

## **ANNEX 3: NEDERLANDSE SAMENVATTING // RÉSUMÉ FRANÇAIS**

### **SAMENVATTING ECORISK PROJECT**

#### **A. Algemene kader**

In de context van globale klimaatveranderingen vervullen bosccosystemen een sleutelrol in potentiële mitigatiestrategieën. Voor België werden de belangrijkste functies van bosccosystemen voor het tijdsvenster 2009-2012 opgenomen in het Nationaal Klimaatplan (NKP, 2008) aan de hand van enkele strategische assen. Beknopt samengevat bevat het Plan de volgende doelstellingen voor de zes strategische assen: (1) optimalisatie van de energieproductie; (2) rationeel energieverbruik in gebouwen; (3) impact op industriële processen; (4) ontwikkeling van duurzame transportmiddelen; (5) promotie van duurzame ontwikkeling van landbouw en bosccosystemen; (6) verhoogde inspanningen in het afvalbeheer.

Naast het feit dat bossen een belangrijke rol spelen in de klimaatproblematiek, leveren ze de maatschappij ook verschillende goederen en diensten die essentieel zijn voor het algemeen menselijk welzijn. Bij deze ecosysteemdiensten horen diensten van toelevering, regulerende diensten, culturele diensten en ondersteunende diensten (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). De mate waarin bosccosystemen hun rol en functies in de toekomst efficiënt kunnen vervullen, is echter onzeker tengevolge van het complexe web van factoren die rechtstreekse en onrechtstreekse effecten van klimaatverandering incorporeren.

Rechtstreekse effecten omvatten een combinatie van stress-situaties (bvb. extreme droogte) en van diffuse pollutie (contaminatie, verstoring van nutriëntenbalans), die op verschillende temporele schalen en met een verschillende intensiteit optreden.

*Onrechtstreekse effecten* zijn deze die gegenereerd worden door alternatieve energiebronnen voor de mitigatie van de impact van klimaatveranderingen. Onder deze alternatieven vormen energiehout en kernenergie een bijzondere bron van bezorgdheid omwille van hun potentieel drastische impact op bosccosystemen. De impact van de verwachte stijging van de houtkap op bosccosystemen is sterk afhankelijk van de uiteindelijke bestemming van het geoogste hout vermits deze laatste het bosbeheer stuurt, inclusief soortenkeuze, omlooptijd en kapmethode. De

impact van radionucliden op bossen moet ook als een mogelijk effect van mitigatiestrategieën beschouwd worden – wat ook de uiteindelijke beleidsbeslissing over kernenergie in België moge zijn – vermits de emissies van kernenergie zonder twijfel een transnationaal karakter hebben. Vermits bossen van nature uit langlevend zijn, beïnvloeden zij de dispersie van polluenten, inclusief radionucliden, evenals hun verspreiding in de biosfeer.

## **B. Doelstellingen**

De doelstelling van dit project was het ontwerpen van een methodiek die – op basis van scenario's – modelsimulaties toelaat van de groei, van de opname van nutriënten en van de verspreiding van polluenten onder verschillende condities van bostype, bodem, grondwater en klimaat voor bossen in België. Alhoewel de doelstelling oorspronkelijk onder de vorm van een beleidsondersteunend instrument werd geconcipeerd, werd na overleg besloten om eerst een geïntegreerd modelleerplatform uit te bouwen. Hierbij lag de nadruk niet enkel op de groei en de productiviteit van het bos, maar ook op de bodemkoolstof en de nutriëntentoestand, en op de mogelijke veranderingen in de verspreiding van diverse chemische elementen, inclusief polluenten en radioactieve stoffen.

## **C. Conclusies**

Een volledig geïntegreerd modelinstrument werd ontwikkeld dat in staat is de respons van boscystemen op veranderingen in klimaat, in verontreiniging en in bosbeheer in detail te simuleren. Het ontwikkelde model laat tevens toe de terugkoppeling tussen groei, bosbeheer en nutriëntentoestand van de bodem te bestuderen; het kan tevens de transfer van radioactieve polluenten doorheen de bodem en het ecosysteem simuleren. De *gedownscaled* klimaatscenario's die in het kader van het project ontwikkeld werden, kunnen in diverse andere modelleerstudies gebruikt worden. De voornaamste vernieuwingen in het model zijn de gedetailleerde kringloop van het bodemwater (inclusief de opwaartse capillaire flux) en van de bodemnutriënten (als actieve afbraak van de organische materie in de bodem, gedetailleerde opname van bodemoplossingen, allocatie naar diverse compartimenten van de bomen, interacties tussen bodemsubstraat en verwerking).

Het model werd toegepast op een aantal specifieke bestanden van sites die reeds intensief opgevolgd worden. Dit leidde tot een beter begrip van diverse processen en uit de verschillende gevalstudies kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- Niet alleen het gemiddeld klimaat is belangrijk voor de stabiliteit van een bosecosysteem, maar ook en vooral de variabiliteit tussen de jaren.
- Via verschillende, toevallig gekozen weersimulaties van diverse klimaatscenario's kan het risico berekend worden van 'ongunstige' weersomstandigheden die een significante vermindering van de groei tot gevolg hebben.
- Veranderingen in het grondwater of in de bodemtemperatuur hebben een grote impact op de nutriëntenvoorziening van de bodem (via een impact op het ontbindingsproces), en dit heeft op zijn beurt een invloed op de bestandsgroei.
- De nutriëntenvoorziening in de bodem is cruciaal voor de ontwikkeling van bosbestanden in België en de beschikbaarheid van nutriënten beperkt de respons van de bossen op klimaatveranderingen.
- Wijzigingen in het bosbeheer hebben een invloed op de chemische nutriëntenvoorziening in de bodem via het verwijderen van nutriënten ten gevolge van de boskap (waarbij dode takken en schors bij de houtkap achterblijven).
- Radionucliden verspreiden zich in het bosecosysteem via de fluxen van het bodemwater alsook via diffusie in de bodem en eventueel in boomwortels.

#### **D. Bijdrage van het project in de context van de wetenschappelijke ondersteuning van het duurzame ontwikkelingsbeleid**

Voor beleidsondersteuning en voor toepassingen m.b.t. de impact van klimaatveranderingen op bestandsniveau is het modelleerplatform beschikbaar op eenvoudige aanvraag bij de project-coördinator. Het platform kan als een criterium dienen voor meer empirische modellen die op een grotere ruimtelijke schaal functioneren, maar geen gedetailleerde procesbeschrijvingen omvatten. Als dusdanig kan het modelleerplatform bijdragen aan een ondersteuning van de duurzame ontwikkeling onder gewijzigde klimaatcondities:

- De klimaatsimulaties worden gebruikt voor het analyseren van de klimaatimpact op Europese en Belgische schaal in de context van CORDEX.

- De simulaties kunnen gebruikt worden om het bosbeheer te optimaliseren via een duurzame productie van houtige biomassa zonder verstoring van de bodemkoolstof en de nutriëntenvoorraad.
- De simulaties van het koolstofbudget kunnen bijdragen aan een beter begrip en een betere inschatting van de rol van bossen in de vastlegging van het CO<sub>2</sub> broeikasgas.
- Optimalisatie van milieubescherming tegen radioactieve straling door een verbeterde risicoanalyse van de impact van radionucliden vanuit gecontamineerde bodems naar de bosvegetatie.

## **E. Keywords**

Bossen – globale klimaatveranderingen – bodemnutriënten – radionucliden – modellering – terugkoppelingsmechanismen – impact

## **RÉSUMÉ ECORISK PROJECT**

### **A. Contexte**

Les écosystèmes forestiers constituent des composants-clés pour la réussite des stratégies d'atténuation des effets des changements environnementaux globaux. À l'échelle de la Belgique, les rôles importants des écosystèmes forestiers ont été soulignés dans le Plan National Climat (NCP, 2008) pour la période 2009-2012 à travers une série d'axes stratégiques. En résumé, le plan inclut les objectifs suivants selon six axes : (1) optimisation de la production d'énergie ; (2) utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments ; (3) actions sur les procédés industriels ; (4) développements de formes durables de transport ; (5) promotion de pratiques durables de gestion des écosystèmes agricoles et forestiers ; (6) augmentation des efforts dans la gestion des déchets.

Outre leur position centrale dans les questions climatiques, les forêts fournissent également à la société des biens et des services fondamentaux pour le bien-être humain en termes d'approvisionnement, de régulation, culturels et de support (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

La mesure dans laquelle les écosystèmes forestiers seront capables d'assurer efficacement ces rôles dans le futur reste cependant insuffisamment documentée (Campioli et al., 2011), à cause de la complexité des relations entre les facteurs liés aux effets directs et indirects des changements globaux.

Les *effets directs* sont dus à une combinaison d'événements stressants (par exemple sécheresses extrêmes) et de pollutions diffuses (contaminations, déséquilibres nutritionnels) qui peuvent agir avec diverses intensités et à différentes échelles de temps.

Les *effets indirects* sont ceux générés par l'emploi de sources alternatives d'énergie afin d'atténuer l'impact des changements climatiques. Parmi celles-ci, le bois-énergie et l'énergie nucléaire font l'objet de préoccupations particulières vu leurs effets potentiellement importants sur les écosystèmes forestiers. Les impacts de l'augmentation attendue du prélèvement de biomasse sur les écosystèmes forestiers dépendront fortement de l'utilisation finale du bois car celle-ci détermine largement l'orientation des décisions de gestion sylvicole telles que le choix de l'espèce, la durée de la révolution forestière et les stratégies de récolte. L'impact des radionucléides sur les forêts doit aussi être considéré comme un possible effet secondaire des stratégies d'atténuation des changements globaux, quelle que soit la décision finale prise à l'échelle belge sur l'énergie nucléaire, car les émissions des radioéléments sont une question d'ordre transnational. Enfin, en raison de leur caractère persistant, les systèmes végétaux forestiers influencent la dispersion des polluants, y compris les radionucléides, et leur distribution dans la biosphère.

## **B. Objectifs**

L'objectif de ce projet était de concevoir une méthodologie permettant de modéliser des scénarios de croissance de stations forestières, de prélèvement d'éléments nutritifs et de polluants dans différents types de forêts, de sols, de nappe phréatique, et de conditions climatiques représentatifs de la Belgique. Bien que, originellement, il ait été envisagé de développer un outil d'aide à la décision, il a finalement été décidé qu'une plate-forme intégrée de modélisation devrait être produite d'abord. L'effort porte non seulement sur la croissance et la productivité forestière, mais aussi sur le carbone et le statut nutritionnel du sol, et les éventuelles modifications de la

distribution d'une série d'éléments, en ce compris des substances polluantes et radioactives.

### **C. Conclusions**

Nous avons développé une plate-forme de modélisation totalement intégrée capable de simuler en détail les réponses des écosystèmes forestiers à des modifications du climat, de la pollution et des pratiques sylvicoles. Le modèle permet d'explorer les mécanismes de rétroaction entre la croissance, la gestion forestière, le climat et le statut nutritionnel du sol, et de simuler le transfert de polluants radioactifs à travers le sol et dans l'écosystème. La réduction d'échelle effectuée sur les scénarios climatiques dans le cadre de ce projet pourront être utilisées dans de nombreux autres exercices de modélisation. Les principales innovations intégrées dans les modèles sont la représentation détaillée de l'eau (y compris le flux capillaire ascendant) et du cycle des éléments nutritifs dans le sol (décomposition active de la matière organique, prélèvement dans la solution du sol, allocation aux différents organes de l'arbre, interaction avec les composantes du sol et altération).

Nous avons appliqué le modèle à des stations qui font l'objet d'un monitoring intensif. Ces cas d'étude ont apporté une meilleure compréhension des processus et ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Ce n'est pas seulement le climat moyen mais c'est aussi sa variabilité interannuelle qui est importante pour la stabilité de l'écosystème.
- Grâce à l'exécution de multiples simulations avec des échantillons aléatoires des conditions météorologiques, nous pouvons calculer le risque de survenue d'une séquence climatique défavorable qui causera une sévère réduction de la croissance forestière.
- Des modifications de la répartition de l'eau ou des modifications de la température du sol ont des effets importants sur le statut nutritionnel de celui-ci (par des effets sur la décomposition de la matière organique), qui, à leur tour, ont un impact sur la croissance des arbres.
- Le statut nutritionnel du sol est un facteur essentiel du développement des stations forestières en Belgique et la disponibilité des éléments nutritifs conditionne la réponse des forêts aux changements climatiques.

- Une modification des pratiques sylvicoles telle que la récolte ou non des branches lors des éclaircies et coupes affecte la fertilité chimique du sol par l'exportation d'éléments nutritifs.
- Les radionucléides se dispersent dans l'écosystème forestier à travers les flux d'eau et la diffusion dans le sol et finissent par pénétrer dans les racines.

#### **D. Apport du projet dans un contexte d'appui scientifique à une politique de développement durable**

Sur demande auprès d'un des coordinateurs du projet, la plate-forme de modélisation est disponible pour aider aux décisions et évaluer l'impact des changements climatiques à l'échelle de la station forestière. Elle peut servir de référence pour les modèles plus empiriques, avec une couverture spatiale plus large et une description moins détaillée des processus. Ainsi, la plate-forme de modélisation peut contribuer au développement durable dans un contexte de changements climatiques :

- Utilisation des simulations climatiques pour analyser l'impact du climat à l'échelle européenne et belge dans le cadre du programme CORDEX.
- Utilisation des simulations pour optimiser les choix en matière de pratiques sylvicoles afin d'obtenir une production durable de biomasse ligneuse sans affecter les stocks de carbone et d'éléments nutritifs dans les sols.
- Simulations du bilan de carbone pour comprendre et évaluer le rôle des forêts dans la séquestration du CO<sub>2</sub>.
- Optimisation des mesures de radioprotection de l'environnement en améliorant l'évaluation des risques liés à l'impact des radionucléides depuis les sols contaminés jusqu'à la végétation

#### **E. Mots-clés**

forêt – changement climatique global – éléments nutritifs du sol – radionucléides – modélisation – rétroaction– impact