UGent.be annick.castiaux@fundp.ac.be patrick.kestemont@fundp.ac.be cauchie@lippmann.lu hoffmann@lippmann.lu
CLANIMAE	Impacts climatiques et anthropiques sur les écosystèmes africains	VERSCHUREN Dirk (C) ANDRE Luc BOCK Laurent COCQUYT Christine MARCHANT Robert A.	UGent MRAC-KMMA FUSAGx JBB-NPB University of York	dirk.verschuren@UGent.be luc.andre@africamuseum.be geopedologie@fsagx.ac.be c.cocquyt@telenet.be rm524@york.ac.uk
MODIRISK	Moustiques, vecteurs de maladies: biodiversité spatiale, facteurs de changement et risques	VAN BORTEL Wim (C) GROOTAERT Patrick HANCE Thierry HENDRICKX Guy TAKKEN Willem	IMT-ITG IRSNB-KBIN UCL Avia-GIS WU	wvbortel@itg.be Patrick.grootaert@natuurwetenschappen.be hance@ecol.ucl.ac.be ghendrickx@avia-gis.be willem.takken@wur.nl
SELNAT	Comment bien faire fonctionner Natura 2000? Management socio-économique, juridique & écologique Socio-economisch, juridisch en ecologisch management	VINCKE Jan (C) HERMY Martin ENDELS Patrick HAUMONT Francis BORN Charles-Hubert MAHY Grégory TYTECA Daniel	Resource Analysis KULeuven KULeuven UCL UCL FUSAGx UCL	jav@resource.be martin.hermy@biw.kuleuven.be patrick.endels@biw.kuleuven.be haumont@publ.ucl.ac.be born@publ.ucl.ac.be Mahy.g@fsagx.ac.be tyteca@poms.ucl.ac.be
AMBIO	Biodiversité microbienne antarctique: l'importance des facteurs géographiques et écologiques	WILMOTTE Annick (C) VYVERMAN Wim WILLEMS Anne	ULg UGent UGent	awilmotte@ulg.ac.be Wim.Vyverman@UGent.be Anne.Willems@UGent.be
BIANZO II	Biodiversité de trois groupes représentatifs du Zoobenthos Antarctique - Réponse au Changement	VANREUSEL Ann (C) DE BROYER Claude MARTIN Patrick DE RIDDER Chantal DAUBY Patrick DAVID Bruno	UGent IRSNB-KBIN IRSNB-KBIN ULB ULg Université de Bourgogne	ann.vanreusel@UGent.be clau.debroyer@naturalsciences.be patrick.martin@naturalsciences.be crigger@ulb.ac.be pdauby@ulg.ac.be bruno.david@u-bourgogne.fr
CHOLTIC	Emergences du choléra au lac Tanganyika induites par les changements climatiques?	PLISNIER Pierre-Denis (C) CORNET Yves COCQUYT Christine JACOBS Jan DELEERSNIJDER Eric	MRAC-KMMA ULg JBB-NPB IMT-ITG UCL	pierre-denis.plisnier@africamuseum.be ycornet@ulg.ac.be c.cocquyt@br.fgov.be jjacobs@itg.be eric.deleersnijder@uclouvain.be
COBAFISH	Le Bassin du Congo: du carbone aux poissons	VERHEYEN Erik (C) BORGES Alberto BOUILLON Steven COCQUYT Christine SNOEKS Jos	IRSNB-KBIN ULg KULeuven JBB-NPB MRAC-KMMA	erik.verheyen@naturalsciences.be Alberto.Borges@ulg.ac.be Steven.Bouillon@ees.kuleuven.be christine.cocquyt@br.fgov.be jos.snoeks@africamuseum.be
COBIMFO	La surveillance intégrée du Bassin du Congo pour l'atténuation du carbone et la biodiversité des ressources forestières	BOECKX Pascal (C) VERBEECK Hans BEECKMAN Hans BOGAERT Jan DEFOURNY Pierre DESSEIN Steven VERHEYEN Erik LEIRS Herwig	UGent UGent MRAC-KMMA ULg UCL JBB-NPB IRM-KMI UA	pascal.boeckx@ugent.be Hans.Verbeeck@UGent.be hans.beeckman@africamuseum.be jan.bogaert@ulg.ac.be Pierre.Defourny@uclouvain.be steven@br.fgov.be erik.verheyen@naturalsciences.be herwig.leirs@uantwerpen.be
EAGLES	East African Great Lake Ecosystem Sensitivity to changes	DESCY Jean-Pierre (C) ANDRE Luc BOUILLON Steven BORGES Alberto VYVERMAN Wim CORNET Yves VAN LIPZIG Nicole GUILLARD J.	FUNDP MRAC-KMMA KULeuven ULg UGent ULg KULeuven UMR CARRTEL	jpdescy@fundp.ac.be lucandre@africamuseum.be steven.bouillon@ees.kuleuven.be alberto.borges@ulg.ac.be Wim.vyverman@ugent.be ycornet@ulg.ac.be nicole.vanlipzig@ees.kuleuven.be jean.guillard@thonon.inra.fr

ATMOSPHÈRE & ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES ET MARINS				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
AGACC	Exploitation avancée de mesures au sol pour l'étude de la chimie atmosphérique et du climat	DE MAZIERE Martine (C) DE BACKER Hugo MAHIEU Emmanuel CARLEER Michel	IRSNB-KBIN IRM-KMI ULg ULB	martine.demaziere@aeronomie.be Hugo.DeBacker@kmi-irm.be emmanuel.mahieu@ulg.ac.be mcarleer@ulb.ac.be
AGACC II	Exploitation avancée de mesures au sol pour des applications en chimie atmosphérique et en climat	DE MAZIERE Martine (C) DE BACKER Hugo VANDER AUWERA Jean MAHIEU Emmanuel	IRSNB-KBIN IRM-KMI ULB ULg	martine@oma.be Hugo.DeBacker@kmi-irm.be jauwera@ulb.ac.be emmanuel.mahieu@ulg.ac.be
BIOSOL	Mécanismes de formation, composés marqueurs et attribution des sources des aérosols atmosphériques d'origine biogène	MAENHAUT Willy (C) CLAEYS Magda JANSSENS Ivan KULMALA Markku	UGent UA UA UHEL	Willy.Maenhaut@UGent.be magda.claeys@uantwerpen.be ivan.janssens@uantwerpen.be markku.kulmala@helsinki.fi
IBOOT	Impact des émissions biogéniques sur les aérosols organiques et les oxydants dans la troposphère	MULLER Jean-François (C) PEETERS Jozef VEREecken Luc MOORTGAT Geert WINTERHALTER Richard	IASB-BIRA KULeuven KULeuven MP-Institut MP-Institut	Jean-Francois.Muller@aeronomie.be Jozef.Peeters@chem.kuleuven.ac.be Luc.Vereecken@chem.kuleuven.be moo@mpch-mainz.mpg.de winterha@mpch-mainz.mpg.de
BBLOOMS 2	Proliférations cyanobactériennes: toxicité, diversité, modélisation et gestion	DESCY Jean-Pierre (C) VYVERMAN Wim TRIEST Ludwig WILMOTTE Annick CODD Geoffrey A.	FUNDP UGent VUB ULg University of Dundee	jean-pierre.descy@fundp.ac.be wim.vyverman@ugent.be ltriest@vub.ac.be awilmotte@ulg.ac.be g.a.codd@dundee.ac.uk
FRAC WECO	Impact de contaminants sur les ressources en eau et les écosystèmes: Evaluation du risque par une approche basée sur les flux	BROUYERE Serge (C) DASSARGUES Alain THOME Jean-Pierre DIELS Ludo DEJONGHE Winnie MANSHOVEN Saskia BATELAAN Okke CANTERS Frank HERIVAUX Cécile	ULg ULg ULg VITO VITO VITO VUB VUB BRGM	Serge.Brouyere@ulg.ac.be alain.dassargues@ulg.ac.be JP.Thome@ulg.ac.be ludo.diels@vito.be winnie.dejonghe@vito.be saskia.manshoven@vito.be batelaan@vub.ac.be fcanters@vub.ac.be c.herivaux@brgm.fr
IMPECVOC	Impact de la phénologie et des conditions environnementales sur l'émission de Composés organiques volatils par les écosystèmes forestiers	LEMEUR Raoul (C) DEWULF Jo VAN LANGENHOVEN Herman AMELYNCK Crist AUBINET Marc	UGent UGent UGent IASB-BIRA FUSAGx	raoul.lemeur@ugent.be jo.dewulf@ugent.be Herman.VanLangenhove@UGent.be crist.amelynck@aeronomie.be aubinet.m@fsagx.ac.be
MANUDYN II	Macrophytes et dynamique des nutriments: processus et études de terrain dans l'amont des bassins de rivières	MEIRE Patrick (C) DEHAIRS Frank BRION Natacha VASEL Jean-Luc BOUMA Tjeerd J.	UA VUB VUB ULg NIOO-KNAW	Patrick.meire@uantwerpen.be frank.dehairs@vub.ac.be nnbrion@vub.ac.be jlvasel@ulg.ac.be t.bouma@nioo.knaw.nl
VOTES	Valuation of Terrestrial Ecosystem Services in a multifunctional peri-urban space	DENDONCKER Nicolas (C) FRANCOIS Louis VAN HERZELE Ann DEVILLET Guenaël	FUNDP ULg VUB ULg	nicolas.dendocker@fundp.ac.be louis.francois@ulg.ac.be ann.vanherzele@vub.ac.be g.devillet@ulg.ac.be
ECOFRESH	ECOsystème services of FRESHwater systems	MEIRE Patrick (C) DE NOCKER Leo DE MEESTER Luc GOETHALS Peter TURKELBOOM Francis	UA VITO KULeuven UGent INBO	patrick.meire@uantwerpen.be leo.denocker@vito.be luc.demeester@bio.kuleuven.be Peter.Goethals@UGent.be francis.turkelboom@inbo.be
MYCARBIO	Impact des champignons mycorrhiziens à arbuscules sur la biodiversité et le cycle du carbone dans les écosystèmes prairie sous la pression de changements climatiques	DECLERCK Stéphane (C) CEULEMANS Reinhart NIJS Ivan	UCL UA UA	declerck@mbla.ucl.ac.be Reinhart.ceulemans@uantwerpen.be Ivan.nijs@uantwerpen.be

CLIMAR	Evaluation des impacts du changement climatique global et des mesures d'adaptation	VAN DEN EYNDE Dries (C) DE SUTTER Renaat MAES Frank VERWAEST Toon POLET Hans	IRSNB-KBIN ECOLAS UGent Flanders Hydraulics Research ILVO	Dries.VandenEynde@mumm.ac.be renaat.desutter@ecolas.be frank.maes@ugent.be toon.verwaest@mow.vlaanderen.be hans.polet@dvz.be
AMORE III	Effets combinés des changements hydroclimatiques et des activités humaines sur l'écosystème côtier	LANCELOT Christiane (C) ROUSSEAU Véronique (C) GROSJEAN Philippe DELBARE Daan RUDDICK Kevin LACROIX Genevière	ULB ULB UMH ILVO IRSNB-KBIN IRSNB-KBIN	lancelot@ulb.ac.be vrousso@ulb.ac.be Philippe.Grosjean@umh.ac.be daan.delbare@ilvo.vlaanderen.be K.Ruddick@mumm.ac.be G.Lacroix@mumm.ac.be
MICROMET	Diversité microbienne et flux de métaux dans les sédiments contaminés de la mer du Nord	GILLAN David C. (C) DUBOIS Philippe (C) SABBE Koen BAEYENS Willy LEERMAKERS Martine FISCHER Jean-Claude	ULB ULB UGent VUB VUB Université de Lille	dgillan@ulb.ac.be phdubois@ulb.ac.be Koen.Sabbe@UGent.be wbaeyens@vub.ac.be mleermak@vub.ac.be jean-claude.fischer@univ-lille1.fr
LUSi	Changements d'affectation de sol et le transport de Si à travers le bassin de l'Escaut	MEIRE Patrick (C) GOVERS Gerard VAN WESEMAEL Bas	UA KULeuven UCL	Patrick.meire@uantwerpen.be gerard.govers@geo.kuleuven.ac.be vanwesemael@geog.ucl.ac.be
QUEST4D	Quantification des schémas d'érosion et de sédimentation en vue de tracer la dynamique naturelle versus anthropogénique des sédiments	VAN LANCKER Vera (C) FETTWEIS Michael MONBALIU Jaak VERWAEST Toon DEGRAER Steven	UGent IRSNB-KBIN KULeuven Waterbouwkundig Laboratorium UGent	vera.vanlancker@ugent.be m.fettweis@mumm.ac.be jaak.monbalieu@bwk.kuleuven.ac.be toon.verwaest@mow.vlaanderen.be steven.degraer@ugent.be
INRAM	Analyse de risque intégrée et monitoring des micropolluants dans la zone côtière belge	JANSSEN Colin (C) ROOSE Patrick DE BRABANDER Hubert VINCX Magda MEES Jan	UGent IRSNB-KBIN UGent UGent VLIZ	colin.janssen@ugent.be p.roose@mumm.ac.be Hubert.debrabander@ugent.be magda.vincx@ugent.be jan.mees@vliz.be
WESTBANKS	Interactions entre l'écosystème benthique et pélagique dans les zones côtières peu profondes et les effets sur l'avifaune	VINCX Magda (C) VANAVERBEKE Jan (C) VOLCKAERT Filip STIENEN Eric SOETAERT Karline MEES Jan	UGent UGent KULeuven INBO NIOO-KNAW VLIZ	magda.vincx@ugent.be Jan.Vanaverbeke@UGent.be Filip.volckaert@bio.kuleuven.ac.be Eric.stienen@inbo.be k.soetaert@nioo.knaw.nl jan.mees@vliz.be
SHIPFLUX	Déposition atmosphérique des émissions des navires dans les eaux maritimes belges	VAN GRIEKEN René (C) MENSINK Clemens	UA VITO	rene.vangrieken@uantwerpen.be clemens.mensink@vito.be
WAKO II	Évaluation intégrée de l'impact de la pêche aux filets maillants et au chalut à perche	DEPESTELE Jochen (C) HOSTENS Kris (C) POLET Hans (C) VANDENDRIESSCHE Sofie (C) COURTENS Wouter STIENEN Eric DEGRAER Steven HAELTERS Jan RABAUT Marijn VINCX Magda	ILVO ILVO ILVO ILVO INBO INBO IRSNB-KBIN IRSNB-KBIN UGent UGent	Jochen.Depestele@ilvo.vlaanderen.be Kris.Hostens@ilvo.vlaanderen.be hans.polet@ilvo.vlaanderen.be sofie.vandendriessche@ilvo.vlaanderen.be wouter.courtens@inbo.be Eric.Stienen@inbo.be S.Degraer@mumm.ac.be J.Haelters@mumm.ac.be Marijn.Rabaut@ugent.be magda.vincx@ugent.be
OSERIT	Développement d'un logiciel intégré pour prédire les impacts d'une pollution accidentelle aux hydrocarbures	LEGRAND Sébastien (C)	IRSNB-KBIN	s.legrand@mumm.ac.be

EnSIS	Sensibilité de l'écosystème par rapport aux espèces invasives	DEGRAER Steven (C) HOUZIAU Jean-Sébastien (C) KERCKHOF Francis (C) VAN LANCKER Vera (C) VINCX Magda MERCKX Bea STIENEN Eric COURTENS Wouter CRAEYMEERSCH Johan HOSTENS Kris VAN HOEY Gert	IRSNB-KBIN IRSNB-KBIN IRSNB-KBIN IRSNB-KBIN UGent UGent INBO INBO Wageningen IMARES ILVO ILVO	S.Degraer@mumm.ac.be jean-sebastien.houziaux@naturalsciences.be F.Kerckhof@mumm.ac.be V.Vanlancker@mumm.ac.be Magda.Vincx@UGent.be bea.merckx@ugent.be Eric.Stienen@inbo.be wouter.courtens@inbo.be Johan.Craeymeersch@wur.nl Kris.Hostens@ilvo.vlaanderen.be gert.vanhoey@ilvo.vlaanderen.be
LECOFISH	Une approche écosystémique pour une gestion durable de la pêche via la connaissance écologique locale	MAES Frank (C)	UGent	Frank.Maes@UGent.be
AS-MADE	Analyse des déchets marins sur le plateau continental belge: surveillance et effets	JANSSEN Colin (C) MEES Jan MAELFAIT Hannelore STIENEN Eric	UGent VLIZ VLIZ INBO	colin.janssen@ugent.be jan.mees@vliz.be hannelore.maelfait@vliz.be eric.stienen@inbo.be
BOREAS	Evaluation de l'énergie océanique belge	DE ROUCK Julien (C) MONBALIU Jaak VAN DEN EYNDE Dries VERWAEST Toon	UGent KULeuven IRSNB-KBIN Waterbouwkundig Laboratorium	julien.derouck@ugent.be jaak.monbalieu@bwk.kuleuven.be d.vandeneynde@mumm.ac.be toon.verwaest@mow.vlaanderen.be
PMPZ-DBII	Revitalisation des données recueillies durant les premières années de l'océanologie moderne en Belgique	SCORY Serge (C)	IRSNB-KBIN	S.Scory@mumm.ac.be
BIOSERF	Durabilité de la biodiversité et des services que dispensent les forêts tropicales sous le changement climatique et la pression humaine	HAMBUCKERS Alain (C) DENDONCKER Nicolas FRANCOIS Louis VAN DAMME Patrick BEUDELS Roseline C.	ULg FUNDP ULg UGent IRSNB-KBIN	alain.hambuckers@ulg.ac.be nicolas.dendoncker@fundp.ac.be Louis.Francois@ulg.ac.be Patrick.VanDamme@UGent.be roseline.beudels@naturalsciences.be
EAGLES	East African Great Lake Ecosystem Sensitivity to changes	DESCY Jean-Pierre (C) ANDRE Luc BOUILLON Steven BORGES Alberto VYVERMAN Wim CORNET Yves VAN LIPZIG Nicole GUILLARD Jean	FUNDP MRAC-KMMA KULeuven ULg UGent ULg KULeuven UMR CARRTEL	jpdescy@fundp.ac.be lucandre@africamuseum.be steven.bouillon@ees.kuleuven.be alberto.borges@ulg.ac.be Wim.vyverman@ugent.be ycornet@ulg.ac.be nicole.vanlipzig@ees.kuleuven.be jean.guillard@thonon.inra.fr

CLIMAT				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
ASTER	Evaluation des incertitudes liées aux modèles dans les projections à long terme des changements de climat et du niveau de la mer	FICHEFET Thierry (C) HUYBRECHTS Philippe MOUCHET Anne	UCL VUB ULg	fichfet@astr.ucl.ac.be phuybrec@vub.ac.be a.mouchet@ulg.ac.be
CALMARS II	Evaluation critique des squelettes calcaires comme enregistreurs du changement climatique global	WILLENZ Philippe (C) ANDRE Luc G.R. (C) DUBOIS Philippe DEHAIRS Frank BLUST Ronny	IRSNB-KBIN MRAC-KMMA ULB VUB UA	philippe.willenz@naturalsciences.be lucandre@africamuseum.be phdubois@ulb.ac.be fdehairs@vub.ac.be blust@ruca.ua.ac.be
PEACE	Rôle de la calcification pélagique et de l'export de la production carbonatée dans les changements climatiques	CHOU Lei (C) BORGES Albert V. SABBE Koen ENGEL Anja	ULB ULg UGent AWI	Lei.Chou@ulb.ac.be Alberto.Borges@ulg.ac.be Koen.Sabbe@ugent.be aengel@awi-bremerhaven.de
ABC Impacts	Aviation et politique climatique belge: analyse des options d'intégration et de leurs conséquences	HECQ Walter (C) VAN MIERLO Joeri MACHARIS Cathy VAN YPERSELE DE STRIHOU Jean-Pascal	ULB VUB VUB UCL	whecq@ulb.ac.be Jvmierlo@vub.ac.be cjmachar@vub.ac.be vanypersele@astr.ucl.ac.be

ADAPT	Vers un instrument décisionnel intégré pour les mesures d'adaptation – Etude de cas: les inondations	HECQ Walter (C) BACHUS Kris PIROTTON Michel MEIRE Patrick DE SUTTER Renaat	ULB KULeuven ULg UA Ecolas	whecq@ulb.ac.be kris.bachus@hiva.kuleuven.be Michel.Pirotton@ulg.ac.be patrick.meire@uantwerpen.be renaat.desutter@ecolas.be
CCI-HYDR	Incidences des changements climatiques sur les événements extrêmes dans les rivières et les installations de collecte des eaux usées	WILLEMS Patrick (C) ROULIN Emmanuel	KULeuven IRM-KMI	Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be Emmanuel.Roulin@oma.be
PSS-CCS	Système en appui à la décision pour la capture et le stockage du carbone	PIESSENS Kris (C) LAENEN Ben BAELE Jean-Marc MATHIEU Philippe	IRSNB-KBIN VITO FPMs ULg	Kris.Piessens@naturalsciences.be Ben.Laenen@vito.be Jean-Marc.Baele@fpm.ac.be PMathieu@ulg.ac.be
CLIMNEG III	Climat, Coalitions et Technologie	BRECHET Thierry (C) EYCKMANS Johan VAN YPERSELE DE STRIHOU Jean-Pascal	UCL EHSAL UCL	thierry.brechet@uclouvain.be johan.eyckmans@ehsal.be Vanypersel@astr.ucl.ac.be
HOLANT	La variabilité climatique et les changements des écosystèmes de l'Antarctique oriental et maritime au Holocène	VYVERMAN Wim (C) WILMOTTE Annick DE BATIST Marc HODGSON Dominic A.	UGent ULg UGent BAS	wim.vyverman@UGent.be awilmotte@ULg.ac.be marc.debatist@UGent.be daho@pcmail.nerc-bas.ac.uk
ASPI	Processus et Interactions Sous-glaciaires en Antarctique: le rôle des zones de transition dans la stabilité de la calotte glaciaire	PATTYN Frank (C) TISON Jean-Louis HUYBRECHTS Philippe	ULB ULB VUB	fpattyn@ulb.ac.be jtison@ulb.ac.be phuybrec@vub.ac.be
BELCANTO III	Etude intégrée de la biogéochimie de l'Océan Austral et des interactions climatiques dans l'Anthropocène	DEHAIRS Frank (C) LANCELOT Christiane ANDRE Luc G.R. GOOSSE Hugues BORGES Alberto	VUB ULB MRAC-KMMA UCL ULg	fdehairs@vub.ac.be lancelot@ulb.ac.be luc.andre@africamuseum.be hgs@astr.ucl.ac.be Alberto.Borges@ulg.ac.be
BIGSOUTH	Cycles Biogéochimiques dans l'Océan Austral: Role au sein du "Système Terre"	DEHAIRS Frank (C) TISON Jean-Louis FRIPIAT François ANDRE Luc G.R. GOOSSE Hugues VANCOPPENOLLE Martin DELILLE Bruno SCHOEMANN Véronique BARNIER Bernard	VUB ULB ULB MRAC-KMMA UCL UCL ULg NIOZ LEGI	fdehairs@vub.ac.be jtison@ulb.ac.be ffripiat@ulb.ac.be lucandre@africamuseum.be hugues.gosse@uclouvain.be Martin.Vancoppenolle@uclouvain.be Bruno.Delille@ulg.ac.be Veronique.Schoemann@nioz.nl bernard.barnier@legi.grenoble-inp.fr
PREDANTAR	Comprendre et prédire la variabilité de la glace de mer à l'échelle décennale	GOOSSE Hugues (C) VANNITSEM Stéphane BARTH Alexander	UCL IRM-KMI ULg	hugues.gosse@uclouvain.be Stephane.Vannitsem@meteo.be a.barth@ulg.ac.be
BIOSOA	Influences biogéniques sur les oxydants et l'Aérosol Secondaire Organique: études théoriques, de laboratoire et de modélisation	MULLER Jean-François (C) CARL Shaun PEETERS Jozef CLAEYS Magda MAENHAUT Willy LINUMA Yoshiteru HERRMANN Hartmut	IASB-BIRA KULeuven KULeuven UA UA IFT IFT	Jean-Francois.Muller@aeronomie.be Shaun.Carl.chem.kuleuven.ac.be Jozef.Peeters@chem.kuleuven.ac.be Magda.Claeys@uantwerpen.be willy.maenhaut@uantwerpen.be yoshi@tropos.de herrmann@tropos.de
iCLIPS	Contraire les projections à long terme du climat et du niveau des mers sur base de la dernière période interglaciaire	HUYBRECHTS Philippe (C) FICHEFET Thierry	VUB UCL	phuybrec@vub.ac.be thierry.fichfet@uclouvain.be
MACCBET	Modélisation de la composition atmosphérique et du climat pour le territoire Belge	VAN LIPZIG Nicole (C) DE RIDDER Koen VAN YPERSELE DE STRIHOU Jean-Pascal DELOBBE Laurent	KULeuven VITO UCL IRM-KMI	nicole.vanlipzig@ees.kuleuven.be koen.deridder@vito.be jean-pascal.vanypersel@uclouvain.be Laurent.Delobbe@meteo.be
IceCoN	Réduction des incertitudes sur le bilan de masse des glaces antarctiques: cas du Dronning Maud Land côtier	PATTYN Frank (C) TISON Jean-Louis BRUYNINX Carine VAN DAM Tonie MATSUOKA Kenichi HUBBARD Bryn	ULB ULB IASB-BIRA Univ. Luxembourg Norwegian Polar Institute Centre for Glaciology	fpattyn@ulb.ac.be jtison@ulb.ac.be C.Bruyninx@oma.be tonie.vandam@uni.lu kenichi.matsuoka@npolar.no byh@aber.ac.uk

RECHERCHES TRANSVERSALES				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
MultiMode	Un cadre de modélisation multiscale et multiagent pour évaluer des futurs soutenables dans un environnement globalisé	ACOSTA-MICHLIK Lilibeth (C)	UCL	acosta@geog.ucl.ac.be
		HENRY DE FRAHAN Bruno	UCL	henrydefrahan@ecru.ucl.ac.be
		VAN HERZELE Ann	VUB	ann.vanherzele@vub.ac.be
		ENGELLEN Guy	VITO	guy.engellen@vito.be
		WHITE Roger	Memorial University of Newfoundland	roger@morgan.uccs.mun.ca
TOPOZYM	Tableau de bord de la gestion des espaces publics pour les décideurs et les citoyens selon les principes du Développement durable	SCHMITZ Serge (C)	ULg	s.schmitz@ulg.ac.be
		VAN HECKE Etienne	KULeuven	Etienne.VanHecke@geo.kuleuven.be
		PARTOUNE Christine	ULg	ee-iep@guest.ulg.ac.be
CONSENTSUS	Construction de scénarios et exploration de transitions pour le développement de modes de consommation soutenables	VAN DAMME Patrick (C)	UGent	Patrick.VanDamme@UGent.be
		PAREDIS Erik (C)	UGent	Erik.Paredis@UGent.be
		ZACCAI Edwin	ULB	ezaccai@ulb.ac.be
		BOULANGER Paul-Marie	IDD	idd@iddweb.be
DRUPSSuC	Conception et rénovation des espaces publics urbains pour des villes durables	DE HERDE André (C)	UCL	deherde@arch.ucl.ac.be
		VERMEIR Gerrit	KULeuven	Gerrit.Vermeir@bwk.kuleuven.be
		GODART Marie-Françoise	ULB	mfgodart@ulb.ac.be
		HANIN Yves	UCL	hanin@urba.ucl.ac.be
WELLBEBE	Towards theoretically sound and democratically legitimate indicators of well being in Belgium	BOULANGER Paul-Marie (C)	IDD	idd@iddweb.be
		ZACCAI Edwin	ULB	ezaccai@ulb.ac.be
		BACHUS Kris	KULeuven	kris.bachus@hiva.kuleuven.be
		VAN OOTEGEM Luc	KULeuven	luc.vanootegem@hiva.kuleuven.ac.be
SCoPE	Une démarche d'évaluation intégrée comme outil d'interface entre science et politique pour la gestion des risques (environnementaux)	TORFS Rudi (C)	VITO	Rudi.Torfs@vito.be
		ZWETKOFF Catherine	ULg	czwetkoff@ulg.ac.be
FSB-CBSM	Encourager la Consommation Durable: Community-Based Social Marketing	DARDENNE Benoit (C)	ULg	b.dardenne@ulg.ac.be
		WARLOP Luk	KULeuven	luk.warlop@econ.kuleuven.ac.be
		VERBEECK Bruno	Ecolife	bruno.verbeeck@ecolife.be
		SOHET Xavier	Espace-Environnement	xsohet@espace-environnement.be
ISEU	Intégration de la Normalisation, de l'Ecoconception et des comportements des Utilisateurs pour le développement des appareils consommateurs d'énergie	ZACCAI Edwin (C)	ULB	ezaccai@ulb.ac.be
		WALLENBORN Grégoire (C)	ULB	Gregoire.wallenborn@ulb.ac.be
		ROUSSEAU Catherine	CRIOC-OIVO	catherine.rousseau@crioc.be
		GOETGHEBUER Didier	ICEDD	kt@icedd.be
SuFiQuaD	Durabilité et évaluation financière et qualitative de types d'habitation	DE TROYER Frank (C)	KULeuven	frank.detroyer@asro.kuleuven.be
		VAN DESSEL Johan	CSTC-WTCB	johan.van.dessel@bbri.be
		GEERKEN Theo	VITO	theo.geerken@vito.be
RISQUES				
Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
EcoRisk	Un outil d'aide à la décision pour gérer les risques du changement climatique sur les écosystèmes forestiers	GOBIN Anne (C)	VITO	anne.gobin@vito.be
		OGER Robert	CRA	oger@cra.wallonie.be
		VAN DE VYVER Hans	IRM-KMI	hvyver@oma.be
		VAN HUYLENBROECK Guido	UGent	Guido.vanhuylenbroeck@ugent.be
GeoRisCA	Géo-risque en Afrique Centrale: approche intégrée des multi-aléas et de la vulnérabilité au service de la gestion du risque global	KERVYN François (C)	MRAC-KMMA	francois.kervyn@africamuseum.be
		HAVENITH Hans-Balder	ULg	HB.Havenith@ulg.ac.be
		KERVYN Matthieu	VUB	makervyn@vub.ac.be
		TREFON Théodore	MRAC-KMMA	theodore.trefon@africamuseum.be
PLURISK	Prévision et gestion des risques induits par les précipitations extrêmes en milieu urbain	WILLEMS Patrick (C)	KULeuven	Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be
		DELOBBE Laurent	IRM-KMI	laurent.delobbe@meteo.be
		REYNIERS Maarten	IRM-KMI	Maarten.Reyniers@kmi-irm.be
		MAHY Grégory	ULg	g.mahy@ulg.ac.be
		BOGAERT Jan	ULg	j.bogaert@ulg.ac.be
DE SMET Lieven	KULeuven	Lieven.DeSmet@hiva.kuleuven.be		
			KULeuven	Koenraad.vanbalen@bwk.kuleuven.be

GroWaDRISK	Estimation du risque et de la vulnérabilité des ressources en eau souterraine liés à la sécheresse en Belgique	BATELAAN Okke (C)	VUB	Okke.Batelaan@vub.ac.be
		VERBEIREN Boud (C)	VUB	Boud.Verbeiren@vub.ac.be
		HUYSMANS Marijke (C)	VUB	Marijke.Huysmans@vub.ac.be
		TYCHON Bernard	ULg	Bernard.Tychon@ulg.ac.be
		JACQUEMIN Ingrid	ULg	ingrid.jacquemin@ulg.ac.be
		CANTERS Frank	VUB	fcanters@vub.ac.be
		VANDERHAEGEN Sven	VUB	svdhaege@vub.ac.be
		ENGELEN Guy	VITO	guy.engelen@vito.be
		POELMANS Lien	VITO	lien.poelmans@vito.be
		DE BECKER Piet	INBO	piet.debecker@inbo.be
TSAKIRIS George	NTUA	gtsakir@central.ntua.gr		
VANGELIS Harris	NTUA	harrivag@central.ntua.gr		
MERINOVA	Les risques météorologiques comme moteurs d'innovation environnementale dans la gestion des agro-écosystèmes	GOBIN Anne (C)	VITO	anne.gobin@vito.be
		OGER Robert	CRA	oger@cra.wallonie.be
		VAN DE VYVER Hans	IRM-KMI	hvyver@oma.be
S2-ART	Rôle et évolution à long terme des sulfures de métaux dans des peintures	JANSSENS Koen (C)	UA	koen.janssens@uantwerpen.be
		STRIVAY David	ULg	strivay@ulg.ac.be
		SANYOVA Jana	IRPA-KIK	jana.sanyova@kikirpa.be

CLUSTERS

Acronyme	Titre	Coordinateurs/Promoteurs	Institution	E-mail
FORBIO	Impact de la diversité ligneuse sur le fonctionnement des écosystèmes	VERHEYEN Kris (C)	UGent	Kris.Verheyen@UGent.be
		MUYS Bart	KULeuven	bart.muys@ees.kuleuven.be
		CARNOL Monique	ULg	m.carnol@ulg.ac.be
		PONETTE Quentin	UCL	quentin.ponette@uclouvain.be
		GERARD Pierre	FUSAGx	Pierre.Gerard@spw.wallonie.be
		AUBINET Marc	FUSAGx	aubinet.m@fsagx.ac.be
		GREGOIRE Jean-Claude	ULB	Jean-Claude.Gregoire@ulb.ac.be
		VANDEKERKHOVE Kris	INBO	kris.vandekerkhove@inbo.be
		BRUCIAMACCHIE Max	UMR/INRA	bruciamacchie@nancy-engref.inra.fr
HERMY Martin	KULeuven	martin.hermy@ees.kuleuven.be		
BRANQUART Etienne	BELSPO			
PM²TEN	Particles, Mobility, Physical activity, Morbidity and The Environment Network	INT PANIS Luc (C)	VITO	luc.intpanis@vito.be
		MEEUSEN Romain	VUB	romain.meeusen@vub.ac.be
		DE GEUS Bas	VUB	bas.de.geus@vub.ac.be
		NEMERY Benoit	KULeuven	Ben.Nemery@med.kuleuven.be
Air Quality	Integration of existing approaches toward (bio)surveillance in relation with indoor and outdoor air quality	NAWROT Tim	KULeuven	Tim.Nawrot@med.kuleuven.be
		DEWOLF Marie-Christine (C)	HPH Mons	marie_christine.dewolf@hainaut.be
		VAN DEN HEUVEL Rosette	VITO	rosette.vandenheuvel@vito.be
		INT PANIS Luc	VITO	luc.intpanis@vito.be
		NEMERY Benoit	KULeuven	Ben.Nemery@med.kuleuven.be
NAWROT Tim	KULeuven	Tim.Nawrot@med.kuleuven.be		
SUDEM-CLI	Impact du changement climatique sur l'hydrologie et l'écologie des rivières: recherche interdisciplinaire en appui à la décision, une étude de cas	MEIRE Patrick (C)	UA	patrick.meire@uantwerpen.be
		STAES J. (C)	UA	jan.staes@ua.ac.be
		WILLEMS P.	KULeuven	patrick.willems@bwk.kuleuven.be
		PAGLIERO L.	KULeuven	
		VAN YPSERSELE J.P.	UCL	jean-pascal.vanyperseluclouvain.be
MARBAIX P.	UCL	philippe.marbaix@uclouvain.be		
BEES	Les services écosystémiques belges: une vision pour les interactions société-nature	MEIRE Patrick (C)	UA	patrick.meire@ua.ac.be
		LIEKENS Inge	VITO	Inge.lieken@vito.be
		TURKELBOOM Francis	EV-INBO	francis.turkelboom@inbo.be
		DE MEESTER Luc	KULeuven	luc.demeester@bio.kuleuven.be
		BAULER Tom	ULB	tbauler@ulb.ac.be
		ZACCAI Erwin	ULB	Edwin.Zaccai@ulb.ac.be
PEETERS Alain	RHEA	alain.peeters@rhea-environment.org		
BE-REDDi	Développement de systèmes d'information belges relatifs à REDD	DAUWE Tom (C)	VITO	tom.dauwe@vito.be
		SWINNEN Else	VITO	else.swinnen@vito.be
		LAMBIN Erik	UCL	eric.lambin@uclouvain.be
		VERBIST Bruno	KULeuven	Bruno.Verbist@ees.kuleuven.be
		NYSSSEN Jan	UGent	jan.nyssen@ugent.be

FORUM	Mise en place d'un forum ad hoc pour la comparaison des modèles TIMES-MARKAL et LEAP en support à la politique énergétique belge de long terme	VERBRUGGEN Aviel (C) NIJS Wouter	UA VITO	aviel.verbruggen@ua.ac.be wouter.nijs@vito.be
INTERACT	Accessibilité aux lieux et aux transports: interactions sociales, économiques et environnementales	STEENBERGHEN Thérèse (C) THOMAS Isabelle VERHETSEL Ann LORANT Vincent	KULeuven UCL UA UCL	therese.steenberghen@sadl.kuleuven.be isabelle@geog.ucl.ac.be ann.verhetsel@uantwerpen.be vincent.lorant@uclouvain.be
PROLIBIC	Cluster des projets PROMOCO, LIMOBEL, BIOSSES et CLEVER	DE VLIETGER Ina (C) VANDRESSE Marie MACHARIS Cathy	VITO BFP-FPB VUB	Ina.devlieger@vito.be vm@plan.be Cathy.Macharis@vub.ac.be
VIRORISK	Risque d'émergence de maladies virales provoquées par des changements éco-climatiques et des situations socio-économiques	THIRY Etienne (C) ZWETKOFF Catherine BRUNET Sébastien COOSEMANS Marc	ULg ULg ULg IMT-ITG	Etienne.thiry@ulg.ac.be czwetkoff@uulg.ac.be Sebastien.Brunet@ulg.ac.be mcoosemans@itg.be

Récapitulatif

SSD en quelques chiffres:

- 8 thématiques de recherche prioritaires: Energie, Transport et mobilité, Agro-alimentaire, Santé et environnement, Climat (dont Antarctique), Biodiversité (dont Antarctique et mer du Nord), Atmosphère et écosystèmes terrestres (y compris eaux douces) et marins (dont Antarctique et mer du Nord) ainsi que Recherches transversales.

En 2010 et 2011, les appels ont été structurés autour de thématiques transversales à ces thèmes prioritaires: "Antarctique"; "Afrique" et les "Risques naturels".

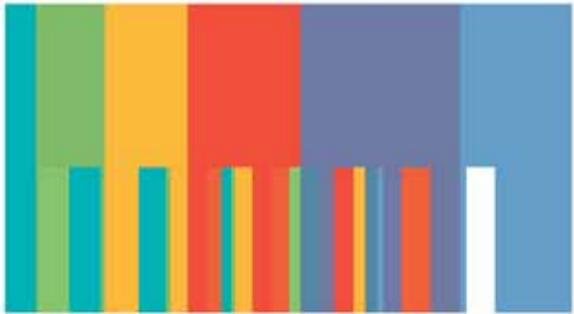
- 7 appels à propositions de recherche lancés de 2005 à 2011 ainsi que 2 appels à "clusters" lancés respectivement en 2007 et 2009

Appel	Thèmes	Date	Projets financés	Budget de l'appel (M€)
1	"Climat" et "Atmosphère"	2005	14	12,85
2	"Energie", "Transport et mobilité", "Agro-alimentaire", "Santé et environnement", "Biodiversité (dont Antarctique et mer du Nord)", "Ecosystèmes terrestres et marins (dont Antarctique et mer du Nord)" et "Recherches transversales"	2006	55	40,91
3	"Energie"	2007	2	1,01
4	"Mer du Nord"	2008	8	1,38
5	"Efficacité énergétique dans les ménages" et "Evaluation des services écosystémiques en Belgique"	2009	4	1,78
6	"Recherche polaire, climat et atmosphère" et "Afrique et patrimoine africain"	2010	11	10,20
7	"Risques naturels sur les écosystèmes et le patrimoine socio-culturel belges et Centre-africains" et "Recherche polaire terrestre"	2011	9	8,20
Clusters	Mesures d'accompagnement du programme	2007	3	0,3
Clusters	Mesures d'accompagnement du programme	2009	7	0,7

- 103 projets de recherche en réseaux multidisciplinaires d'une durée de 2 à 4 ans et 10 clusters de projets d'une durée de 2 ans
- 74% des projets de recherche ont une durée de 4 ans
- Le budget moyen d'un projet de 4 ans est de 880k€
- La taille moyenne d'un réseau est de 4 partenaires

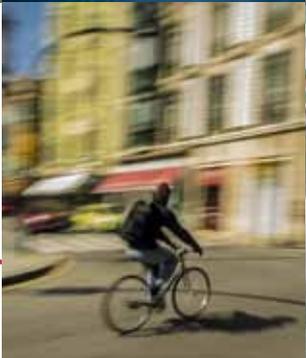
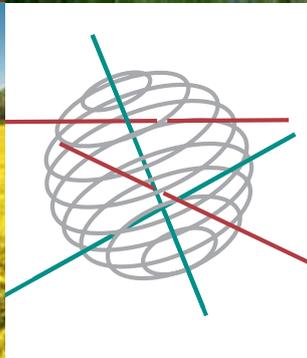


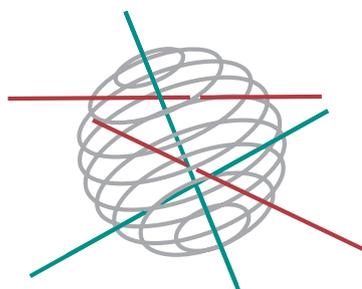
Pour plus d'information, visitez notre site web
www.belspo.be/ssd/



belspo







La mission de la Politique scientifique est la maximalisation du potentiel scientifique et culturel de la Belgique au service des décideurs politiques, du secteur industriel et des citoyens: 'une politique pour et par la science'. Pour autant qu'elle ne poursuive aucun but commercial et qu'elle s'inscrive dans les missions de la Politique scientifique fédérale, la reproduction par extraits de cette publication est autorisée. L'Etat belge ne peut être tenu responsable des éventuels dommages résultant de l'utilisation de données figurant dans cette publication.

La Politique scientifique fédérale ni aucune personne agissant en son nom n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou des erreurs éventuelles qui, malgré le soin apporté à la préparation des textes, pourraient y subsister.

La Politique scientifique s'est efforcée de respecter les prescriptions légales relatives au droit d'auteur et de contacter les ayants droits. Toute personne qui se sentirait lésée et qui souhaiterait faire valoir ses droits est priée de se faire connaître. Reproduction autorisée moyennant citation de la source.

Interdit à la vente.

Cette publication existe également en néerlandais. Elle est disponible en format PDF sur notre site www.belspo.be.

Ceci est une publication du service public fédéral "Politique scientifique fédérale".

Coordination rédactionnelle:

Emmanuèle Bourgeois (Politique scientifique fédérale)

Rédaction: Christian Du Brulle, Paul Devuyt, Jan Van Pelt et Johan Lambrechts

Remerciements: Les gestionnaires du programme SSD et son secrétariat (Emmanuèle Bourgeois, David Cox, Frederik De Bruyn, Véronique Degroote, Anne Fierens, Georges Jamart, Christine Mathieu, Maaïke Vancauwenberghe, Aline Van der Werf, Martine Vanderstraeten), ainsi que tous les coordinateurs de projets qui ont contribué à cette brochure (Dominique Lison (UCLouvain), Luc Int Panis (MITO), Tim Nawrot (UHasselt), Benoît Nemery de Bellevaux (KULeuven), Patrick Van Damme (UGent), Paul-Marie Boulanger (IDD), Benoît Dardenne (ULg), Etienne Thiry (ULg), Guy Maghuin-Rogister (ULg), Guido Van Huylbroeck (UGent), Magda Vincx (UGent), Annick Wilmotte (ULg), Kris Verheyen (UGent), Jean-Denis Plisnier (MRAC/KMMA), Pascal Boeckx (UGent), Martine De Mazière (IRSNB/KBIN), Christiane Lancelot (ULB), Wim Van Bortel (ITM), Koen Martens (IRSNB/KBIN), Patrick Willems (KULeuven), Frank Pattyn (ULB), Willy Maenhaut (UGent), Jan Duerinck (VITO), Luc Pelkmans (VITO), Johan Driesen (KULeuven), Marek Hudon (ULB), François Kervyn (MRAC/KMMA), Inge Mayeres (FPB), Joeri Van Mierlo (VUB), Philippe Toint (FUNDP).

Mise en page et impression:

<http://www.gevaertgraphics.be>

Dépôt légal: D/2015/1191/04