

ADAPT - Résultats

Vers un instrument intégré de décision pour les mesures d'adaptation - Etude de cas : les crues

DUREE DU PROJET
01/01/2008 – 31/01/2010

BUDGET
1.180.117€

MOTS CLES

Analyse de risque d'inondation, échelle micro, modélisation d'inondation, cartes d'affectation des sols, exposition, vulnérabilité, capacités d'adaptation, mesures d'adaptation

CONTEXTE

Depuis le début de la Révolution Industrielle, les activités humaines ont exercé un impact de plus en plus important sur l'environnement naturel, au point d'altérer l'équilibre du système climatique. Cette altération entraîne des effets sur les températures et les précipitations, et, par conséquent, sur les vagues de chaleur, les sécheresses, les inondations ainsi que sur la hausse du niveau des mers. Actuellement, le changement climatique est considéré comme l'une des menaces les plus importantes pour l'environnement et pour le bien-être de l'homme. En effet, si les évolutions observées pour le climat persistent, le changement climatique exercerait un impact de plus en plus lourd sur les sociétés humaines et sur les systèmes naturels.

Les décideurs politiques ont le choix entre deux options principales pour lutter contre les effets du changement climatique. Premièrement, ils peuvent prendre des mesures d'*atténuation*, qui visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ces mesures d'atténuation ont donc pour effet de viser à prévenir ou, à tout le moins, limiter le changement climatique. Deuxièmement, les décideurs politiques peuvent développer des mesures d'*adaptation* de façon à limiter l'impact du changement climatique sur les sociétés humaines et sur les écosystèmes. Dans le cadre du projet ADAPT, une méthodologie a été développée pour assister la sélection des mesures d'adaptation optimales. Cette méthodologie est plus spécifiquement axée sur les mesures d'adaptation à mettre en œuvre pour faire face aux risques accrus d'inondation dus au changement climatique qui découlent du fait que le changement climatique influence les précipitations et l'évapotranspiration, facteurs qui, à leur tour, modifient les inondations dues aux rivières.

Les résultats des Modèles de circulation globale et des Modèles Climatiques régionaux fournissent, pour les précipitations et l'évapotranspiration, des estimations sur les changements possibles dus au changement climatique. La modélisation de l'écoulement des eaux de pluie (précipitations-ruissellement) peut alors être utilisée pour traduire ces changements des paramètres climatiques en changements dans le débit des rivières, tout en tenant compte des évolutions de l'affectation des sols auxquelles l'on peut s'attendre.

Un niveau significatif d'incertitude persiste pour de telles projections, d'une part en raison des modèles climatiques et hydrologiques utilisés eux-mêmes, et d'autre part, dans une plus grande mesure encore, en raison des divergences entre les scénarios utilisés pour faire tourner ces modèles. Néanmoins, les prévisions issues des modèles convergent vers une augmentation des débits de pointe à la fois en termes d'intensité et de fréquence, et ce pour plusieurs bassins de rivières européens.

C'est pourquoi, faire face aux risques dus aux inondations restera donc une priorité de toute première importance et nécessitera des mesures de protection adaptées.

D'après les recommandations émises à l'échelle internationale, la sélection d'une combinaison de mesures qui soient coût-efficaces pour la réduction des inondations et l'identification des moyens pour réduire les conséquences des inondations devraient pouvoir bénéficier d'une approche basée sur le risque qui prennent en considération non seulement des critères purement techniques, mais aussi des facteurs économiques, sociaux et environnementaux. Actuellement, ce type d'approche n'est cependant pas la pratique courante ni en Belgique, ni à l'étranger. Le projet ADAPT répond à ce défi en développant une méthodologie pratique pour assister la prise de décision, dans le contexte du changement climatique, en ce qui concerne la sélection de stratégies qui soient économiquement efficaces pour la protection contre les inondations. Cette méthodologie est basée sur l'évaluation intégrée des effets économiques, sociaux et écologiques. De plus, l'analyse devrait avoir un niveau de résolution suffisamment élevé pour permettre de fournir des conclusions utiles pour les gestionnaires locaux de rivières. C'est pourquoi, alors que la plupart des analyses sur les risques d'inondation sont entreprises au niveau macro ou meso, la méthodologie du projet ADAPT se base, dans une certaine mesure, sur une analyse menée au niveau micro. Comme le projet suit une approche multidisciplinaire, le consortium formé pour le projet ADAPT est composé de cinq partenaires avec des expertises scientifiques complémentaires appartenant aux trois piliers du développement durable. Cette collaboration permet de relever les défis liés à l'analyse intégrée de problèmes complexes. En outre, le projet ADAPT a été mené en collaboration étroite avec le projet CCI-HYDR. Les résultats du projet CCI-HYDR, qui étudie les impacts dus au changement climatique sur les événements hydrologiques extrêmes en Belgique sont en effet utilisés comme input pour le projet ADAPT.

OBJECTIFS

Après une revue de l'état de l'art sur les effets généraux dus au changement climatique en Belgique menée dans la Phase I du projet, la Phase II a été entièrement dédiée au développement d'une méthodologie pratique pour sélectionner les mesures d'adaptation optimales pour faire face aux risques accrus d'inondation générés par le changement climatique.

Le risque d'inondation est une fonction de la fréquence des inondations et des impacts dus aux inondations, quelle mesure ces biens et personnes sont affectés par les inondations.



ADAPT - Résultats

Vers un instrument intégré de décision pour les mesures d'adaptation -
Etude de cas : les crues

Les aléas liés à l'inondation reflètent l'intensité de l'inondation (incluant des critères comme la hauteur d'eau, la vitesse d'écoulement, la rapidité d'élévation du niveau, la durée) pour différentes valeurs de débit caractérisées par leurs fréquences de débordement. Cette dernière peut être déduite à partir de la modélisation hydrologique ou d'analyses statistiques de séries chronologiques. L'évaluation des impacts dus aux inondations implique une analyse de l'exposition, c'est-à-dire, inventorier ce qui est affecté (population, bâtiments, industries, réseaux ferroviaire et routier, ...), estimer leur valeur et leur vulnérabilité, décrire dans quelle mesure ces biens et personnes sont affectés par les inondations..

Différents types de mesures de réduction des inondations peuvent être utilisées lorsque l'on fait face aux risques d'inondation. Il y a tout d'abord les mesures techniques qui visent à limiter directement les caractéristiques de l'inondation (digues, canaux de dérivation), ensuite, les mesures de régulation visant à réduire l'exposition au risque (protections individuelles contre les inondations, mesures d'interdiction d'habiter dans les zones à risque), et enfin les mesures techniques et non-techniques diminuant la possibilité de survenance pour les personnes et les biens (protection domestique contre les inondations, signaux d'alarme, plans d'urgence, communication sur les risques). La méthodologie développée dans le projet ADAPT permet d'évaluer l'influence de plusieurs mesures de protection contre les inondations, qu'elles soient de nature technique ou non-technique, sur les trois composantes des risques d'inondation : l'aléa, l'exposition et la possibilité de survenance pour les personnes et les biens économiques.

Afin de développer et d'illustrer la méthodologie, le projet prévoit deux études de cas situées dans les deux plus importants bassins de rivière belges : (1) une zone de la rivière Ourthe, dans le bassin de la Meuse et (2) une zone de la rivière Dendre, dans le bassin de l'Escaut. Ces zones d'étude ont été sélectionnées pour leur historique d'inondation, pour leur intérêt du point de vue de leurs caractéristiques hydrauliques, économiques, sociales et écologiques, ainsi que pour leur complémentarité.

La méthodologie développée s'appuie sur une procédure en trois étapes, qui permet la sélection des mesures d'adaptation les plus appropriées d'un point de vue coût-efficacité.

- Evaluation des risques d'inondation et, pour chaque mesure de réduction des inondations, évaluation du risque évité correspondant ;
- Estimation du coût de chaque mesure d'adaptation ;
- Réalisation d'une analyse coûts-bénéfices étendue (ACB) pour évaluer, établir un classement et un ordre de priorité pour les mesures d'adaptation.

a) Evaluation des risques d'inondation

L'évaluation des risques d'inondation est le résultat de l'évaluation des aléas basée sur une modélisation des inondations et une analyse de vulnérabilité concernant les impacts sociaux, économiques et écologiques des inondations.

Au final, le risque est exprimé comme une relation entre fréquence de débordement et intensité des dommages..

L'analyse des aléas

Les aléas liés aux inondations sont obtenus par la modélisation ex-ante des caractéristiques des inondations obtenues grâce à des modèles hydrauliques, qui utilisent le débit dans les rivières comme input et produisent des cartes d'inondation comme output. L'approche de modélisation hydraulique est différente pour les deux études de cas : pour l'Ourthe, un modèle hydraulique 2D détaillé est utilisé, tandis que pour la Dendre, un modèle 1D conceptuel a été exploité.

Les simulations d'écoulement pour l'étude de cas de l'Ourthe ont été réalisées grâce au modèle numérique bidimensionnel WOLF 2D, basé sur les équations en eaux peu profondes (Shallow-Water Equations) et qui est entièrement développé à l'Université de Liège. Le modèle d'écoulement est résolu à l'aide d'un schéma volume fini sur un maillage ordonné multibloc.

Pour les zones inondables le long de l'Ourthe, les données topographiques sont générées à partir d'un Modèle Numérique de Surface (MNS) LiDAR (Light Detection And Ranging), qui offre une résolution horizontale de 1 mètre et permet d'atteindre une précision verticale de 15 centimètre (fournies par les Services publics de Wallonie). Les simulations hydrauliques sont toutes réalisées sur un maillage régulier de 2m par 2m, ce qui est suffisamment détaillé pour représenter l'écoulement à l'échelle des bâtiments individuels. Les résultats du modèle sont des distributions denses en 2D (dense 2D distributions) de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant dans les zones inondées, ce qui constitue des données clés pour l'évaluation subséquente des impacts.

Comme les résultats de ces simulations le confirment, la complexité de la topographie dans les zones inondables urbanisées nécessite un modèle d'écoulement bidimensionnel de façon à représenter de façon correcte la dynamique des flux d'inondation. En conséquence, les résultats de la modélisation hydraulique constituent des inputs adéquats pour l'analyse de l'exposition qui suit, réalisée à un niveau micro en utilisant des cartes détaillées de l'affectation des sols et une base de données géographiques.

L'étude est réalisée pour quatorze valeurs de débit différentes, permettant ainsi d'obtenir une représentation correcte des courbes de risques finales. Dans la situation présente, les fréquences de débordement associées à ces débits ont été obtenues par l'analyse statistique de séries chronologiques sur le long terme. Des perturbations dans les fréquences de débordement seront introduites pour rendre compte des effets dus au changement climatique, en se basant sur le modèle précipitation-ruissellement SCHEME utilisé par l'IRM dans le projet CCI-HYDR.

La modélisation des inondations pour l'étude de cas de la Dendre utilise un modèle conceptuel 1D, qui représente la rivière comme une série de réservoirs et qui permet une description générale du processus de drainage sans inclure les détails des mécanismes hydrauliques.



ADAPT - Résultats

Vers un instrument intégré de décision pour les mesures d'adaptation -
Etude de cas : les crues

Quatre variantes du modèle ont été développées, qui prennent en compte différents ensembles de mesure de défense contre les inondations. Tous les modèles englobent la Dendre en Flandre, au sud de la ville de Denderleeuw et la Marke qui est le principal affluent de la Dendre en Flandre. Des cartes d'inondation qui fournissent la hauteur d'eau le long du cours principal de la Dendre ont été simulées pour les quatre variantes du modèle, avec des périodes de retour de 5, 10, 25, 100 et 250 ans. La hauteur d'eau a aussi été simulée en prenant en compte les effets possibles dus au changement climatique et ce sur base d'un outil développé dans le cadre du projet CCI-HYDR.

Un tel modèle conceptuel possède un temps de calcul faible par rapport à un modèle hydraulique détaillé, mais il doit être calibré soit sur base des résultats de modélisation hydraulique détaillée, ou sur base de données mesurées. Ce calibrage a été réalisé sur base du modèle InfoWorks RS de la Marke d'une part et d'autre part sur bas du modèle MIKE 11 de la Dendre.

Le modèle conceptuel de la Dendre a, d'une manière générale, produit de bon résultats pour les niveaux d'eau dans les zones inondées, tandis que des écarts ont été identifiés, suite à une sous-estimation du routage à certains endroits de la rivière.

Analyse d'impact

L'analyse d'impact estime les effets de l'inondation sur la société et l'environnement.

De façon à dépasser le fait de se concentrer uniquement sur les effets tangibles directs des inondations sur les systèmes économiques, comme c'est le cas dans la pratique conventionnelle de modélisation des risques d'inondation, trois modules d'évaluation complémentaire des risques liés aux inondations sont développés. Ces modules sont centrés sur les effets des inondations sur les systèmes économiques, sociaux et écologiques. A cette fin, deux procédures supplémentaires ont été développées, reprenant les données les plus pertinentes disponibles pour chaque région, mais reposant sur les mêmes concepts fondamentaux.

Bien que plusieurs études aient démontré que les **impacts sociaux** ne pouvaient être ignorés, ceux-ci sont cependant rarement considérés dans l'évaluation des mesures politiques.

En plus de la quantification des victimes, des personnes et des bâtiments publics affectés, une méthodologie est développée pour évaluer l'intensité de l'impact social de l'inondation. Trois aspects principaux doivent être pris en considération lorsque l'on évalue l'intensité de l'impact social des inondations, à savoir (i) les caractéristiques de l'inondation qui sont fournies par la modélisation hydraulique, (ii) l'exposition des personnes et des bâtiments de valeur et (iii) la vulnérabilité des personnes.

La **vulnérabilité** des personnes implique deux aspects: la possibilité de survie pour les personnes et les capacités d'adaptation. La possibilité de survie renvoie aux caractéristiques socio-économiques des personnes. La possibilité de survie sociale est évaluée ici au moyen d'un indice composite, qui dépend de plusieurs indicateurs (disponibles au niveau des districts statistiques) tels que le taux de personnes âgées, de personnes malades, de parents isolés, d'étrangers, de personnes précarisées financièrement et de personnes vivant dans des maisons à un étage..

Les indicateurs sont agrégés et pondérés. L'indice obtenu est utilisé pour identifier le degré de sensibilité sociale. Les capacités d'adaptation de la société sont aussi prises en compte puisque les impacts sociaux des inondations peuvent être tempérés par des mesures préparatoires, de protection ou de réparation.

Un indice composite est utilisé pour quantifier les capacités d'adaptation au niveau des municipalités, indice qui reflète la disponibilité de mesures telles que les protections privées, les prévisions et les plans d'alerte pour les inondations ou le support psycho-social. En donnant une note à ces indicateurs, un score de capacité d'adaptation est obtenu. A partir de la hauteur d'eau, de la vitesse d'écoulement, de la vitesse de montée des eaux et de la durée de l'inondation, un **indice d'inondation** est construit et combiné avec l'indice de vulnérabilité et le score obtenu pour la capacité d'adaptation, le tout résultant dans un **indice d'intensité de l'impact social de l'inondation** qui permet d'établir une distinction entre les personnes affectées par une intensité qui va depuis "basse" jusqu'à "haute".

En effet, en raison de leur intangibilité, les impacts sociaux des inondations sont difficiles à quantifier séparément et il est donc approprié d'utiliser un indice agrégé indiquant le niveau de sévérité des impacts sociaux de l'inondation et permet d'établir des comparaisons relatives entre les zones pour établir les priorités en ce qui concerne les besoins de réduction des risques.

Après l'analyse de l'exposition, une **fonction de dommage relative** est appliquée à chaque bien affecté afin d'en déduire les **dommages économiques** sous la forme de pourcentage de la valeur totale des biens affectés. Les fonctions de dommage relatives sont considérées comme l'approche standard pour évaluer les dommages dus aux inondations. Ces fonctions établissent un lien entre les dommages provoqués et les paramètres hydrauliques, i.e. principalement la hauteur d'eau et l'écoulement. D'autres paramètres, tels que la durée de l'inondation, peuvent également être inclus dans ces fonctions. Beaucoup de précaution sont requises lors de la sélection et de l'application d'une fonction de dommage, en raison de la dispersion des résultats obtenus suite au grand nombre de fonctions existantes. La méthodologie développée dans le projet se concentre sur les dommages économiques directs d'usage sur les bâtiments résidentiels, qui constituent la composante principale des dommages totaux dus aux inondations, du moins en ce qui concerne l'étude de cas de l'Ourthe.

Bien qu'une méthodologie standard soit appliquée ici pour l'évaluation des dommages économiques, l'innovation réside dans l'échelle à laquelle ces dommages sont évalués pour l'étude de cas de l'Ourthe et qui préserve la distribution détaillée des caractéristiques de l'inondation fournie par le modèle de flux en quasi-3D.

Les **effets écologiques** des inondations ont trait aux services rendus par les écosystèmes, les bénéfices que les personnes retirent des écosystèmes étant affectés par les inondations. La méthodologie pour évaluer les risques écologiques liés aux inondations est expérimentale. Pour chaque fonction de l'écosystème à risque, un tableau de synthèse des connaissances a été construit. Comme en ce qui concerne la méthodologie pour estimer la vulnérabilité sociale, ces tableaux de synthèse des connaissances sont utilisés en tant que fonctions de dommage complexes et multidimensionnelles. Le problème principal pour inclure les impacts écologiques des inondations dans un cadre de décision basé sur une analyse coûts-bénéfices est que l'impact sur les écosystèmes ne peut souvent pas être quantifié avec beaucoup de précision, et encore moins monétarisé étant donné que les services correspondants ne sont pas valorisés sur des marchés. L'alternative est donc que la valeur probable de la fourniture de service par l'écosystème est évaluée sur une échelle quantitative.



ADAPT - Résultats

Vers un instrument intégré de décision pour les mesures d'adaptation -
Etude de cas : les crues

b) Evaluation du coût de l'adaptation

Le coût des mesures d'adaptation est évalué en accord avec les recommandations fournies dans le document de la Commission Européenne "Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive" qui traite de la mise en œuvre des éléments économiques de la Directive. En outre, ont également été prises en compte, les lignes directrices fournies par des agences internationales et des études spécifiques sur des mesures de protection contre les inondations.

A partir de ces sources, un tableau a été constitué qui reprend le détail des composantes de coût (capital, opération et maintenance) à prendre en compte, ainsi que les données correspondantes pour les mesures d'adaptation.

Ensuite, les composantes de coût sont estimées sur base d'une revue de la littérature et d'une enquête menée par mail / téléphone auprès des entrepreneurs. Les résultats escomptés pour cette phase devraient permettre d'établir une fourchette de prix pour autant de composantes de coût que possible.

c) ACB étendue

Le modèle de décision basé sur une ACB étendue est constitué de trois modules: une analyse coûts-bénéfices étendue, une analyse de sensibilité et une analyse de risque. Le développement, la sélection et le calibrage des scénarios de maximisation requièrent un cadre de décision basé sur une ACB en tant que pré-requis afin de dépasser le simple classement de deux scénarios ou plus, approche qui ne peut être facilitée par une analyse multicritères (AMC).

L'ACB requiert que les effets soient exprimés en termes monétaires. Les effets qui ne peuvent être monétarisés doivent compléter l'évaluation monétaire. En conséquence de quoi, pour relever le défi de l'intégration et de l'évaluation de différents types d'effets, certains étant exprimés en termes monétaires, d'autres quantitativement et d'autres encore qualitativement, le modèle d'aide à la décision développé a pris la forme d'une ACB étendue.

Ce cadre de décision donne priorité aux effets monétarisés mais offre un cadre basé sur une AMC pour présenter et prendre en compte les informations non monétaire de façon équilibrée, de façon à s'assurer que les décisions sont prises à partir de toutes les informations disponibles. Le modèle offre également la possibilité de soumettre les résultats obtenus à une analyse de sensibilité approfondie et une analyse de risques basée sur la méthode Monte Carlo.

CONCLUSIONS ET CONTRIBUTION À LA POLITIQUE SCIENTIFIQUE

La méthodologie originale développée pour l'évaluation des risques d'inondation, ainsi que son application à deux études de cas différentes et complémentaires a permis de tirer des conclusions d'importance pratique pour les gestionnaires des inondations et les autorités en charge des questions relatives à l'eau. Certaines des analyses approfondies des mesures de protection contre les inondations ont notamment souligné le besoin d'évaluer et de sélectionner des mesures de protection contre les inondations sur la base d'une grande variété de valeurs de débit et non juste sur la base d'un seul design de crue. Les résultats de l'analyse d'exposition ont aussi révélé qu'ils fournissent déjà un appui important pour orienter une série de décisions pratiques, tout en présentant l'avantage de ne pas être affectés par les incertitudes additionnelles qui sous-tendent les analyses de l'impact socio-économique.

Les contributions complémentaires du projet en matière de politique visant à promouvoir le développement durable sont mises en avant dans le rapport du projet ADAPT, accompagnées d'une série de recommandations pratiques pour les décideurs politiques.

CONTACT INFORMATION

Website du projet :

Website du project:

<http://dev.ulb.ac.be/ceese/ADAPT/home.php>

Coordinateur

Walter Hecq

Université Libre de Bruxelles (ULB)
Centre d'Etudes Economiques et Sociales
de l'Environnement (CEESE)

Avenue Jeanne 44, CP 124

B-1050 Brussels

Tel: +32 (0)2 650.33.77

Fax: +32 (0)2 650.46.91

whcq@ulb.ac.be

<http://www.ulb.ac.be/ceese/>

Promoteurs

Kris Bachus

Katholieke Universiteit Leuven
(KULeuven)

Hoger Instituut voor de Arbeid

(HIVA)Parkstraat 47, B-3000 Leuven

Tel: +32 (0)16 32.31.25Fax: +32 (0)16

32.33.44

kris.bachus@hiva.kuleuven.be

<http://www.hiva.be/indexflash.php>

Michel Piroton

Université de Liège (ULg)

Department of Hydraulic / Applied Hydro-

dynamics and Hydraulic Constructions

(HACH)Chemin des Chevreuils 1 Bat 52/3

+1B-4000 Liege

Tel: +32 (0)4 366.95.36Fax: +32 (0)4

366.95.58

Michel.Piroton@ulg.ac.be

<http://www.hach.ulg.ac.be>

Patrick Meire

Universiteit Antwerpen (UA)

Department of Biology / Ecosystem

Management Research Group (ECOBE)

Universiteitsplein 1C, B-2610 Wilrijk

Tel: +32 (0)3 820.22.74Fax: +32 (0)3

820.22.71

patrick.meire@ua.ac.be

<http://www.ua.ac.be/ecobe>

Renaat De Sutter

ECOLAS

Kortrijksesteenweg 302, B-9000 Gent

Tel. +32 (0)9 241.77.00

Fax +32 (0)9 241.77.01

renaat.desutter@ecolas.be

<http://www.ecolas.com>

