Vers une gestion durable des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse

Principaux Messages du Progamme IRMA-SPONGE

Aljosja Hooier, Frans Klijn, Jaap Kwadijk et Bas Pedroli
Editeurs

Contribution:
Ad van Os
les membres d'ISAC
les Participants des Projets IRMA-SPONGE

PRINCIPAUX MESSAGES DU PROGRAMME IRMA-SPONGE 1

1 INTRODUCTION : LE PROGRAMME IRMA-SPONGE 3

ORGANISATION DU PROGRAMME IRMA-SPONGE - LES BASES 3
OBJECTIF ET PORTÉE DU PROGRAMME IRMA-SPONGE - EXPLICATION DES CONCEPTS CLÉS 3
LE PRÉSENT RAPPORT 5

2 AMÉLIORER LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION FLUVIALE 9

TENDANCES DES RISQUES D'INONDATION 9
L'APPROCHE ACTUELLE DE LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION ET SES LACUNES 11

3 EFFICACITÉ DES MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES D'INONDATION 15

PRÉVENTION DES INONDATIONS : MESURES POUR LE BASSIN VERSANT 15
ATTÉNUATION DES CRUES : RÉTENTION ET CONTRÔLE DES CRUES EN AMONT DES COURS D'EAU 17
(P)RÉSERVATION D'ESPACE POUR LES COURS D'EAU 19
PRÉVENTION DES DOMMAGES 19

4 STRATÉGIES INTÉGRÉES DE GESTION DES RISQUES D'INONDATION 23

GESTION DES INCONNUES PAR LES STRATÉGIES DE RÉSILIENCE 23
COMBINAISON DE LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION ET DE LA GESTION DU PATRIMOINE NATUREL 25
ÉVALUATION DE STRATÉGIES INTÉGRÉES DE GESTION DES RISQUES D'INONDATION 29

5 MISE EN ŒUVRE DES MESURES 33

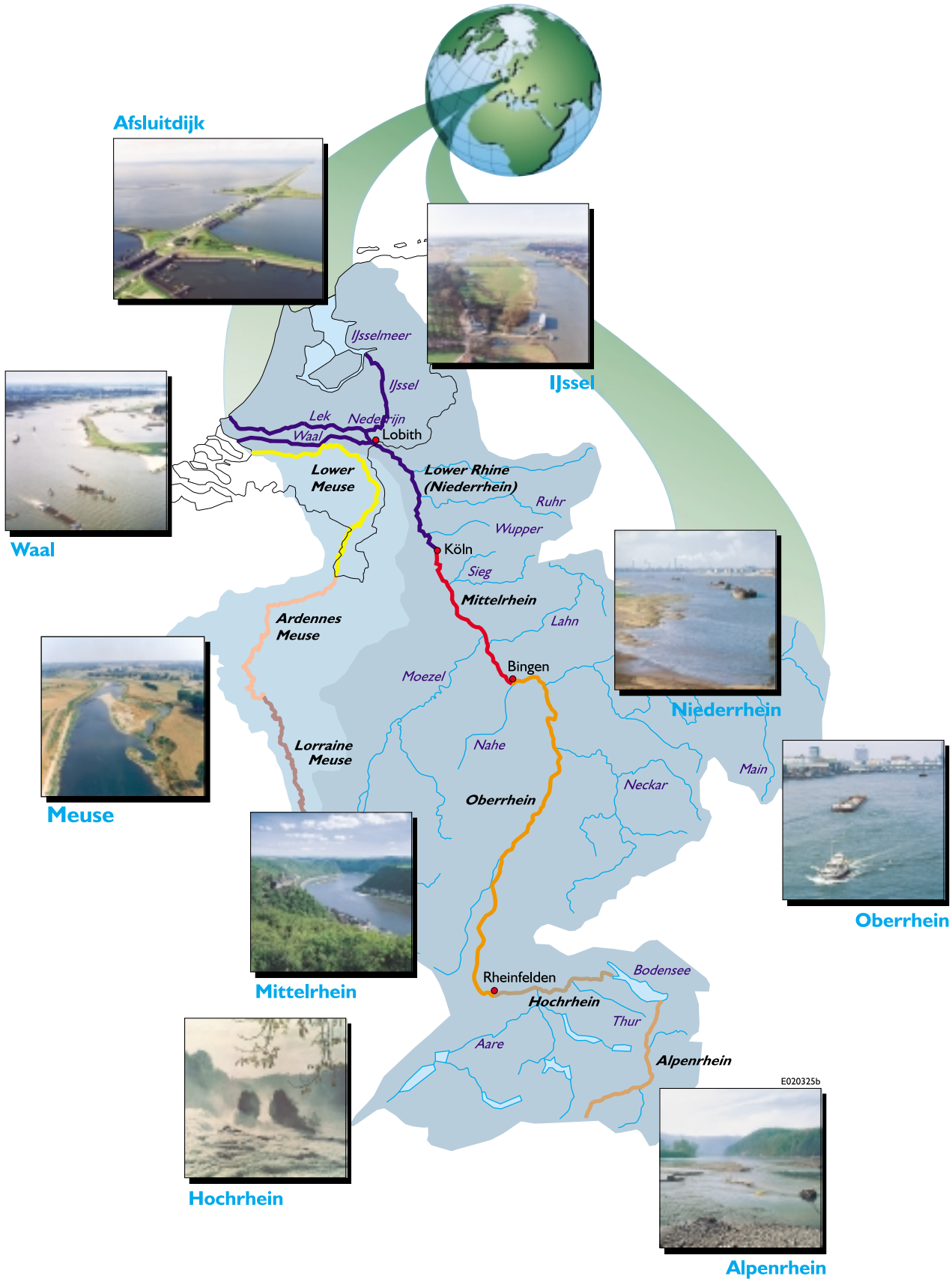
TROUVER L'APPUI POUR UNE MESURE 33
L'IMPORTANCE DE LA COMPENSATION FINANCIÈRE 33
PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'INONDATION DANS L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE : LE ZONAGE COMME MESURE RÉGULATRICE 35
COLLABORATION RÉGIONALE ET INSTITUTIONNELLE EN MATIÈRE DE GESTION DES RISQUES D'INONDATION 37

6 REMARQUES FINALES 39

INÉGALITÉS ET LACUNES AU NIVEAU DES CONNAISSANCES ET DES DONNÉES 39
ENSEIGNEMENTS TIRÉS 39

ANNEXES 42

RÉSUMÉS DE PROJETS METTANT L'ACCENT SUR LES ASPECTS 'RISQUES D'INONDATION ET HYDROLOGIE' 42
RÉSUMÉS DE PROJETS METTANT L'ACCENT SUR LES ASPECTS 'PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET ÉCOLOGIE' 43
RÉSUMÉS DE PROJETS METTANT L'ACCENT SUR LES ASPECTS 'GESTION DES RISQUES D'INONDATION ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE' 44
GLOSSAIRE DE TERMES TECHNIQUES UTILISÉS DANS LE RAPPORT IRMA-SPONGE 45



Les bassins versants du Rhin et de la Meuse.

Principaux messages du Programme IRMA-SPONGE

Vers une gestion durable des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse

(Conclusions et recommandations basées sur les résultats de 13 projets de recherche menés dans 6 pays)

A. Risques accrus d'inondations dans le futur

Conclusion : le risque d'inondation (défini comme résultant de la *probabilité d'inondation* et des *dommages potentiels* provoqués par les crues) le long des fleuves Rhin et Meuse devrait s'accroître de deux façons :

A. Les changements climatiques seront à l'origine d'une augmentation importante de la *probabilité* de crues extrêmes (comme le prévoient la majorité des scénarios de changements climatiques).

B. Les *dommages potentiels* provoqués par les inondations (le niveau des investissements dans les zones à risques) doublent tous les trente ans.

Par ailleurs, on assiste à une raréfaction rapide - due à l'urbanisation des rives des cours d'eau - de l'espace nécessaire et disponible pour mieux gérer les risques d'inondation à l'avenir ; cette raréfaction de l'espace nécessaire à la mise en œuvre de mesures de protection entraîne une augmentation du coût des solutions futures.

Recommandation : les stratégies et mesures liées à la gestion des risques d'inondation devraient être développées en anticipation des futurs pics d'écoulement d'eaux fluviales. Eu égard aux incertitudes demeurant, il convient de ménager de l'espace pour la prise ultérieure de mesures.

B. Les mesures de prévention contre les inondations prises en aval ne peuvent réduire que localement l'ampleur des inondations

Conclusion : la rétention d'eau par modification de l'occupation du sol peut s'avérer utile pour amorcer une baisse de la fréquence des grandes crues dans les petits bassins versants, voire une réduction du niveau des crues 'moyennes' dans les grands bassins versants. À l'échelle des bassins du Rhin et de la Meuse, ces mesures n'ont pas d'incidence significative sur les crues extrêmes se produisant en aval en raison des périodes de précipitation prolongées sur de vastes étendues. Les zones de rétention d'eau le long des lits de cours d'eau beaucoup plus en amont n'ont qu'une efficacité marginale à cet égard malgré l'impact non négligeable que peut avoir l'aménagement de zones de stockage des crues (pour la 'rétention maîtrisée').

Recommandation : les décideurs des régions se trouvant sur le cours inférieur du Rhin et de la Meuse ne devraient pas trop attendre des solutions adoptées par leurs homologues en amont mais se concentrer sur les mesures à prendre localement ou à proximité.

C. La stratégie la plus efficace de gestion des risques d'inondation est la prévention des dommages par le biais de l'aménagement territorial

Conclusion : les vallées fluviales et les zones alluviales seront toujours exposées à des risques d'inondation. Tant que les services publics chargés de gérer les risques d'inondation privilégieront la maîtrise du débit fluvial plutôt que la prévention des dommages, la prise en considération des risques d'inondation dans les politiques d'aménagement du territoire sera insuffisante, avec pour conséquence une augmentation du risque effectif et une banalisation du risque dans l'opinion publique. Sur le long terme, cette approche ne peut être qualifiée de durable. À ceci s'ajoute un autre fait important : dans les régions riveraines du cours inférieur du Rhin et de la Meuse, des vies peuvent être aujourd'hui sauvées grâce à l'amélioration des plans d'urgence et d'évacuation précoce. C'est pourquoi la gestion des risques d'inondation dans ces bassins est plus une affaire d'optimisation des coûts et avantages des mesures adoptées plutôt que de 'lutte contre les inondations'.

Recommandation : au regard des conclusions **A)** (augmentation du risque d'inondation) et **B)** (les mesures prises bien plus en amont ne peuvent prévenir les grandes crues en aval), il serait judicieux de modifier la stratégie de gestion des risques d'inondation dans les régions du cours inférieur des fleuves Rhin et Meuse. En prévision de l'évolution à venir et des incertitudes y étant nécessairement liées, la question des risques d'inondation devrait occuper une place plus importante dans la politique d'aménagement du territoire de toutes les zones concernées par les risques d'inondation (y compris les régions protégées par des digues), et l'opinion publique devrait être plus sensibilisée à ces questions. Il serait possible de s'appuyer sur un zonage des risques basé sur une cartographie des risques d'inondation. Condition préalable : (p)réserver des zones inondables (déplacement d'ouvrages tels que les digues, aménagement de 'rivières vertes', prévoir des zones de stockage des eaux de crues).

D. Les stratégies de gestion des risques d'inondation devraient s'inscrire dans un développement intégré des couloirs fluviaux

Conclusion : les mesures de gestion des risques d'inondation peuvent contribuer à la combinaison du développement économique et d'autres objectifs politiques comme la création d'une 'infrastructure écologique' et l'amélioration de la qualité de l'environnement paysager. Pour ce faire, il convient d'élaborer des stratégies complètes pour le développement souhaité pour l'ensemble des couloirs fluviaux concernés. Les solutions locales devraient respecter les exigences définies dans le cadre de telles stratégies tout en tenant compte des impératifs locaux. Bien sûr, de telles stratégies doivent bénéficier de l'appui total de leurs défenseurs. L'opposition de la population locale face aux mesures à prendre peut être réduite moyennant des campagnes d'information pertinentes, la prise de mesures compensatoires équitables et l'application judicieuse des réglementations.

Recommandation : il n'est pas judicieux de développer des stratégies isolées pour la gestion des risques d'inondation. Étant donné la rareté de l'espace disponible dans les bassins du Rhin et de la Meuse, l'objectif consiste à optimiser plus d'une fonction dans les zones exposées aux risques d'inondation. Du point de vue écologique, il importe également de créer et de maintenir une polyvalence dans l'occupation du sol longeant le cours des fleuves. Ceci exige une vision à long terme pour l'ensemble du bassin. Certains choix difficiles s'avèrent inévitables car il n'est pas toujours possible de parvenir à une solution 'tout bénéfice' satisfaisant à 100 % chacune des parties concernées.

Participants au Programme IRMA-SPONGE

Membres NCR		
Abréviation	*Organisation*	*Pays*
ALTERRA	Alterra	Pays-Bas
IHE	International Institute for Infrastructure and Environmental Engineering	Pays-Bas
KUN	Katholieke Universiteit Nijmegen (Université de Nimègue)	Pays-Bas
RWS-DON	Rijkswaterstaat - Directie Oost Nederland (Ministère néerlandais des Transports et des Travaux publics et de la Gestion des eaux - Direction régionale Est des Pays-Bas)	Pays-Bas
RWS-RIZA	Rijkswaterstaat - Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (Ministère néerlandais des Transports et des Travaux publics et de la Gestion des eaux - Institut pour la gestion intégrée des eaux douces et le traitement des eaux usées)	Pays-Bas
TUD	Technische Universiteit Delft (IUT de Delft)	Pays-Bas
UU	Universiteit Utrecht (Université d'Utrecht)	Pays-Bas
WL	WL | Delft Hydraulics	Pays-Bas
Autres participants		
	Organisation	*Pays*
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde (Office hydrologique fédéral)	Allemagne
CC	Carthago Consultancy	Pays-Bas
CEREG	Centre d'Études et de Recherches Écogéographiques (Université de Strasbourg)	France
CHR	Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin	France, Allemagne, Pays-Bas, Suisse
CRP	Centre de Recherche Public - Gabriël Lippmann	Luxembourg
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Centre allemand aérospatial)	Allemagne
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne	Suisse
ICIS	International Centre for Integrative Studies (Université de Maastricht)	Pays-Bas
IfW	Institut für Wasserbau (Institut d'ingénierie hydraulique)	Allemagne
IvN	Instituut voor Natuurbehoud (Institut de conservation du patrimoine naturel)	Belgique
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Institut royal de météorologie des Pays-Bas)	Pays-Bas
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (Institut de Potsdam pour la recherche sur l'impact climatologique)	Allemagne
RA	Resource Analysis	Pays-Bas
TUD/WAR	Technische Universität Darmstadt / Wasserversorgung-, Abwassertechnik-, Abfalltechnik-, Umwelt- und Raumplanung (IUT de Darmstadt)	Allemagne
UB	Universität Bonn (Université de Bonn)	Allemagne
UBerne	Universität Bern (Université de Berne)	Suisse
UM	Université de Metz, Laboratoire de Phyto-écologie	France
VUB (ULB)	Vrije Universiteit Brussel / Université libre de Bruxelles	Belgique
Autres contributions		
	Organisation	*Pays*
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie (Institut fédéral hydrologique et géologique)	Allemagne
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule (Université de Zurich)	Suisse
OVB	Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij (Organisation pour l'amélioration des pêches en eau douce)	Pays-Bas
RIVO	Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek (Institut de recherche sur la pêche)	Pays-Bas
Stroming	Bureau Stroming B.V.	Pays-Bas
UHo	Universität Hohenheim (Université de Hohenheim)	Allemagne
UKa	Universität Karlsruhe (Université de Karlsruhe)	Allemagne
URou	Université de Rouen	France
USt	Universität Stuttgart (Université de Stuttgart)	Allemagne
UTr	Universität Trier (Université de Trèves)	Allemagne
WUR	Wageningen University and Research centre (Université de Wageningen et Centre de recherche)	Pays-Bas
WWF	World Wildlife Fund - Observatoire des marécages	Allemagne

1 Introduction : le Programme IRMA-SPONGE

Organisation du Programme IRMA-SPONGE - les bases

Le Programme IRMA-SPONGE a pour but de contribuer au Thème 3 (Amélioration des connaissances et de la collaboration) du Plan commun d'action IRMA (Interreg Rhine Meuse Action). IRMA est un programme interrégional de type Interreg II-C initié par la Commission européenne et visant à réduire les risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse. Cinq États-membres de l'UE (Allemagne, Belgique (Flandre et Wallonie), Luxembourg, France et Pays-Bas) ont, en collaboration avec la Suisse, choisi de développer et de promouvoir conjointement de meilleures méthodes pour gérer durablement les risques d'inondation.

IRMA-SPONGE est un ensemble constitué par 13 projets innovants, cohérents et complémentaires dans lesquels collaborent plus de 30 instituts de tous les pays des bassins du Rhin et de la Meuse. La gestion du Programme IRMA-SPONGE a été confiée à NCR (the Netherlands Centre for River studies) dans le cadre duquel collaborent neuf universités et instituts de recherche (organismes gouvernementaux et privés). Dans sa tâche, NCR a bénéficié de l'appui d'un comité scientifique consultatif international (ISAC - International Scientific Advisory Committee).

Objectif et portée du Programme IRMA-SPONGE - explication des concepts clés

Comme le laisse sous-entendre le titre du présent rapport, le Programme IRMA-SPONGE visait à contribuer au développement de stratégies pour la gestion durable des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse. Étant donné que les grands concepts auxquels il fait appel évoquent des significations différentes en fonction des personnes, il convient d'abord de les expliquer.

Que sont les inondations (ou crues) et comment sont-elles générées ?
Le présent rapport a trait aux phénomènes de montée des eaux susceptibles de provoquer des dommages en inondant des terres normalement 'asséchées'. L'accent est mis sur les inondations et crues de grande ampleur le long du cours moyen et inférieur des fleuves Rhin et Meuse. Il convient de mentionner que les résultats peuvent ne pas toujours s'appliquer aux niveaux de crues plus courants ni aux inondations plus en amont des bassins versants concernés.

La survenue d'un pic de crue (excepté dans le cas d'une rupture de digue) dépend essentiellement du mode de transformation des précipitations lors de leur écoulement dans les cours d'eau. Cinq facteurs sont déterminants pour savoir si des précipitations provoqueront ou non un pic de crue : 1) caractère d'averse orageuse, 2) conditions préalables à la chute de pluie (sols secs ou (déjà) détrempés) 3) mécanisme d'écoulement des eaux de pluie dans les cours d'eau, 4) taille et configuration du lit fluvial déterminant la propagation de la vague de la crue, 5) (pour les bassins importants) succession dans le temps de divers événements climatiques. Dans les petits bassins, il suffit d'un seul orage pour qu'une crue soit amorcée et que la pluie recouvre une région étendue. Dans les bassins plus vastes comme ceux du Rhin ou de la Meuse, les crues typiques résultent en revanche de précipitations pluvieuses prolongées (sur plusieurs jours voire plusieurs semaines) sur des vastes étendues géographiques. D'autres facteurs déterminent si la fonte des neiges contribue aux inondations : l'endroit et la quantité des accumulations de neige, et la période et le taux d'accroissement des températures.

Comment déterminer le risque d'inondation ?
La gestion des risques d'inondation a pour objet des événements rares caractérisés par une faible *probabilité*. L'effet de ces événements est mesuré à l'ampleur des *dommages* qu'ils provoquent. Ainsi pourrait-on définir le 'risque d'inondation' comme suit :

Groupement des projets du Programme IRMA-SPONGE selon leur thème principal*
[les numéros de projet et les organisations en charge du projet sont indiqués entre crochets]**

Recherche fondamentale en génération de crues et quantification des risques

- FRHYMAP : influence du climat passé et futur et des changements d'occupation du sol sur les inondations, déterminée à la faveur d'analyses hydro-climatologiques et d'une évaluation du risque socio-économique dans le bassin transfrontalier de l'Alzette. [*projet 3, direction : CRP*]

Recherche sur l'efficacité (et les effets connexes) de mesures spécifiques

- Le rajeunissement cyclique des plaines inondables : évaluation d'une méthode d'accroissement de la capacité d'écoulement comprenant un abaissement cyclique des plaines inondables, (re)construction des lits secondaires et restauration de la succession végétale [*projet 7, direction : RWS-DON*]
- La valeur des prés inondables : évaluation de la contribution des prés inondables dans la réduction du risque d'inondation et la rétention de nutriments [*projet 8, direction : IHE*]

Évaluation de méthodes d'amélioration du rôle de la planification d'intégration dans la gestion des risques d'inondation

- INTERMEUSE : évaluation de l'optimisation de la protection contre les inondations le long de la Meuse en combinaison avec la réhabilitation durable de l'écosystème des plaines inondables. [*projet 9, direction : RIZA*]
- Vivre avec les crues : conception et évaluation des stratégies de résilience pour la gestion des risques de crues et l'occupation multiple du sol dans le bassin du Rhin inférieur. [*projet 10, direction : RIZA*]
- Stratégies de gestion intégrée du Rhin et de la Meuse : série de stratégies FRM développées et évaluées à la lueur de scénarios probables [*projet 2, direction : UU*]
- Évaluation (de l'utilisation) d'instruments d'aménagement du territoire pour la gestion des risques d'inondation, par les pouvoirs publics européens, nationaux, régionaux et locaux [*projet 5, direction : TUD/WAR*]

Développement de l'appui à la prise de décisions (et à la recherche) : outils et méthodes

- DEFLOOD : méthode d'évaluation de l'effet hydrologique combiné des mesures de réduction des risques d'inondation locale sur la génération de crues dans des bassins versants complexes et étendus. [*projet 1, direction : CHR*]
- BIO-SAFE : méthode d'évaluation de l'impact des mesures sur les cibles de la politique de préservation de la nature, sur la base du statut des espèces caractéristiques des cours d'eau [*projet 11, direction : KUN*]
- DSS Large Rivers : système d'appui à la prise de décisions pour la planification des mesures de gestion des risques d'inondation – avec accent mis sur les zones de rétention et de stockage des eaux de crue sur le cours inférieur du Rhin. [*projet 4, direction : RIZA*]

Développement d'instruments de communication

- STORM-Rhine : outil de simulation interactif visant à améliorer la compréhension de la gestion des cours d'eau et des plaines inondables chez les décideurs politiques et parties intéressées [*projet 13, direction : IHE*]
- Directives pour les mesures de réhabilitation et la gestion des plaines inondables – en optimisant l'écologie et la sécurité [*projet 6, direction : RIZA*]
- FloRIJN : développement d'un système d'avertissement précoce des crues du Rhin, avec prévision à 4 jours à la frontière germano-néerlandaise. [*projet 12, direction : RIZA*]

* Pour plus d'informations sur la portée des projets : voir l'Annexe avec résumés de projets, et les ésumés d'exécution de projet pour la description détaillée des projets.

** Plus de 2 organisations collaborant dans tous les projets.

Le risque d'inondation est l'équation résultant de la probabilité (de survenue d'inondations ou de crues) et des dommages (provoqués par celles-ci).

Il ne faut pas oublier non plus que la gestion du risque d'inondation comprend non seulement la minimisation du risque effectif mais a également trait à la 'perception du risque' - deux éléments n'étant pas toujours comparables ou proportionnels.

Comment gérer les risques d'inondation ?
L'objectif de la gestion des risques d'inondation pourrait être résumé comme suit *: minimiser le risque d'inondation en mettant en œuvre des mesures capables de réduire le risque de la façon la plus efficace possible*. Il résulte de cette définition que la gestion des risques d'inondation peut viser soit à réduire la probabilité d'inondation, soit à minimiser les dommages potentiels. Souvent, elle consiste en une combinaison de ces deux objectifs.

Que faut-il entendre par gestion durable des risques d'inondation ?
Il ne peut être véritablement question de stratégie durable de gestion des risques d'inondation que si A) elle garantit une sécurité suffisante pour le présent comme pour l'avenir, et si B) elle permet d'atteindre un équilibre acceptable entre les restrictions imposées par les mesures de réduction du risque d'inondation d'une part, et les conditions nécessaires au développement économique, social et environnemental des zones exposées aux risques d'inondation d'autre part. La stratégie 'idéale' de gestion durable des risques d'inondation n'est pas forcément identique pour chaque région : en effet, il existe non seulement des différences du point de vue physique, mais les régions sont également très diverses du point de vue culturel, économique et écologique. L'objectif du présent rapport n'est donc pas de présenter une nouvelle stratégie de gestion des risques d'inondation mais de montrer quelle peut être la voie pour en développer une.

Le présent rapport

Le Programme IRMA-SPONGE consistait en 13 projets de recherche liés. Les différents projets traitaient toute une gamme de sujets liés à la gestion des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse. Plus de 50 scientifiques issus de diverses disciplines et de divers pays ont échangé des idées et se sont entretenus mutuellement et avec les décideurs sur les résultats des recherches. Sur la base des recherches faisant l'objet des divers projets, le programme a permis de formuler un point de vue commun sur la gestion des risques d'inondation dans les bassins du Rhin et de la Meuse et une vision cohérente sur la façon d'y apporter des améliorations. Ce bref résumé en fait la présentation.

La structure de rapport suivante a été retenue :

- Au *Chapitre 2* sont présentés les résultats les plus importants concernant l'urgence du **problème des risques d'inondation** et la pratique actuelle en matière de gestion des risques d'inondation dans les bassins du Rhin et de la Meuse.
- Les conclusions et recommandations concernant l'**efficacité des mesures alternatives** de réduction des risques d'inondation étudiée dans le Programme IRMA-SPONGE, sont énoncées au *Chapitre 3*.
- Le *Chapitre 4* traite du développement de stratégies de gestion des risques d'inondation.
- Les conclusions et recommandations concernant la **mise en œuvre** de mesures et stratégies possibles sont présentées au *Chapitre 5*.
- Enfin, certains **enseignements** concernant l'opportunité de mener à terme un programme de grande envergure, interdisciplinaire et international tel que le Programme IRMA-SPONGE, ainsi que les lacunes encore existantes, font l'objet du *Chapitre 6*.

La rédaction du présent rapport exprime bien le fait que IRMA-SPONGE résulte de plusieurs projets indépendants et qu'il constitue une plate-forme de communication et d'échange d'informations. Lorsque les conclusions et recommandations sont basées directement sur les résultats de projets individuels, l'indication en est donnée dans le numéro du projet. Toutefois, une grande partie du présent rapport traite de conclusions et recommandations basées sur les

La bifurcation du Rhin près Pannerdense Kop.

résultats ou expériences de la plupart des participants, et étant donc communément partagées et discutées dans le programme - pour ces conclusions et recommandations-là, aucun numéro n'est indiqué.

Tout ce que comprend le présent rapport, tel que les Annexes, sont de courts résumés des projets de recherche, et un glossaire comportant l'explication et la traduction (en anglais, néerlandais, français et allemand) de termes techniques. Des informations plus détaillées figurent dans d'autres publications, à savoir :

- Le résumé de l'exécution de projets individuels publiés simultanément au présent résumé du programme complet.
- Le résumé des résultats du projet 'Room for the Rhine' (De l'espace pour le Rhin), une autre source d'informations sur la gestion des risques d'inondation aux Pays-Bas que nous ne saurions trop recommander. Il est lié à un bon nombre des projets néerlandais entrant dans le cadre du Programme IRMA-SPONGE. Ce résumé est disponible auprès du NCR en langues anglaise, allemande et néerlandaise.

Inondations sur le cours inférieur du Rhin et de la Meuse (source : Ministère Néerlandais des transports, des travaux publics et de la gestion des eaux, projets IRMA-SPONGE)

2 Améliorer la gestion des risques d'inondation fluviale

Un certain nombre de développements ont récemment relancé le débat sur la question de savoir si les pratiques actuelles en matière de gestion des risques d'inondation dans les bassins du Rhin et de la Meuse sont durables au regard :

- des conséquences hydrologiques prévues face aux changements climatiques et à l'évolution de l'occupation des sols,
- de l'évolution économique et écologique dans les couloirs fluviaux, et
- des changements d'opinion sur des sujets tels que la sécurité et l'écologie.

Cette question constitue la base du Programme IRMA-SPONGE. Les projets entrant dans le cadre d'IRMA-SPONGE et qui considéraient des stratégies possibles de gestion des risques d'inondation se sont également intéressés, bien sûr, à la situation actuelle. À l'issue de cette comparaison, on conclut qu'une utilisation raisonnée et raisonnable de nos systèmes fluviaux exige une amélioration des pratiques en matière de gestion des risques d'inondation.

Tendances des risques d'inondation

Tendance concernant la fréquence des inondations

La fréquence à laquelle se produisent les inondations (en terme d'intervalles de récurrence) est généralement déterminée à partir d'une extrapolation statistique des séquences observées pour l'écoulement ou le niveau des eaux. Cette extrapolation n'est possible que si les facteurs provoquant les inondations sont restés stables pendant la période d'observation - en termes statistiques, ce concept est appelé 'stationnarité', et il n'est appliqué à l'analyse de la fréquence des crues que si des changements sont intervenus au niveau de l'occupation du sol, du climat ou de la morphologie de la rivière. Aussi est-il important de reconnaître l'existence d'une incertitude fondamentale dans toute prédiction de changement de la fréquence des inondations dû à une modification de l'occupation du sol ou aux changements climatiques. Néanmoins, on s'est aperçu que l'impact des changements climatiques sur la fréquence des crues semblait être important [2, 3]. Bien qu'il ait été démontré que les modifications d'occupation du sol pouvaient avoir un impact sur les crues dans les petits bassins, on a conclu que, pour les grands bassins versants, les futurs changements climatiques (conformément à la plupart des scénarios climatiques) auront un impact bien plus important que les mesures de réduction des risques d'inondation visant à palier au changement d'occupation du sol. Les modes de mise en évidence utilisés à cet égard ont été les suivants :

- *Évaluation de l'impact des changements climatiques passés et futurs sur les schémas de circulation atmosphérique et la répartition des précipitations*.

- *Analyse et élaboration de modèles sur l'effet des scénarios climatiques existants sur la future hydrologie du Rhin, avec accent particulier mis sur les crues.* La majorité des scénarios de changements climatiques pour les bassins du Rhin et de la Meuse indiquent que A) la température de l'atmosphère va augmenter, B) les précipitations hivernales seront plus importantes (alors que la pluie se fera plus rare en été) ce qui se traduira par des pics de crues plus importants partout, C) que les précipitations neigeuses tendront à prendre un caractère pluvieux dans les Alpes ce qui renforcera les crues dans le cours inférieur du bassin versant rhénan, étant donné que les pics de débit des cours d'eau descendant du massif alpin concorderont avec les pics des cours d'eau en Allemagne centrale .

- *Analyse et élaboration de modèles de l'effet des changements récents et projetés au niveau de l'occupation du sol et des changements climatiques sur les crues dans les petits bassins versants.* Il a été démontré, concernant le bassin de l'Alzette, que les modifications historiques des schémas de précipitations ont induit d'importantes modifications des pics de crues. Ceci va dans le sens des modèles hydrologiques valables pour d'autres bassins comme celui de la rivière Leine. Les effets des changements d'occupation du sol ont été jugés importants au niveau local du bassin.

- *Bibliographie sur les changements de l'écoulement des eaux au cours du siècle passé.*

Bases du Programme IRMA-SPONGE

Historique et portée du Programme IRMA-SPONGE

Les récentes inondations et les développements socio-économiques ont agi en faveur d'une prise de conscience de la nécessité d'une meilleure gestion des risques d'inondation le long du Rhin et de la Meuse. Pour y répondre, le Programme IRMA-SPONGE a intégré 13 projets de recherche auxquels ont collaboré plus de 30 organisations des 6 pays impliqués. Le Programme est financé en partie par le programme européen IRMA (INTERREG Rhine-Meuse Activities). Le but du Programme IRMA-SPONGE est défini comme suit : "*Le développement de méthodes et d'outils pour évaluer l'impact des mesures de réduction des risques d'inondation et de scénarios de changement dans l'occupation du sol et des changements climatiques. Ceci a pour but de venir en appui du processus d'aménagement du territoire en établissant des stratégies alternatives pour que les bassins versants du Rhin et de la Meuse fonctionnent de façon optimale du point de vue hydraulique, économique et écologique."* D'autres objectifs importants sont la promotion de la collaboration transfrontalière dans la gestion des risques d'inondation par des organismes scientifiques et de gestion, et la promotion de la participation publique dans les questions relatives à la gestion des crues.

Pendant le déroulement du programme, les résultats du projet ont été évalués et présentés selon 3 ***Axes*** liés aux objectifs dans IRMA Thème 3, le premier étant le plus important :

- Efficacité et effets connexes des mesures de gestion des risques d'inondation - comment les déterminer et les compenser ?
- Science - quel est son rôle actuel et futur dans la gestion des risques d'inondation ?
- Collaboration transfrontalière dans la gestion des risques d'inondation - comment l'améliorer ?

Évolution des recommandations IRMA-SPONGE dans le présent résumé du Programme

Le Programme IRMA-SPONGE n'est pas un simple projet de recherche mais une structure pour la collaboration de 13 études dans le domaine de la gestion des risques d'inondation. De nombreux thèmes différents ont été étudiés sous des angles différents. Avoir autant de scientifiques collaborant sur un même thème permet d'identifier quelles recommandations seront les plus utiles et opportunes dans la pratique, tout en bénéficiant d'un large appui de la communauté scientifique. Toutefois, un processus de sélection précise et minutieuse, des discussions et des vérifications sont nécessaires pour y parvenir. Parmi plus de 200 conclusions et recommandations produites par les projets individuels, ceux présentés dans le présent aperçu ont été sélectionnés au cours des étapes suivantes :

1. Au départ, tous les projets avaient pour but de produire des résultats à partir desquels il serait possible de formuler des conclusions claires et des recommandations pratiques. L'idée de base du programme était que si les connaissances scientifiques existent en quantité importante, une trop grande partie de ces connaissances ne sont accessibles qu'à un groupe relativement restreint de spécialistes. L'accent du programme était donc mis sur l'intégration et l'application des résultats.
2. Les résultats des projets apparentés ont été débattus par *groupes scientifiques* faisant office de cadre directeur pour la formulation des principales conclusions et recommandations du présent rapport :

- *Risque d'inondation et hydrologie :* les projets de ce groupe mettaient l'accent sur le mode de génération des inondations (processus, modèles), la prévisibilité des inondations (par exemple cartographie des risques de crues, système d'avertissement précoce) et les modifications de probabilité des crues (en raison des changements climatiques et de l'occupation du sol).
- *Protection contre les inondations et écologie :* les projets de ce groupe traitaient des effets écologiques des changements apportés au système hydrographique afin de contrôler les crues.
- *Gestion du risque d'inondation et aménagement du territoire :* les projets de ce groupe avaient trait aux interactions entre la gestion des risques d'inondation et l'aménagement du territoire, et sur le rôle de la sensibilisation de l'opinion publique et des styles appliqués pour y pourvoir.

Les conclusions et recommandations des groupes scientifiques ont été débattues entre 120 participants (dont un bon nombre étaient des organisations chargées de la gestion de cours d'eau) lors de la Conférence finale IRMA-SPONGE qui s'est tenue à Bonn, et étudiées par le comité consultatif scientifique international (ISAC/International Scientific Advisory Committee) au sien duquel sont regroupés des experts des 6 pays riverains du Rhin et de la Meuse.

Tendance des dommages potentiels provoqués par les crues

En dépit des objectifs fixés dans le Plan d'action contre les inondations pour le Rhin (par la Commission rhénane internationale), il s'avère que les dommages économiques potentiels (total des investissements + production) des zones exposées à des risques d'inondation (y compris les zones protégées par des digues comme aux Pays-Bas) continueront de croître à un rythme proche de celui de la croissance économique moyenne, c'est-à-dire doublant plus ou moins tous les 30 ans. Ce problème semble même plus grave au vu de la conclusion selon laquelle minimiser les dommages potentiels des zones exposées aux risques d'inondation constitue souvent la mesure de gestion des risques d'inondation la moins onéreuse.

Tendance des futures options de prise de mesures opportunes en matière de gestion des risques d'inondation

Les risques d'inondation futurs augmentent également car les investissements actuels limitent les options s'offrant aux futurs responsables de l'aménagement du territoire - les terres nécessaires pour donner 'de l'espace aux cours d'eau' sont rendues irrémédiablement indisponibles par l'urbanisation. Même si aucun consensus n'existe encore sur la nécessité de prendre de telles mesures, il importe de garantir aux générations futures l'opportunité de réagir de façon appropriée face à l'accroissement de la fréquence et de l'ampleur des inondations.

L'approche actuelle de la gestion des risques d'inondation et ses lacunes

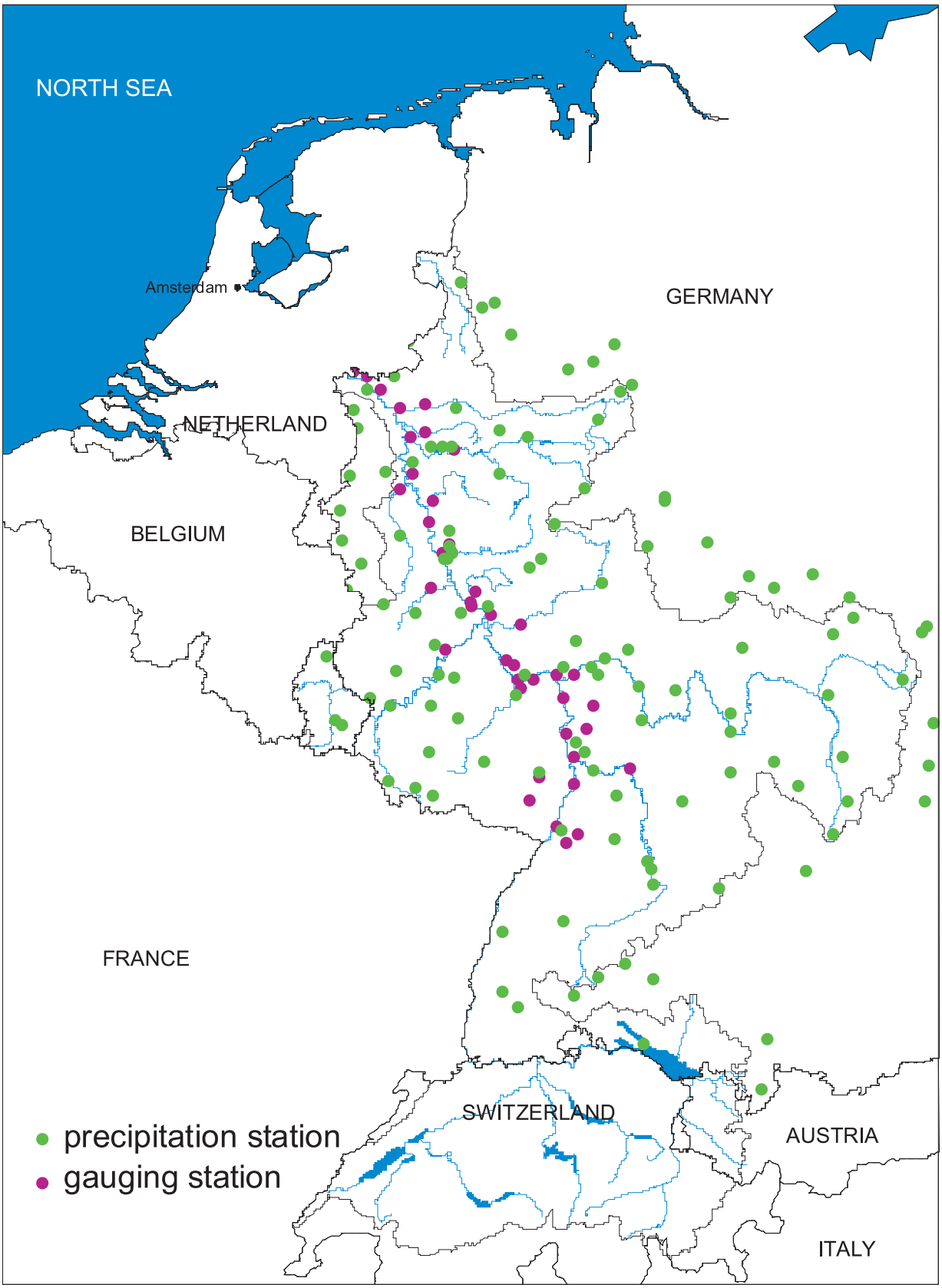
L'actuelle stratégie de gestion des risques d'inondation vise à fournir des niveaux de sécurité égaux pour toutes les zones protégées par digues, en maîtrisant totalement les inondations. Toutefois, l'effet indésirable est que tout écoulement d'eau supérieur au débit prévu est susceptible de provoquer une inondation partout : au lieu d'être totalement maîtrisé, le cours des événements devient alors *fondamentalement imprévisible*. Nombreux sont ceux à remettre en question cette gestion 'maîtrisée' des risques d'inondation : certains trouvent qu'elle ne peut être soutenue du point de vue écologique, d'autres lui reprochent d'être trop onéreuse. Si ces points de vue divergents avaient plus d'influence, la stratégie de gestion des risques d'inondation résulterait soit A) en l'acceptation de risques accrus (basée sur l'équilibre financier entre coût et profit) soit B) en plus de résilience et d'adaptabilité à l'avenir.

L'insuffisance d'aménagement du territoire et de réglementation des investissements conduit à un risque accru

Le sentiment de sécurité créé par la stratégie de contrôle total des crues se traduit par un manque de prise de conscience - parmi les responsables de l'aménagement du territoire et la population en général - quant aux implications du risque d'inondation pour les investissements. En conséquence, on continue d'investir (dans l'intensification de l'urbanisation et d'autres types d'occupation du sol) dans les zones exposées à des risques d'inondation - en particulier dans les zones protégées par des digues. Non seulement ceci contribue à accroître le risque d'inondation (dont on a vu qu'il résulte à la fois de la probabilité d'inondation mais aussi des dommages potentiels) et réduit rapidement et souvent irrémédiablement l'espace disponible pour la mise en œuvre de mesures 'résilientes' de gestion des risques d'inondation, comme la compartimentation pour la rétention ou les 'rivières vertes'. Ceci limite les possibilités de développement ultérieur d'une stratégie de gestion durable des risques d'inondation pour tout le cours inférieur du Rhin. La situation est similaire sur le cours inférieur de la Meuse.

Plus d'appui pour les stratégies alternatives de gestion des risques d'inondation

Les stratégies dites 'résilientes' bénéficient d'un appui de plus en plus important parmi les professeurs et les décideurs ; un certain nombre d'avantages évidents par rapport à la stratégie actuelle de protection contre les inondations, sont désormais reconnus. Toutefois, le passage des stratégies de 'contrôle total des crues' à des stratégies 'résilientes' requiert également un appui fort des responsables locaux et régionaux éventuellement appelés à les mettre en œuvre ; or, l'obtention de tels appuis exige le déploiement d'efforts considérables. Lors de la présentation des alternatives aux stratégies actuelles, il convient d'insister sur le fait que :

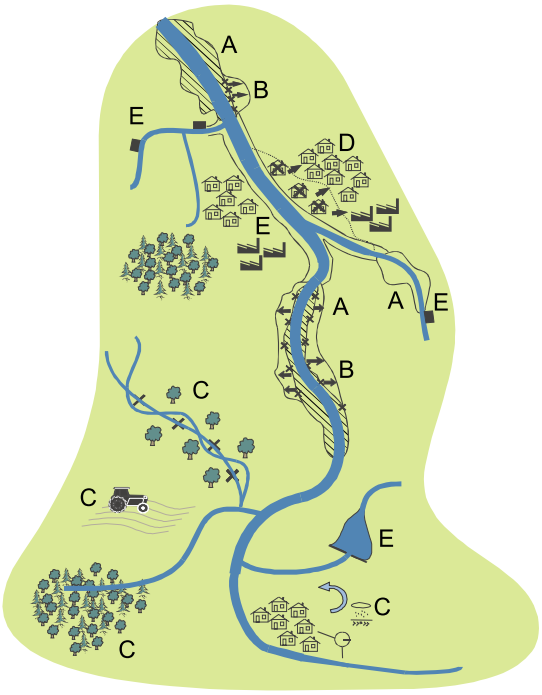


Les stations de la modèle de prédiction du Rhin.

1. Au cœur de *toute* stratégie future de gestion des risques d'inondation se trouvent le contrôle des crues, et une protection maximale contre les inondations pour la plupart des zones. Un risque d'inondation accru n'est tolérable que dans certaines zones.
2. L'espace nécessaire à la mise en œuvre des mesures résilientes n'échappe pas de façon permanente à l'utilisation par l'homme ou à d'autres finalités (par exemple écologique), car il n'est requis *que de façon temporaire et/ou occasionnelle* pour le stockage ou l'écoulement des eaux des crues.

Les inondations ne constituent plus un danger pour la vie humaine sur le cours inférieur du Rhin et de la Meuse

Bientôt, le temps nécessaire pour prévoir une crue du Rhin sera de 4 jours à la frontière germano-néerlandaise, et les prévisions devraient être assez précises. On devrait bientôt pouvoir encore les améliorer ; de la même façon, une amélioration considérable du délai de prévision des crues de la Meuse est également possible (de 12 à 36 heures). Ce fait est important car il signifie que si des incertitudes subsisteront toujours concernant la probabilité des crues, il est désormais clair qu'on est en mesure de sauver les vies potentiellement exposées, et ce quelles que soient les circonstances. La gestion des risques d'inondation sur le cours inférieur des fleuves ne doit donc plus être considérée comme une 'lutte inégale contre les crues', comme ce fut le cas dans le passé et c'est encore parfois le cas aujourd'hui. Ceci faciliterait le passage difficile mais rationnel à des stratégies 'résilientes' requérant l'acceptation de l'inondabilité de certaines zones inhabitées.



focuses of spatial planning

A Protection of existing retention areas

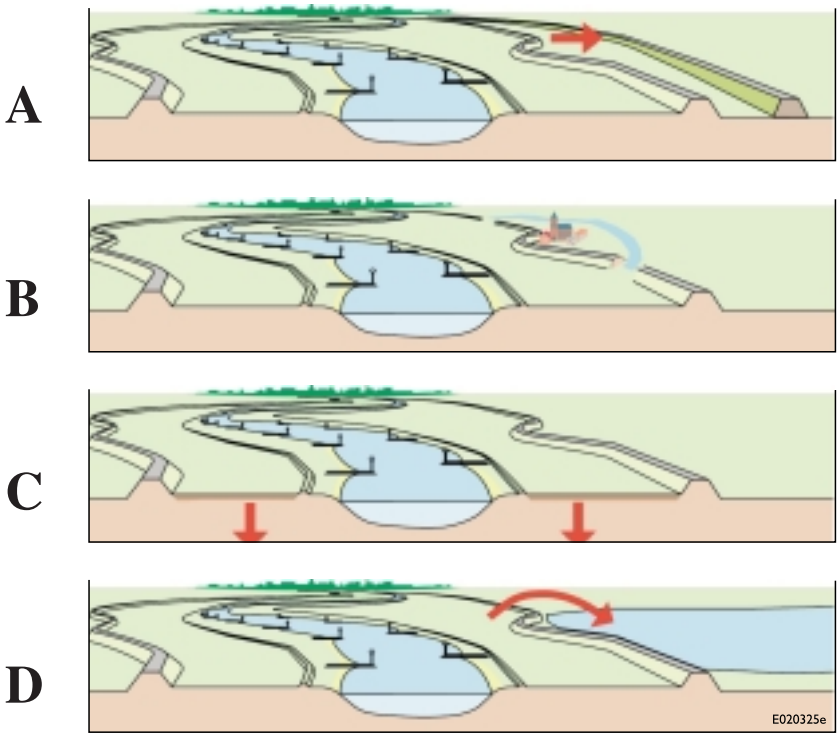
B Extension of retention areas
- backward relocation of dikes
- creating detention ponds
- restoration of large streams
- floodplain scrapes/deepening of retention areas

C Retention in the catchment
- rainwater storage and greywater use
- restriction of sealed surfaces
- reduction of interflow on agricultural and forestry land
- restoration of small streams

D Minimisation of damage potential
- preventive land use management
- precautionary measures of construction
- information of the public
- improvement of public awareness
- prediction and warning of floods
- disaster prevention/control

E Technical flood protection measures
- dikes
- flood protection walls
- retention ponds
- river dams, barrages

Illustration d'emplacement typique de mesures de gestion des risques d'inondation dans un bassin versant. (Tirée du Projet 5).



Certaines mesures en faveur de 'l'espace pour les cours d'eau' mises en pratique ou envisagées sur le cours inférieur du Rhin : (A) déplacement de digues, (B) passages pour eaux de crues ou 'rivières vertes', (C) abaissement des plaines inondables, (D) zones de stockage des crues.

3 Efficacité des mesures de réduction des risques d'inondation

Types de mesures de gestion des risques d'inondation étudiés par IRMA-SPONGE

On peut distinguer cinq types de mesures de gestion des risques d'inondation :

1. Mesures préventives visant à éviter les crues : gestion de l'occupation du sol dans le bassin versant en amont.
2. Mesures préventives visant à réduire les risques d'inondation : contrôle des crues, rétention, aménagement territorial et sensibilisation.
3. Mesures préparatoires : prévisions et avertissement de l'imminence des crues et mise en œuvre de plans d'urgence.
4. Mesures en cours de crues : mise en place de cellules de crises, évacuation et protection par les services d'urgence locaux.
5. Mesures ultérieures aux crues : prise en charge, compensation et assurance.

La majorité des recherches au sein du Programme IRMA-SPONGE avait trait aux mesures préventives de gestion des risques d'inondation, ce qui explique que l'accent de l'évaluation est mis sur la stratégie 'préventive' (types 1 et 2). Au sein de ce type général de stratégies, on distingue quatre catégories de mesures (et d'instruments politiques) :

- Mesures/instruments techniques (bassins de rétention, digues, etc.).
- Mesures/instruments réglementaires (zonage, instruments légaux).
- Mesures/instruments financiers (partages des charges, aides, compensations financières, assurances).
- Mesures/instruments de communication (DSS, jeux, jeux de rôle, brochures, etc.).

De façon générale, l'application d'une mesure faisant partie d'une de ces catégories n'est efficace que si elle est au moins combinée à des mesures d'une ou de toutes les autres catégories. L'*équilibre de la combinaison des mesures* est un aspect essentiel de la '*gestion intégrée'*. La conception de la politique choisie doit donc s'appuyer sur des recherches quant à l'efficacité de la combinaison des mesures envisagées.

Étant donné que le risque d'inondation résulte à la fois de la probabilité (fréquence) des crues et des dommages potentiels qu'elles engendrent, la gestion des risques d'inondation peut viser la réduction à la fois de la probabilité et des dommages potentiels - ce qui correspond en fait à deux types très différents de mesures.

Prévention des inondations : mesures pour le bassin versant

Il est souvent dit que le meilleur moyen de résoudre un problème est de le résoudre à la source et, en théorie, ceci vaut également pour la gestion des risques d'inondation. C'est pourquoi les responsables de la gestion des risques d'inondation ont tendance à regarder ce qui se passe en amont pour voir comment prévenir les inondations. Ces mesures de bassin versant ont également été étudiées dans le cadre du Programme IRMA-SPONGE, mais elles se sont avérées inefficaces pour prévenir les grandes crues des grands bassins versants.

L'occupation qui est faite du sol se modifie du fait de l'urbanisation et de la déforestation qui ont des effets notoirement néfastes sur les grandes crues, les faibles débits et la qualité des cours d'eau. Ces effets sont flagrants dans les petits bassins (des cours amont). Aussi a-t-on défendu une mesure consistant à inverser la tendance en augmentant la quantité d'eau de pluie s'infiltrant dans les sols afin de réduire l'écoulement superficiel du bassin versant en amont. Cette approche, lorsqu'elle est mise en œuvre sur une large partie d'un bassin, peut s'avérer efficace pour améliorer les débits de base et réduire les pics de crue moyens à l'échelle locale, voire régionale, d'un bassin ['Room for the Rhine']. Toutefois, ses effets sur les pics de crue extrêmes sont limités, même pour les petits bassins versants, et dépendent fortement du type de précipitation (de convection ou d'advection) et de la situation antérieure.

Portée des 13 projets de recherche dans le Programme IRMA-SPONGE

	Domaine de recherche	Scénarii et mesures							Critères dévaluation						Évaluation du risque			Support décisionnel & sensibilisation		
	Nom du projet / Bref descriptif	Changements climatiques	Zones de stockage des crues	Élargissement du lit majeur	Abaissement de plaine inondable	Réhabilitation des marécages	Options d'occupation du sol	Mesures diverses	Fonctions hydrauliques	Fonctions écologiques	Fonctions socio-économiques	Durabilité	Données fixes	Critères divers	Méthodes d'évaluation	Cartographie GIS-DTM	Cartographie des risques	Développement de DSS	Gestion de l'information	Sensibilisation de l'opinion publique
1	DEFLOOD - mesures de réduction des crues et crues de référence	■						■	■											
2	Stratégies de gestion intégrée pour le Rhin et la Meuse	■					■		■						■					■
3	FRHYMAP : cartographie hydrologique et des risques de crue	■														■	■			
4	DSS-LARGE RIVERS - outil pour mesures d'évaluation		■						■	■								■		■
5	Instruments d'amélioration de l'aménagement du territoire pour la gestion des risques de crue		■				■				■				■		■	■	■	■
6	Directives pour la mise en œuvre de mesures écologiques le long des cours d'eau			■	■					■										
7	Rajeunissement cyclique des plaines inondables				■	■				■		■								
8	Valeur ajoutée des marécages - réduction des crues et qualité de l'eau					■				■					■		■			
9	INTERMEUSE - aménagement du territoire intégré pour la Meuse						■			■	■					■				
10	Vivre avec les crues : stratégies de résilience pour la gestion des risques d'inondation							■					■	■	■					■
11	BIO-SAFE - outil d'évaluation de l'impact des mesures sur la biodiversité							■		■								■		
12	FloRIJN - amélioration du système de prévision des crues du Rhin																	■		
13	STORM-Rhine - jeu de rôle pour la gestion transfrontalière des cours d'eau																	■		■

Couverture de l'évaluation des scénarii & mesures au sein du Programme IRMA-SPONGE

Domaine d'étude :	*Rhin supé-rieur*	*Rhin moyen, Moselle*	*Rhin infé-rieur (D)*	*Rhin infé-rieur (NL)*	*Bassin rhénan*	*Affluent Meuse*	*Meuse - Wallonie*	*Bassin de la Meuse*
Cartographie des risques de crues	■	■		■			■	
Changements climatiques			■	■				■
Options de contrôle des crues	■	■	■	■	■	■		■
Marécages		■	■	■		■		
Élargissement du lit majeur		■				■		■

En outre, il n'a pu être prouvé que 'l'inversion' du changement d'occupation du sol sur une partie du bassin pouvait avoir un effet notoire sur les crues au niveau des principaux lits fluviatiles du Rhin et de la Meuse. Ceci concorde avec les résultats d'autres études hydrologiques. Deux faits principaux peuvent expliquer cet effet limité de la gestion du bassin versant en amont sur les crues extrêmes en aval :

- *Il existe un lien direct entre l'effet des changements d'occupation du sol sur les débits des cours d'eau et la fraction du bassin versant où s'opèrent lesdits changements.* Des mesures ponctuelles comme l'amélioration de la gestion des eaux urbaines (visant à favoriser l'infiltration) n'ont d'effet qu'à petite échelle et ne sont donc jamais très efficaces pour les bassins versants étendus.
- *L'inversion du changement d'occupation du sol ne peut induire une inversion des changements hydrologiques dans une période exploitable par la gestion des risques d'inondation.* Par exemple, la déforestation de bassins à caractère forestier dense peut se traduire par des débits annuels plus importants et par des crues elles aussi plus conséquentes. Toutefois, après reforestation, il faut attendre des décennies voire des siècles avant que la forêt et la structure du sol arrivent à maturité et que la situation hydrologique initiale soit rétablie.

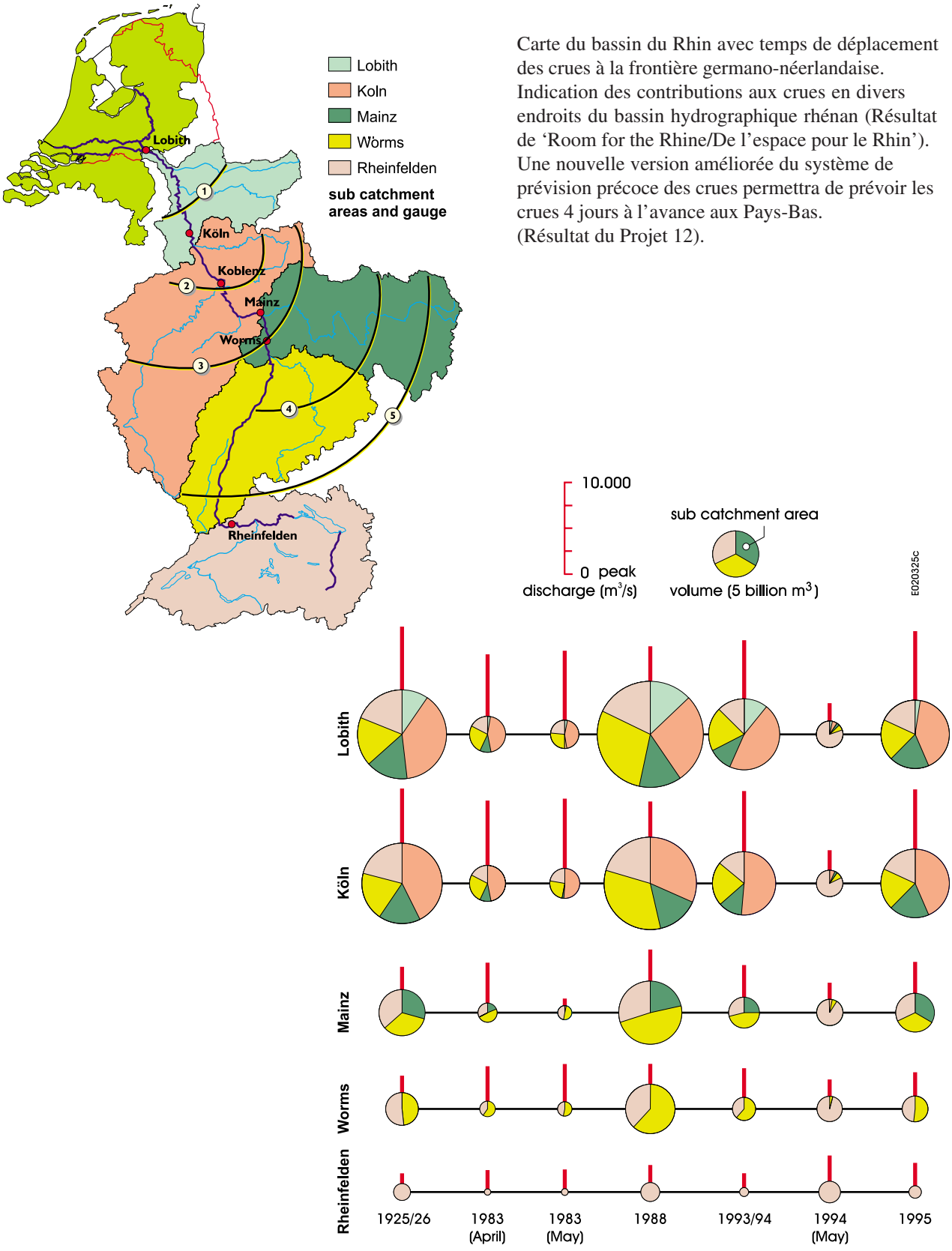
On en conclut que les crues extrêmes des fleuves Rhin et Meuse ne peuvent être réduites de façon sensible par la prise de mesures pour l'ensemble du bassin versant. En conséquence, la gestion des risques d'inondation le long de du cours inférieur du Rhin et de la Meuse ne devrait pas reposer sur de telles mesures - même si leur mise en œuvre était certaine. Aussi convient-il de réaliser que les effets des changements climatiques sur les crues ne peuvent être compensés à long terme par les changements d'utilisation, étant donné que l'influence des changements climatiques (si l'on en croit les projections actuelles) sur les grandes inondations est bien plus importante que celle des mesures liées aux changements d'occupation du sol.

Atténuation des crues : rétention et contrôle des crues en amont des cours d'eau

Une autre mesure souvent envisagée est le développement et l'extension des zones de rétention, bien en amont du tronçon fluvial où les débits doivent être réduits. La rétention des eaux fluviales, par stockage graduel lors de la montée des eaux, se traduit par une atténuation des crues: si le débit du cours d'eau en crue est réduit, c'est en revanche la durée totale de la crue qui est rallongée. D'aucuns suggèrent qu'il serait possible de généraliser cette mesure en accroissant la capacité de rétention des marécages, mais il a été montré que la zone disponible pour la réalisation de cette mesure le long du Rhin ne pouvait contribuer notoirement qu'à l'atténuation des pics de crue moyens et non pas à celle des crues extrêmes ou des inondations prolongées.

Ce qui est vrai concernant les zones de rétention le long du lit des cours d'eau où le débit n'est pas contrôlé, vaut en moindre mesure aussi pour les zones de rétention avec accès maîtrisé des eaux de crues dans le but de stocker les eaux fluviales uniquement lorsque le niveau des eaux est au plus haut. Les zones de stockage des crues très en amont le long du Rhin ne sont pas d'une grande efficacité dans l'abaissement des crues extrêmes menaçant les zones plus en aval comme la Rhénanie du Nord-Westphalie en Allemagne et les Pays-Bas. Ceci s'explique par les facteurs suivants :

- L'étalement dans le temps des eaux de crues provenant des affluents du fleuve principal est très complexe. Contrairement à ce que l'on serait naturellement porté à croire, l'atténuation d'un fort débit au niveau d'un affluent a tendance à entraîner un pic de crue en aval du fleuve principal et non pas l'inverse.
- Le volume de stockage disponible dans les zones de rétention peut être utilisé avec plus d'efficacité pour 'l'écrêtement des crues' - c'est-à-dire lorsqu'elles sont remplies en période de pleine crue et non pas en phase d'amorce de crue. Toutefois, la réduction du risque d'inondation au plan local peut exiger un planning d'utilisation du potentiel de stockage différent de celui valable lorsque l'objectif consiste à parvenir à une réduction optimale du risque d'inondation en aval. En fait, il est difficile de faire l'impasse sur la prévalence des intérêts locaux, même si la communication et la collaboration des divers organismes intervenants dans les différentes régions sont satisfaisantes.



Carte du bassin du Rhin avec temps de déplacement des crues à la frontière germano-néerlandaise. Indication des contributions aux crues en divers endroits du bassin hydrographique rhénan (Résultat de 'Room for the Rhine/De l'espace pour le Rhin'). Une nouvelle version améliorée du système de prévision précoce des crues permettra de prévoir les crues 4 jours à l'avance aux Pays-Bas. (Résultat du Projet 12).

La conclusion concernant les zones de rétention et de stockage des crues est que plus elles se situent en amont, moins elles sont susceptibles de contribuer à la réduction des crues extrêmes survenant sur le cours inférieur de Rhin et de la Meuse. Toutefois, il convient de noter que les zones de stockage des crues sont généralement plus efficaces que les zones de rétention pour lutter contre les crues. Bien sûr, les zones de rétention et de stockage des crues jouent souvent un rôle dans la gestion de la nature, ce qui peut conduire à d'autres considérations.

(P)réservation d'espace pour les cours d'eau

Les mesures dites en faveur de 'l'espace pour les cours d'eau' accroissent la largeur de l'espace occupé par les cours d'eau en période de crue, en créant de l'espace supplémentaire pour le stockage et l'écoulement dans les parties de plaines alluviales normalement protégées par des digues. Ces mesures contribuent à l'accroissement de la capacité d'écoulement, à l'atténuation des gros débits ou à 'l'écrêtement des crues'. Les options principales sont :

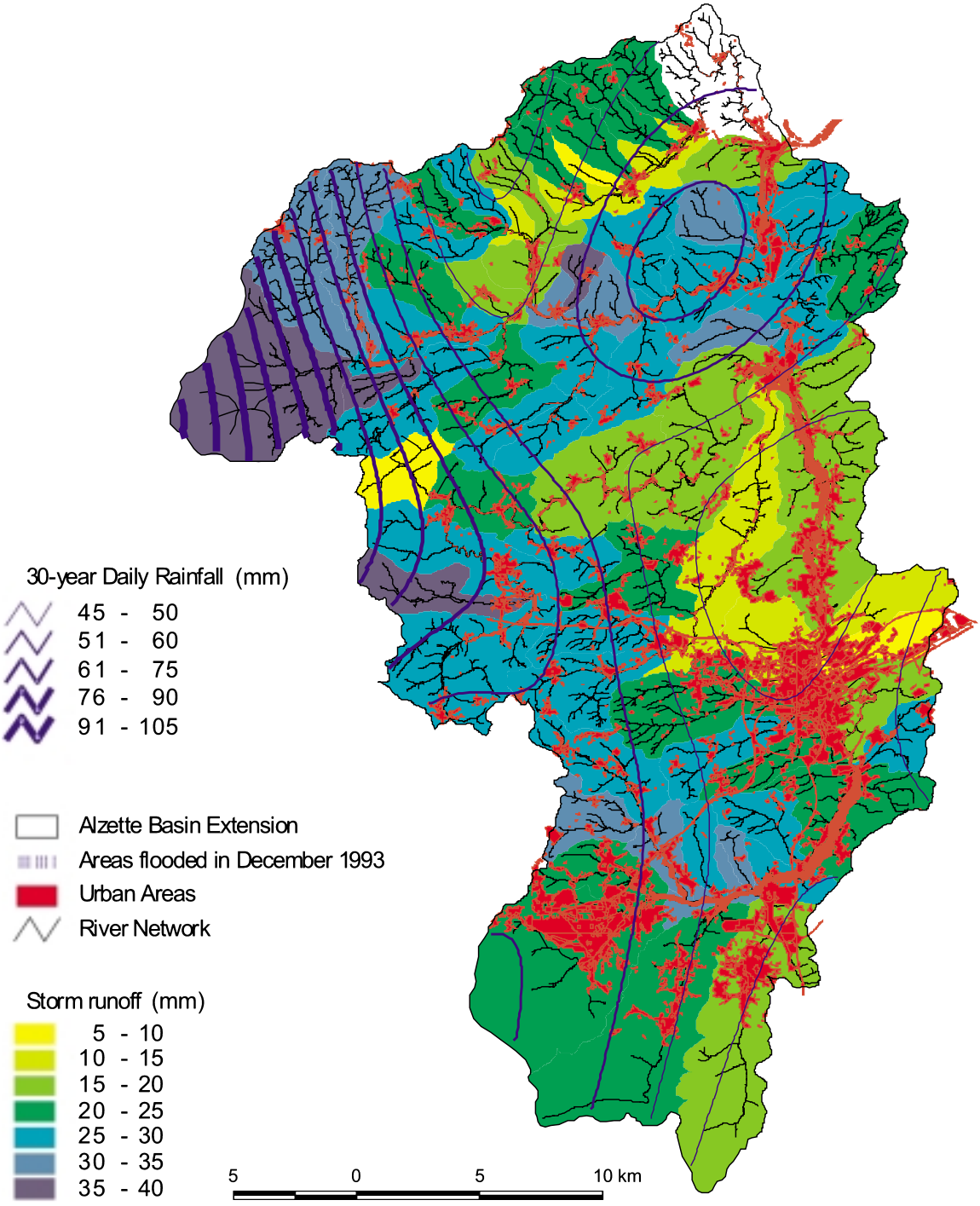
1. Relocalisation des digues - élargissement des plaines inondables non protégées.
2. Création de passages pour eaux de crue, avec ou sans lit permanent ('rivières dites vertes').
3. Création de zones de stockage des crues à l'arrière des digues actuelles - de telles zones permettent de disposer d'un potentiel de stockage contrôlé pour les eaux de crue. Voilà ce que sous-entend la notion 'd'espace pour les cours d'eau' bien qu'il n'y soit activement fait recours que dans les situations d'urgence.
4. Rajeunissement cyclique des plaines inondables - cette mesure prévoit l'excavation périodique de parties de plaines inondables, après laquelle la dynamique naturelle du fleuve et la succession de la végétation sont rendues possibles pour plusieurs dizaines d'années. Cette option n'accroît pas latéralement l'espace réservé aux cours d'eau mais elle est souvent envisagée en combinaison avec les mesures précitées.

Les mesures en faveur de 'l'espace pour les cours d'eau' sont très différentes dans leur portée et leurs effets ; elles ont cependant toutes en commun l'accroissement de capacité de stockage ou d'écoulement des eaux de crue près des zones à risques. Prises plus en amont, ces mesures ont un certain effet sur l'étalement dans le temps de tout le volume des eaux de crue, mais seulement un impact mineur sur le niveau des pics de crue. Prises en aval, sur le cours inférieur du Rhin et de la Meuse, elles peuvent toutefois s'avérer efficaces. Par exemple : il a été montré que l'aménagement de zones de stockage des crues et le déplacement de digues (dans le but d'accroître une possibilité de rétention) sur 11 sites proposés dans la seule Rhénanie du Nord-Westphalie, pouvait théoriquement faire baisser les niveaux d'eaux pendant les périodes de crue extrême (avec une probabilité annuelle de 1/1250) du fleuve avec un maximum de 10 cm. D'autres études ont démontré des réductions possibles du niveau des crues de l'ordre de 30 cm en conséquence d'une combinaison de mesures de déplacement de digues et de rajeunissement cyclique ['Room for the Rhine'].

Bien que les mesures 'd'espace pour les cours d'eau' soient efficaces et techniquement réalisables, il est clair qu'elles rencontreront une certaine résistance dès qu'il sera sérieusement envisagé de les mettre en œuvre. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les mesures requérant plus d'espace latéral, étant donné qu'elles impliquent l'inondation sporadique de zones inhabitées. La mise en œuvre de telles mesures exige des modifications majeures des politiques d'aménagement du territoire et ne sont économiquement viables que si les coûts et les avantages de la gestion des risques d'inondation sont envisagés sur le très long terme (plusieurs décennies). Toutefois, elles se révèlent nettement avantageuses lorsqu'elles sont envisagées comme s'inscrivant dans une stratégie de développement intégré du lit fluviatile visant à optimiser plus d'une fonction, étant donné qu'elles présentent de bonnes possibilités de restauration naturelle et d'amendement paysager.

Prévention des dommages

Qu'il soit décidé ou non d'adopter une stratégie 'd'espace pour les cours d'eau', il est nécessaire de réduire les dommages potentiels dans les zones occasionnellement ou potentiellement inondables. De fait, la prévention des dommages s'est avérée la mesure de gestion des risques d'inondation la moins onéreuse. Elle peut être appliquée à l'échelle locale et régionale dans les plaines inondables et les zones protégées par digues, en tout endroit des bassins du Rhin et de

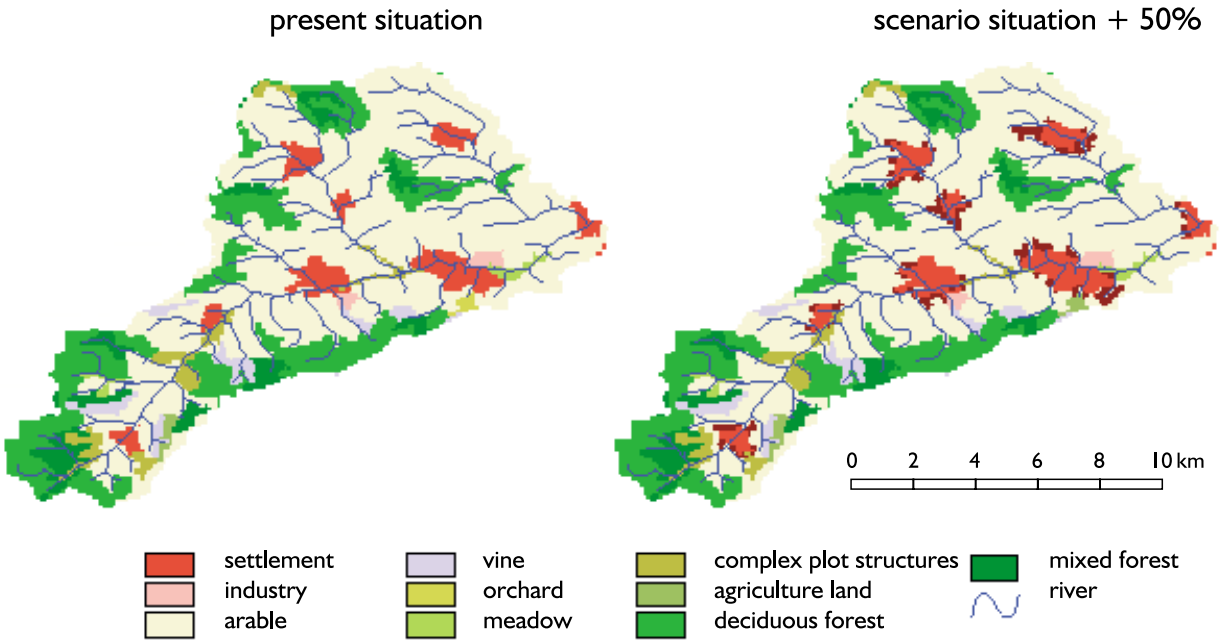


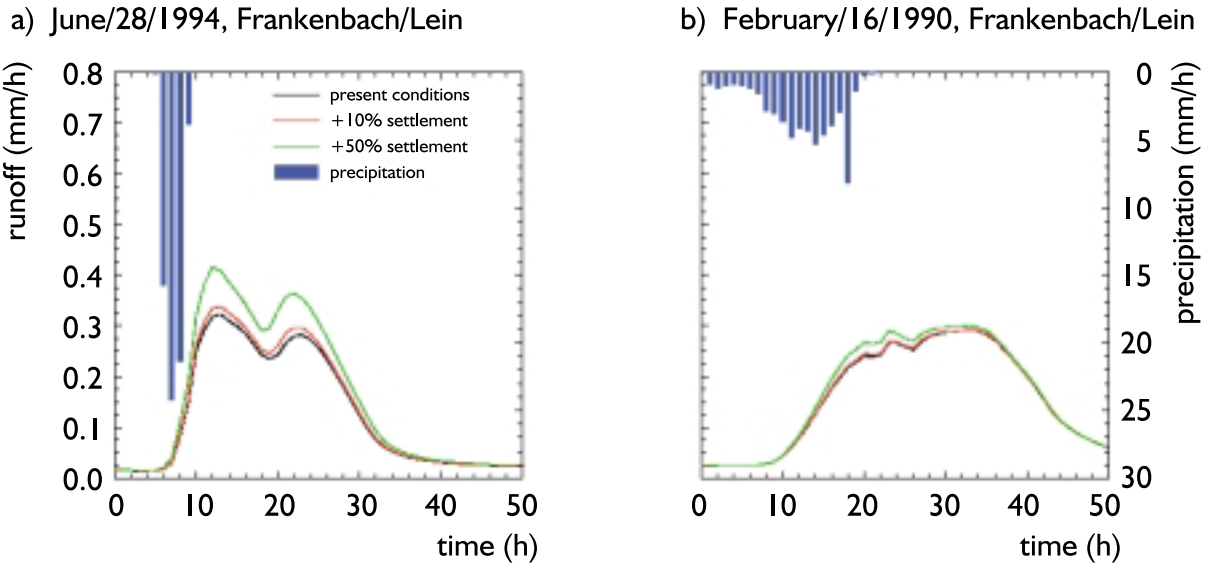
Carte des précipitations maximales quotidiennes sur une période de 30 ans et pics de débit correspondants pour le bassin transfrontalier de l'Alzette (France, Luxembourg et Belgique). Ce type de carte permet de comprendre dans quelles zones les crues se produisent et quelles zones sont exposées à des risques d'inondation. (Résultat du Projet 3, FRHYMAP).

la Meuse. Actuellement, la prévention des dommages est insuffisamment pratiquée dans la plupart des bassins hydrographiques du Rhin et de la Meuse et les dommages économiques potentiels dans les vallées fluviales et les zones protégées par digues continuent donc de croître.

Utiliser les instruments d'aménagement du territoire pour la gestion des risques d'inondation: réglementations et zonage des dangers

Une raison importante du manque d'effort entrepris pour réduire les dommages potentiels dans les zones exposées à des risques d'inondation est le fait que la plupart des pays du bassin rhénan disposent certes d'instruments utiles en matière d'aménagement du territoire au plan local mais que leur contribution effective à la prévention des dommages causés par les inondations est insuffisante. Les instruments existants sont rarement utilisés à bon escient par les pouvoirs publics locaux pour garantir la limitation des investissements dans des zones exposées aux risques d'inondation. Une grande part du problème s'explique par le déficit de prise de conscience quant à la nature exacte de ces zones - aussi peut-il s'avérer intéressant de recourir à des moyens visuels tels que des cartes représentant les zones menacées par un risque d'inondation. De telles cartes constituent des instruments simples et efficaces pour la communication et l'aménagement du territoire. Dans les vallées fluviales dites 'ouvertes', les zones à risque peuvent être déterminées sur la base des données disponibles sur la fréquence des crues ; dans les zones protégées par digues, une différenciation des normes de sécurité pourrait se traduire par la définition de 'zones de sécurité' auxquelles serait conférée une fonction similaire dans la politique d'aménagement du territoire. Pour bien catégoriser les zones à risque, il convient d'abord de comprendre le régime des crues : notamment la probabilité d'inondation, la profondeur et la vitesse sont des facteurs importants, mais la durée et l'étalement dans le temps peuvent aussi avoir un effet sur l'ampleur des dommages occasionnés. Bien qu'il soit possible d'établir une cartographie des profondeurs en utilisant des modèles numériques du terrain et en exploitant les données sur les niveaux d'eau enregistrés, ces cartes pêcheront par leur imprécision, sauf en cas d'utilisation de modèles 2D à partir des schémas d'inondations existants ('simulations d'inondations'). La modélisation des inondations des zones protégées par digues exige des moyens particulièrement sophistiqués et des données très précises. C'est pourquoi seules quelques-unes des cartes existantes (et ne concernant que des zones limitées) peuvent être utilisées comme base pour l'aménagement du territoire, les plans d'évacuation et les autres mesures de gestion des risques d'inondation. L'amélioration de cette situation devrait être prioritaire, car l'utilisation de moyens cartographiques imprécis tend à jouer plus en faveur d'une augmentation que d'une réduction du risque d'inondation.





Le changement d'occupation du sol peut accroître le volume des crues, notamment à l'échelle des petits bassins hydrologiques. Voici une simulation de deux crues dans le bassin versant de la Leine (115 km²) suite à (a) un orage de convection local et (b) une zone de basse pression d'advection traversant l'Europe, pour les conditions actuelles et deux scénarii d'urbanisation.
(Résultat du Projet 2).

4 Stratégies intégrées de gestion des risques d'inondation

La tâche de la gestion des risques d'inondation consiste à mettre en œuvre les mesures permettant de réduire le plus efficacement le risque d'inondation, après analyse détaillée de leur coût et de leurs avantages - prenant en compte non seulement les paramètres économiques mais aussi la valeur sociétale et écologique. Une telle analyse devrait être basée sur une évaluation des risques d'inondation - étant fonction à la fois de la probabilité d'inondation et des dommages provoqués par les crues. Toutefois, les éléments qui suivent viennent compliquer le débat sur le risque d'inondation et le coût et les avantages des mesures effectives :

- Il y aura toujours une incertitude concernant la probabilité d'inondation - même s'il est fait appel aux connaissances et modèles scientifiques les plus fiables qui soient. Une stratégie à long terme devrait être valable indépendamment du scénario climatique retenu.
- Concernant la définition des dommages potentiels, il n'existe pas de moyen satisfaisant à 100 % toutes les parties concernées. Si la valeur des éléments économiques comme les investissements et la production est déjà difficile à déterminer, il n'y a pas d'éléments vraiment objectifs pour définir la valeur des éléments d'autre nature comme le patrimoine et les fonctions écologiques, culturels et sociaux.
- La perception par l'opinion publique peut s'avérer tout aussi importante que les éléments scientifiques ; et cette perception est souvent plus concentrée sur la réduction de la probabilité d'inondation que sur la réduction du risque dans sa globalité. Étant donné que c'est la volonté commune d'accepter un certain risque d'inondation qui importe aux décideurs, les mesures visant à réduire la probabilité sont souvent plus faciles à mettre en œuvre que celles visant à réduire les dommages - même dans les cas où ces dernières permettraient de réduire le risque global avec une plus grande efficacité (et donc à moindre coût).

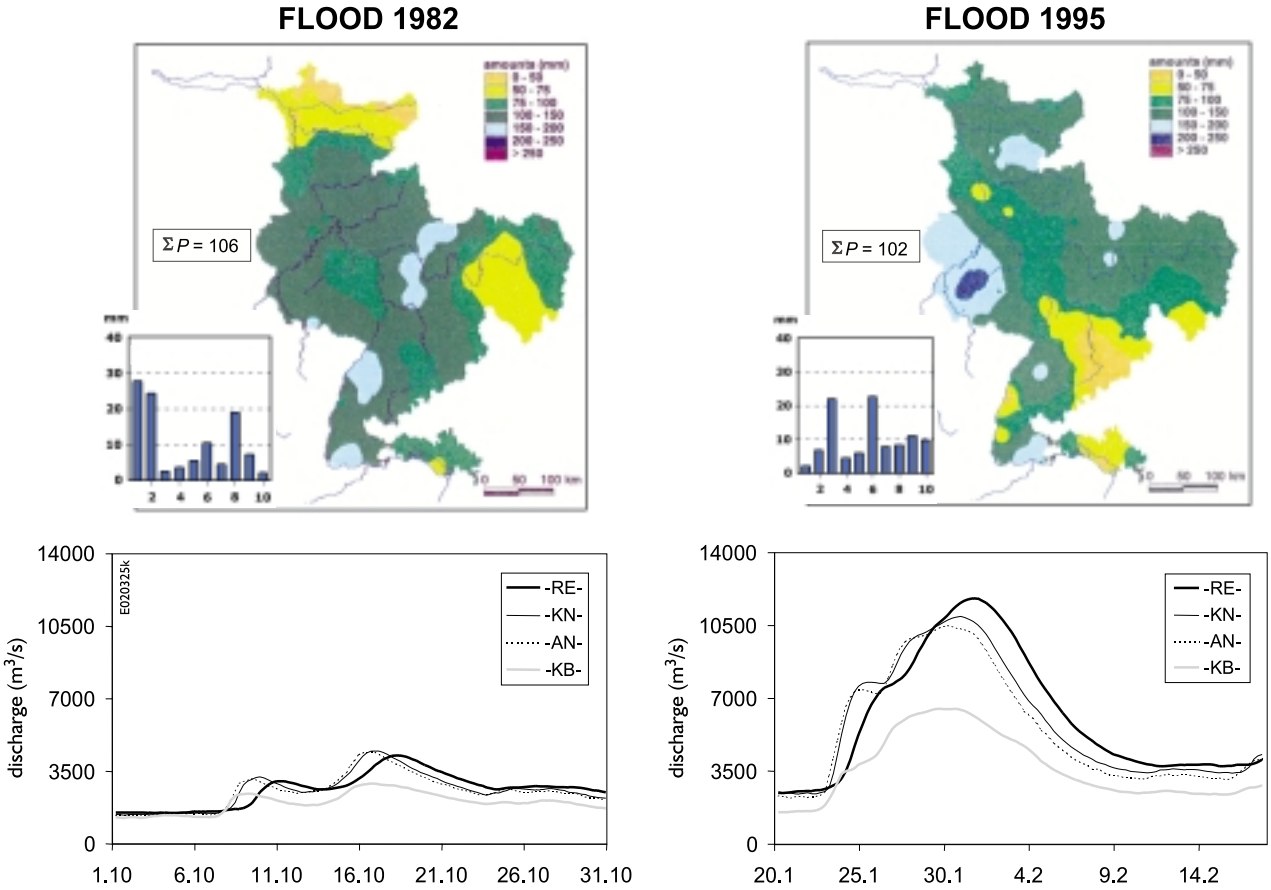
Bref, la recherche de la stratégie 'optimale' en matière de gestion des risques d'inondation exige la formulation de nombreuses suppositions concernant l'évolution non seulement de l'environnement naturel mais aussi celle de l'économie et de la société. Faire la lumière sur ces suppositions et les incertitudes qui y sont liées, joue un rôle important dans leur acceptation par l'opinion publique.

Gestion des inconnues par les stratégies de résilience

L'objectif de gestion vraiment durable des risques d'inondation devrait consister à minimiser le risque d'inondation à long terme tout en permettant un développement économique, social, écologique et paysager à long terme. La durabilité exige non seulement une vision à long terme et prenant en considération l'ensemble du bassin, elle doit également tenir compte du changement des 'conditions limites'. Ceci signifie que des inconnues concernant l'évolution biophysique (modifications des conditions climatiques, hydrologiques et écologiques), économique et sociétale, et les changements de vision normative ('évaluation') des aspects économiques, écologiques et liés à la sécurité (inhérents aux changements culturels) doivent être pris en considération lors de l'élaboration des stratégies de gestion des risques d'inondation.

Au cours des dernières années, des changements notoires ont été induits dans la façon d'envisager la gestion des risques d'inondation : les conclusions du Programme IRMA-SPONGE sont clairement liées aux convictions et évolutions contemporaines :

- Les nouvelles technologies - et notamment l'amélioration des systèmes de prévision des inondations, de communication, des infrastructures et de la mobilité en cas d'évacuation - peuvent augmenter considérablement les conditions de sécurité et réduire les accidents.
- Les valeurs écologiques telles que la biodiversité sont devenues hautement prioritaires.
- La nature et les paysages sont reconnus comme étant des éléments de patrimoine importants.
- On sait que la société change, que l'affectation des terres change et que même le climat peut changer.



Différents schémas de précipitations pluvieuses se traduisent par diverses hydrographies de crues même lorsque la quantité totale de pluie est très similaire, comme indiqué ici pour 4 sites de la partie allemande du bassin rhénan. (Résultat du Projet 1, DEFLOOD ; cartographie d'après Brandsma & Buishand, 1999).

- On sait également que la probabilité de crue extrême ne peut être connue avec une certitude totale pour les diverses raisons suivantes :
  - Même en exploitant les meilleures données, modèles et techniques statistiques disponibles, la fréquence des crues extrêmes (se produisant par exemple une fois tous les 500 ans en moyenne) ne peut être connue avec une précision absolue sur la base des données enregistrées suite aux observations effectuées (on dispose souvent de moins d'un siècle de recul).
  - Dans la situation actuelle, alors que la fréquence des crues est probablement en augmentation, toute prédiction basée sur une extrapolation des conditions passées risque de se traduire par une sous-estimation des fréquences de crues à venir.

En bref : *le contexte dans lequel la gestion des risques d'inondation est faite, n'est pas statique mais dynamique.* Plus encore : ce contexte est fondamentalement imprévisible. Ceci a des incidences importantes pour le développement d'une stratégie de gestion des risques d'inondation : cette dernière ne peut être véritablement durable que si elle est en mesure de contrôler ou de s'adapter à la part imprévisible des évolutions futures. Une bonne approche du développement d'une telle stratégie est donc le principe de 'pas de regret' : les décisions prises actuellement doivent limiter le moins possible les options futures. Cette réalisation a conduit à l'élaboration de stratégies 'résilientes' de gestion des risques d'inondation.

Si les stratégies actuelles ayant pour but de prévenir les inondations en maîtrisant totalement les cours d'eau sont assimilées aux 'stratégies de résistance', alors les stratégies permettant l'écoulement des eaux de crues dans certaines zones tout en réduisant les dommages y afférents, peuvent être qualifiées de 'résilientes'. Les stratégies de résilience présentent un certain nombre d'avantages :

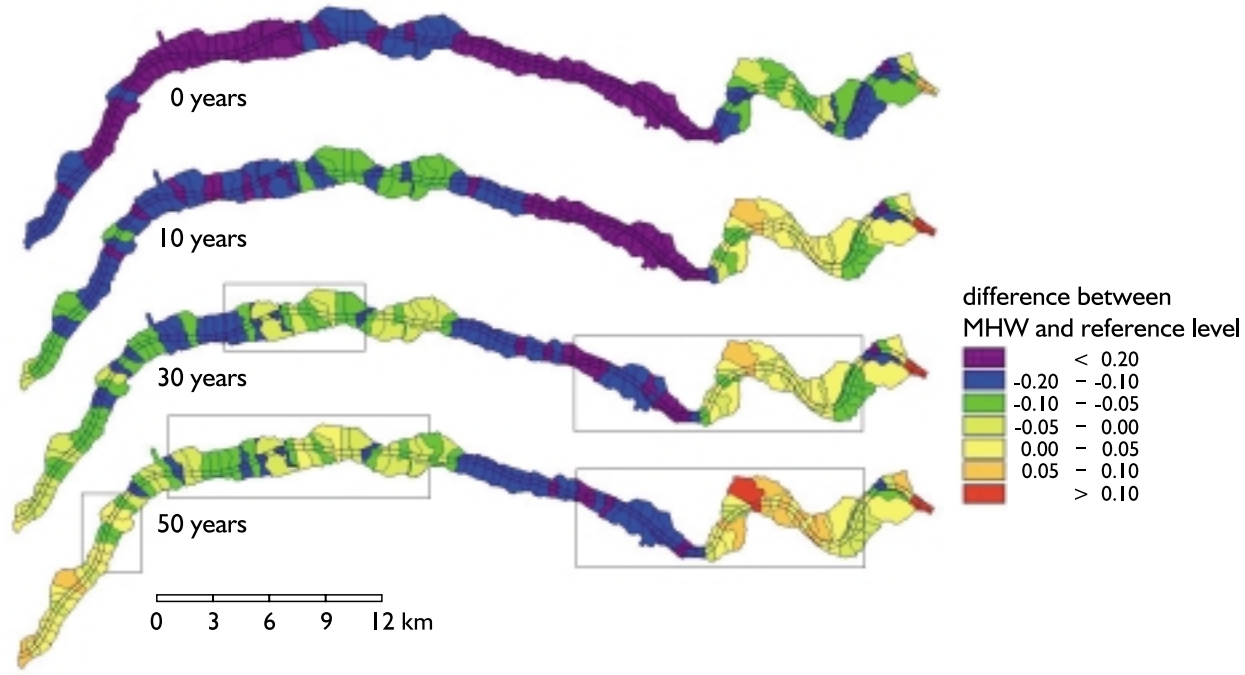
- Elles réservent de l'espace pour que les générations futures puissent étendre, maintenir voire limiter l'espace de stockage et d'écoulement des eaux de crue - en fonction de l'évolution des impératifs posés par les futures conditions physiques, économiques, sociales et écologiques.
- Elles sont plus durables car elles peuvent faire partie d'une stratégie de développement du lit fluviatile véritablement intégrée - fournissant notamment des opportunités de restauration écologique et paysagère.

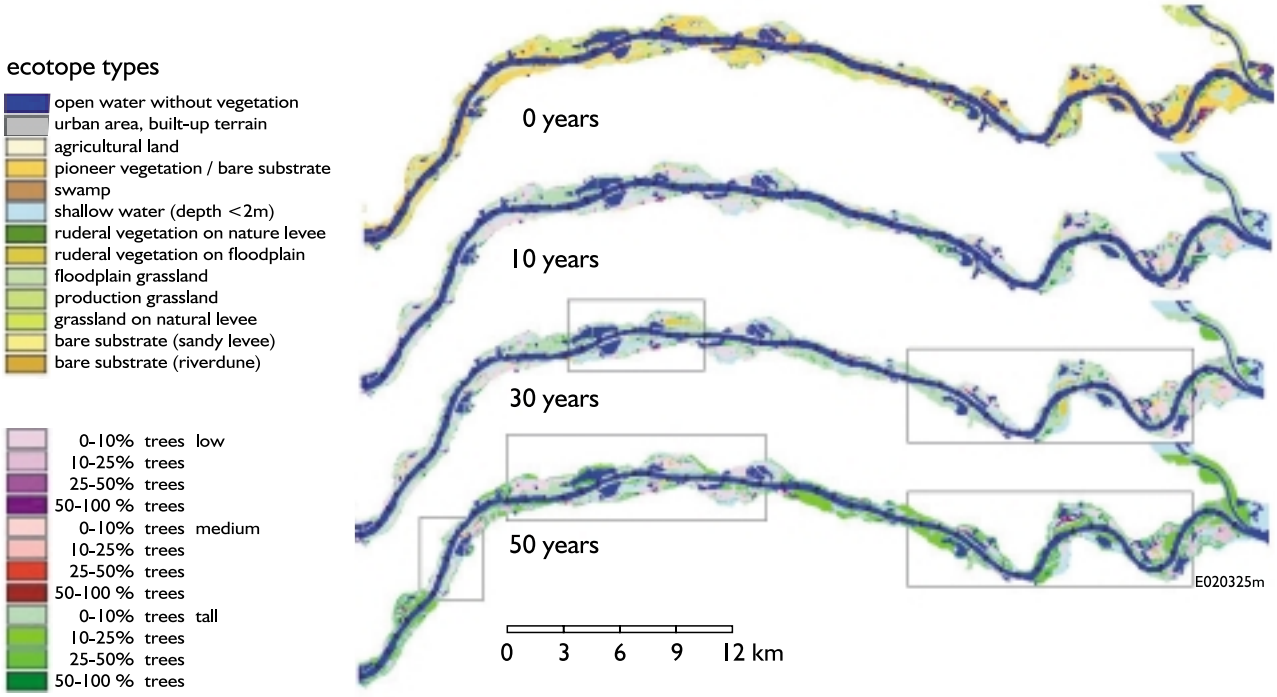
La plupart des mesures pouvant être qualifiées de 'résilientes' exigent que de grandes superficies actuellement protégées par des digues puissent être inondées : soit en les transformant en zones de stockage des crues, soit en prévoyant des aménagements supplémentaires pour l'écoulement des eaux. Toutefois, la perte de cet espace pour l'activité humaine ou pour d'autres fonctions n'est pas permanente mais seulement temporaire et/ou occasionnelle pour permettre le stockage ou l'écoulement des eaux excédentaires.

Combinaison de la gestion des risques d'inondation et de la gestion du patrimoine naturel

La gestion des risques d'inondation a un impact sur tous les objectifs de planification des lits des cours d'eau, qu'ils soient d'ordre économique, culturel, social ou écologique. Au sein du Programme IRMA-SPONGE, plusieurs projets se sont concentrés en particulier sur l'interaction entre la gestion des risques d'inondation et les fonctions écologiques, et certains résultats intéressants seront présentés dans ce chapitre. Toutefois, il est à souligner que si la gestion des risques d'inondation n'a de caractère durable que si elle permet le développement écologique, les développements économique et social doivent aussi être pris en considération lorsque les idées présentées ici sont retenues.

L'analyse des diverses stratégies de gestion des risques d'inondation pour le Rhin et la Meuse révèle de grandes différences concernant leur impact sur la biodiversité. L'amendement écologique faisait partie des objectifs du développement de la plupart des concepts de reconstruction des plaines inondables évalués au sein du Programme IRMA-SPONGE - et, de fait, si elles sont toutes susceptibles de jouer en faveur de la biodiversité, elles ne sont pas





Effets de l'abaissement périodique des plaines inondables (rajeunissement cyclique des plaines inondables) sur les niveaux d'eau et le développement de la végétation sur une période de 50 ans. Les cases indiquent les zones où des mesures supplémentaires de 'rajeunissement cyclique' (y compris l'excavation) ont été appliquées. Ces données concernant la végétation ont été utilisées en combinaison avec les données morphologiques pour prévoir les effets sur les niveaux d'eau, en utilisant les modèles hydrauliques (Résultat du Projet 7).

sans laisser présager de certains effets fortement néfastes. Les concepts de reconstruction ont une valeur certaine du fait de la création de nouveaux habitats, mais ils peuvent s'avérer avoir un effet désastreux sur la flore et la faune existantes. Par ailleurs, l'analyse a montré que la situation la plus 'naturelle', qui est souvent la cible des projets de développement de la nature, ne correspond pas nécessairement aux objectifs politiques et légaux et/ou ne permet pas le maintien viable des populations.

Comment définir les cibles écologiques ?
S'assurer que le patrimoine naturel n'est pas réduit par les mesures de protection contre les inondations a été une des priorités des politiques mises en œuvre au cours des dernières années. Toutefois, de nombreux experts en la matière s'accordent à dire que cette priorité n'est souvent pas vraiment mise en pratique. Deux éléments principaux jouent un rôle à cet égard :

- Les processus naturels peuvent être imprévisibles et le développement naturel n'est souvent possible que si ce caractère imprévisible est accepté et que les responsables de la planification et de la gestion autorisent une (certaine) dynamique naturelle aux cours d'eaux.
- La restauration de la nature ne peut donner de bons résultats que si les décideurs font des choix clairs concernant le type de nature qu'ils souhaitent voir se développer (dans la mesure où ceci est contrôlable - voir plus haut) et se donnent les moyens de soutenir ces décisions sur le long terme. Les choix généraux doivent être effectués à un stade précoce - par exemple : les plaines inondables peuvent être gérées de différentes façons pour optimiser la rétention de nutriments, le rajeunissement cyclique, la définition 'd'objectifs-paliers' pour les espèces ciblées ou d'un optimum de biodiversité pour chaque site - sachant que ces objectifs ne peuvent être tous atteints sur un seul et même site.

Définition à l'échelle du bassin des priorités en matière de gestion du patrimoine naturel
La collaboration internationale doit définir les priorités pour la gestion de la nature (par exemple la biodiversité doit être accrue). Pour garantir la traduction de telles priorités en choix clairs et concrets par rapport aux cibles écologiques spécifiques des stratégies de gestion des risques d'inondation (par exemple : représentation en grand nombre d'une espèce donnée dans une région donnée), l'impact d'une mesure sur tous les facteurs écologiques doit être étudié avant la mise en œuvre effective. Pour évident qu'il y semble, ceci est rarement appliqué dans la pratique : même lorsqu'il est question d'une gestion intégrée d'un fleuve, les décisions sont rarement basées sur l'évaluation intégrée des effets, ce qui vient limiter les avantages en termes de valeur naturelle.

Recommandation : l'approche écologique par réseau
Le patrimoine naturel existant dans les systèmes hydrologiques très régulés est généralement restreint, fragmenté voire, parfois, isolé. Pour maintenir ou créer des populations d'espèces durables (présentes et après recolonisation), la réhabilitation écologique doit concentrer ses efforts non seulement sur la protection de ces éléments existants et sur l'augmentation de l'hétérogénéité de l'habitat mais aussi sur les populations croisées ou isolées. C'est ce en quoi consiste l'approche écologique par réseau qui prend en compte la taille de l'habitat et l'aménagement de l'espace et peut améliorer la gestion du patrimoine naturel le long des cours d'eau.

Oui à la nécessité de ménager de l'espace pour les cours d'eau - mais dans un souci de variété!
La combinaison de mesures de gestion des risques d'inondation et d'accroissement de la biodiversité est possible si des solutions uniformes sont évitées - la dynamique des cours d'eau doit avoir une influence différente en fonction des zones. Les mesures visant à ménager de 'l'espace pour les cours d'eau' actuellement débattues sont souvent considérées en combinaison avec des plans visant à améliorer la valeur écologique et paysagère des rives des cours d'eau, et il est vrai que ces objectifs peuvent très bien être intégrés. Toutefois, l'objectif devrait être de combiner différentes mesures à divers endroits plutôt que de rechercher une solution polyvalente et universelle. Par exemple, l'abaissement des plaines inondables peut très bien

aller de pair avec des mesures visant à étendre les mêmes plaines, si l'objectif est d'atteindre ou de maintenir un taux important d'habitats en zone humides à sèches.

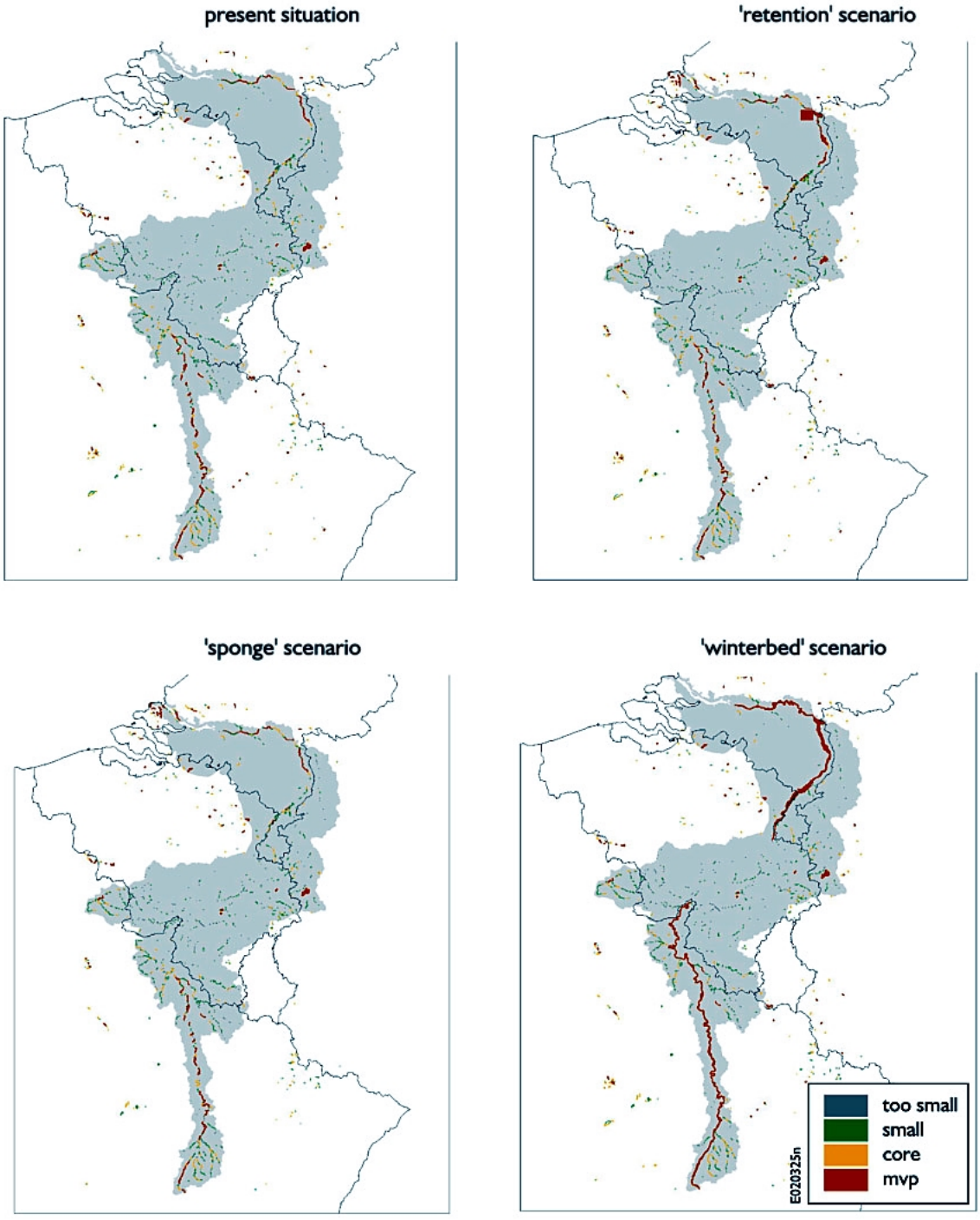
Marécages et réduction du risque d'inondation
Un grand nombre de mesures en faveur de 'l'espace pour les cours d'eau', dont le but principal est d'accroître la capacité de stockage et d'écoulement des plaines inondables, peut être combiné avec succès à une augmentation de la superficie occupée par les marécages le long du Rhin. Un autre avantage que représente une plus grande quantité de marécages est l'accroissement de la capacité de rétention du phosphore. La restauration des marécages peut aussi être combinée au *Rajeunissement cyclique des plaines inondables* qui combine le développement du patrimoine naturel et l'excavation récurrente d'une partie des plaines inondables, à plusieurs décennies d'intervalles.

Directives pour la combinaison des mesures en faveur des plaines inondables et la gestion du patrimoine naturel
Une fois que les décisions ont été prises sur les stratégies générales de gestion des risques d'inondation et les mesures appropriées, leur mise en œuvre pratique dans les plaines inondables est souvent confiée aux services techniques et pouvoirs publics locaux. Les individus impliqués à ce niveau éprouvent rarement un intérêt pour le devenir des mesures en question et ne font que les appliquer du mieux qu'ils peuvent. Sans directives, ils ont tendance à recourir aux méthodes traditionnelles, connues mais inappropriées. Par exemple, des ressources sont gaspillées si la restauration des bras latéraux dans les plaines inondables se traduit par des lits à rives fortement pentues ne présentant que peu d'avantages du point de vue écologique - et qui seront certainement transformés en cours plus naturels pendant les périodes de crue. Aussi est-il important de définir des directives pour la gestion locale des plaines inondables qui soient adaptées aux éventuels nouveaux objectifs de gestion ; de telles directives ont été formulées dans le cadre du Programme IRMA-SPONGE.

Évaluation de stratégies intégrées de gestion des risques d'inondation

Aucune stratégie de gestion des risques d'inondation n'est meilleure que les autres à tous les points de vue et pour toutes les parties impliquées, parce qu'une bonne gestion des risques d'inondation ne peut se réduire à une question d'optimisation 'scientifique'. Les choix stratégiques devant être effectués dépendent de la position des individus et organismes quant à l'acceptabilité du risque d'inondation et de l'importance des aspects économiques, culturels et écologiques. Enfin, l'opposition sécurité / coût (économique, sociétal et écologique) constitue un réel dilemme politique, et les solutions "win-win" (ou tout bénéfice) ne peuvent pas toujours être réalisées.

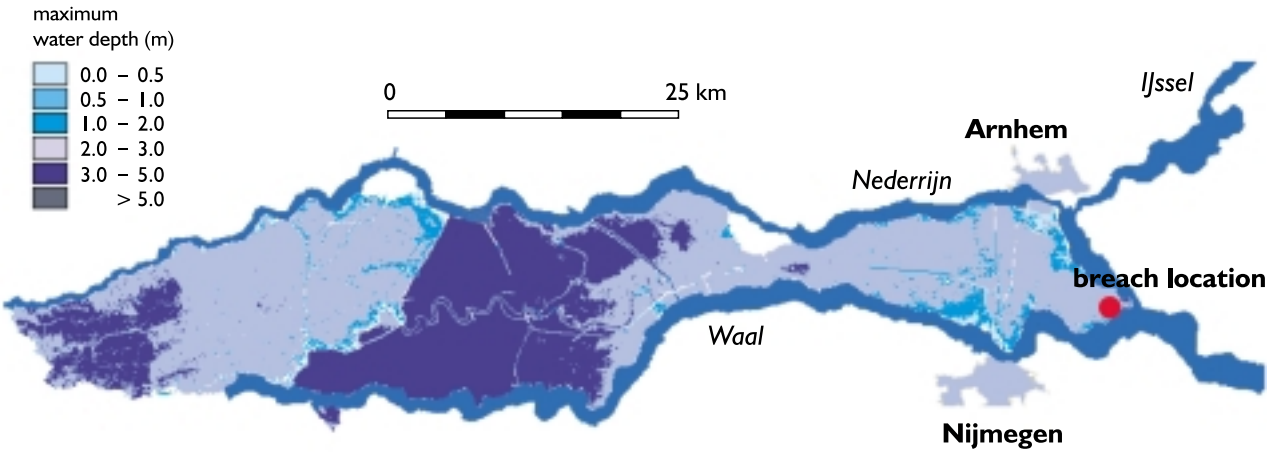
Les perspectives sur la gestion des risques d'inondation sont très différentes
Dans divers projets, on a pu voir qu'il était utile de rallier divers points de vue sur la meilleure stratégie de gestion des risques d'inondation à diverses 'visions mondiales' ou 'perspectives'. Pour les bassins du Rhin et de la Meuse, on peut distinguer trois perspectives principales ; certains styles de gestion peuvent être associés en raison de l'accent qu'ils mettent sur le contrôle, l'environnement ou l'économie - avec des résultats très différents. La politique de planification de la gestion des risques d'inondation est avant tout une tâche destinée aux organismes régulateurs tendant à avoir une perspective de 'contrôle' à laquelle s'ajoute un rôle de soutien aux institutions ayant une perspective 'environnementaliste' (ONG, organismes de recherche). Toutefois, si les organisations ayant une perspective 'économique' (par exemple les ministères de l'économie et des finances) sont rarement impliquées dans les phases précoces du processus de planification, ils jouent un rôle décisif dès qu'il s'agit de mettre en œuvre les mesures. Aussi serait-il plus judicieux et efficace d'impliquer toutes les parties dès le début et de formuler, débattre et élaborer des buts et objectifs (normatifs) explicites à un stade précoce du développement d'une stratégie de gestion des risques d'inondation.



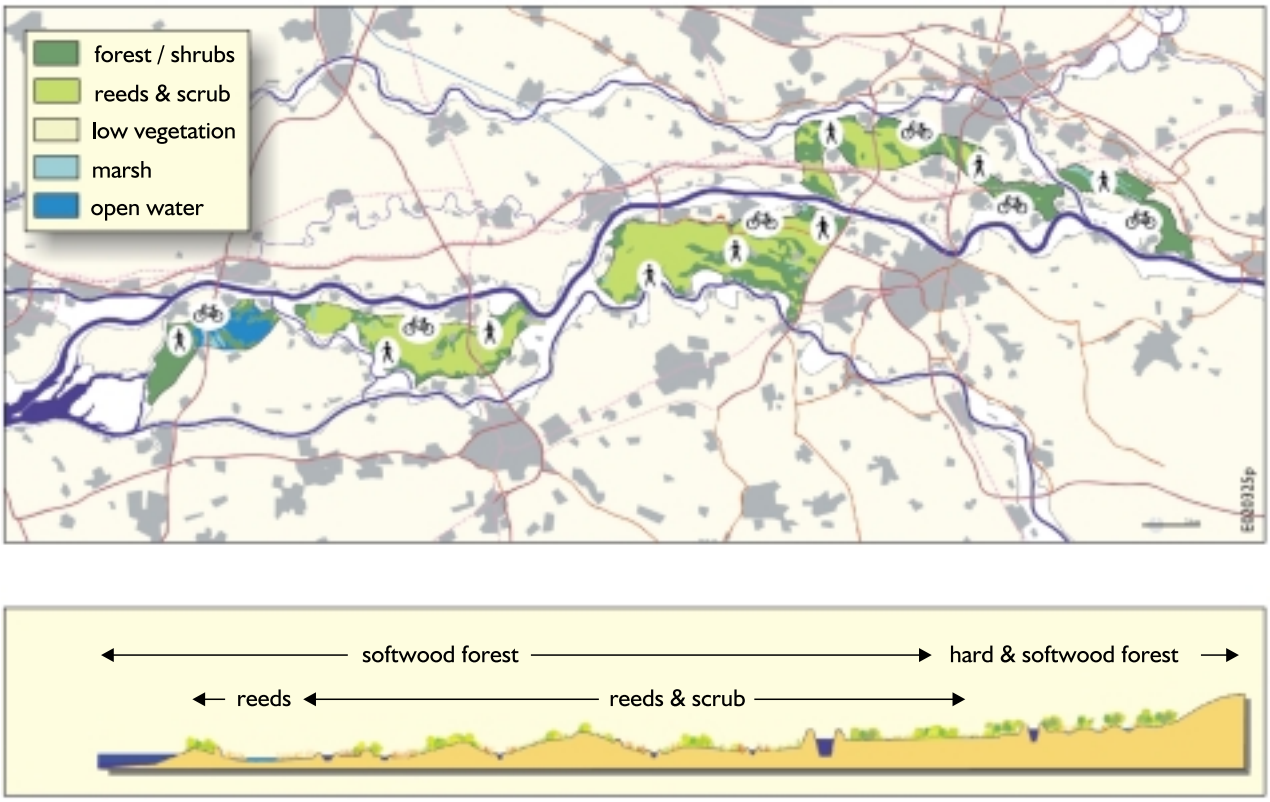
Analyses de la répartition et de l'état de la population de la *grande sauterelle des marais* : pour la situation actuelle et trois alternatives de stratégie de gestion des risques d'inondation, avec divers scénarii d'occupation du sol du lit fluviatile (explication : mvp signifie minimum de viabilité de la population).
(Résultat du Projet 9).

Une gestion intégrée des bassins hydrologiques est nécessaire pour gérer de façon intégrée les risques d'inondation

Souvent, la collaboration de toutes les parties impliquées est plus importante que l'élaboration de stratégies complexes ou la mise en œuvre de technologies sophistiquées. À la faveur de plusieurs projets du Programme IRMA-SPONGE, il s'est avéré qu'en dépit de déclarations d'intention par les organisations, il était parfois difficile voire impossible d'obtenir les données essentielles en pratique. Apparemment, l'échange d'informations entre les organisations impliquées dans la gestion d'un seul et même bassin est encore limité - non seulement entre les pays, ce que l'on sait pertinemment, mais aussi entre les régions d'un même pays. Remédier à cet état de fait pourrait constituer une première étape vers une gestion vraiment intégrée des bassins hydrologiques.



Modèle de la profondeur d'eau maximale en cours de crue dans la région de la Betuwe (Pays-Bas) sur le cours inférieur du Rhin, après rupture de digue et pic de crue de 18 000 m^3/s.
(Résultat du Projet 10).



Structure de végétation et d'occupation du sol projetée sur le cours inférieur du Rhin aux Pays-Bas après mise en œuvre d'une stratégie de gestion des risques d'inondation par aménagement de 'rivières vertes'. Il s'agit de l'alternative de 'développement multifonctions' visant à créer un réseau écologique parallèlement à une occupation du sol pour l'agriculture extensive, les loisirs et l'habitat. (Résultat du Projet 10).

5 Mise en œuvre des mesures

Les mesures (avant tout ***techniques***) précédemment évoquées ne peuvent être mises en œuvre que si elles sont assorties d'instruments ***réglementaires***. Les mesures techniques et réglementaires doivent, à leur tour, être supportées par des instruments ***financiers*** et ***de communication*** car la société doit soit A) accepter une certaine fréquence de crues, avec toutes les conséquences que cela comporte, soit B) prendre/accepter les mesures visant à prévenir les crues ou minimiser les dommages qu'elles provoquent. Parmi les nombreux et divers instruments de communication, on peut distinguer : non seulement les brochures, les rapports et les conférences, mais aussi des instruments interactifs plus sophistiqués comme les jeux de rôle animés sur ordinateur (tels ceux développés dans le cadre du Programme IRMA-SPONGE).

Trouver l'appui pour une mesure

La mise en œuvre de nouvelles stratégies de gestion des risques d'inondation, par exemple 'l'espace pour les cours d'eau' et/ou la prévention des dommages causés par les crues grâce à l'aménagement du territoire, exige des investissements massifs à court terme alors que les fruits financiers de la stratégie ne seront sensibles qu'après une période relativement longue. En outre, toute stratégie possible (y compris la poursuite de celle en cours) rencontrera toujours une opposition. C'est pourquoi la façon de trouver et garantir l'appui est essentielle pour la mise en œuvre d'une mesure ; elle doit s'inscrire dans la stratégie même. On peut évoquer à ce propos plusieurs conclusions de projets sur des améliorations possibles :

- Une façon de garantir l'appui d'une mesure au-delà des premières étapes de la prise de décision est de s'assurer que toutes les organisations sont impliquées dès le début. Actuellement, diverses organisations aux 'perspectives' différentes jouent un rôle décisif à des stades différents du processus décisionnel, ce qui réduit l'appui global dont jouissent les mesures et ralentit le processus décisionnel.
- Les systèmes spécialisés d'appui aux décisions ou DSS (Decision Support Systems) et les outils de communication comme les jeux de rôle sont actuellement suffisamment élaborés pour que leur soit accordé un rôle plus important dans les processus décisionnels, et ils pourraient aider à présenter clairement les arguments à toutes les parties impliquées.

- L'acceptation du risque par l'opinion publique peut être accrue par la sensibilisation du public de différentes façons :
  - En fournissant des informations claires et objectives sur les risques actuels et futurs.
  - En apportant plus de transparence sur les objectifs des politiques envisagées.
  - En mettant en place des mécanismes équitables de compensation financière pour les conséquences des mesures de gestion des risques d'inondation et des dommages provoqués par les crues.

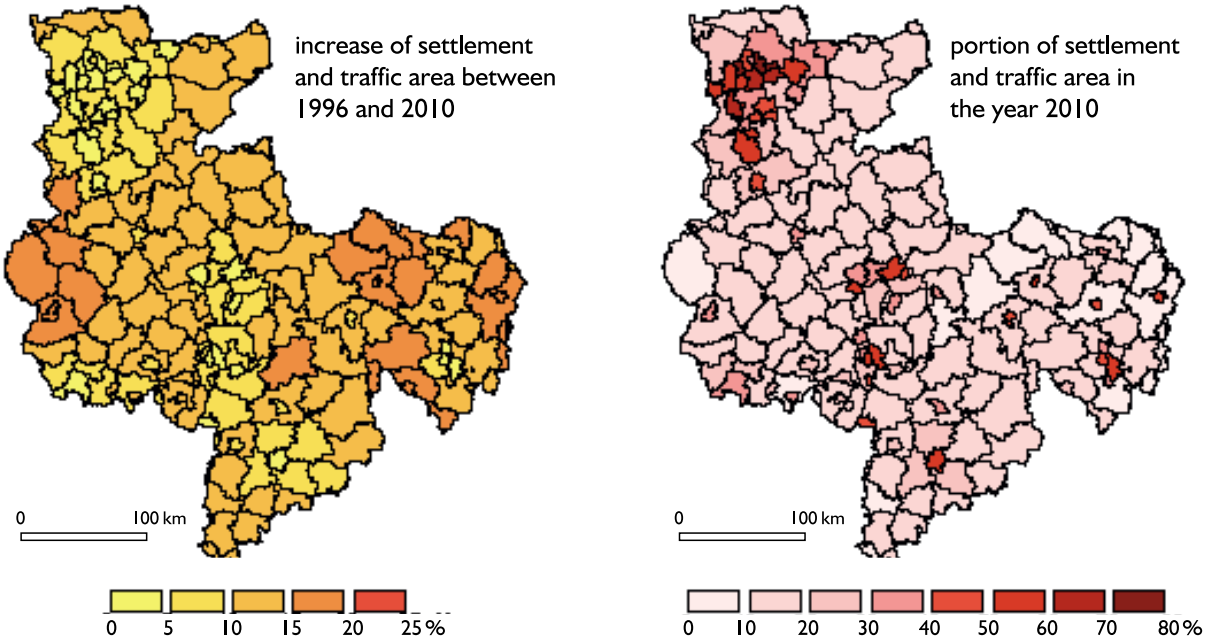
L'importance de la compensation financière

La compensation financière peut jouer un rôle à deux niveaux de la gestion des risques d'inondation : celui des personnes (pour compenser les pertes dues aux mesures ou les dommages consécutifs aux crues) et celui des régions (pour compenser les frais engagés au titre de la prise de mesures de gestion des risques d'inondation).

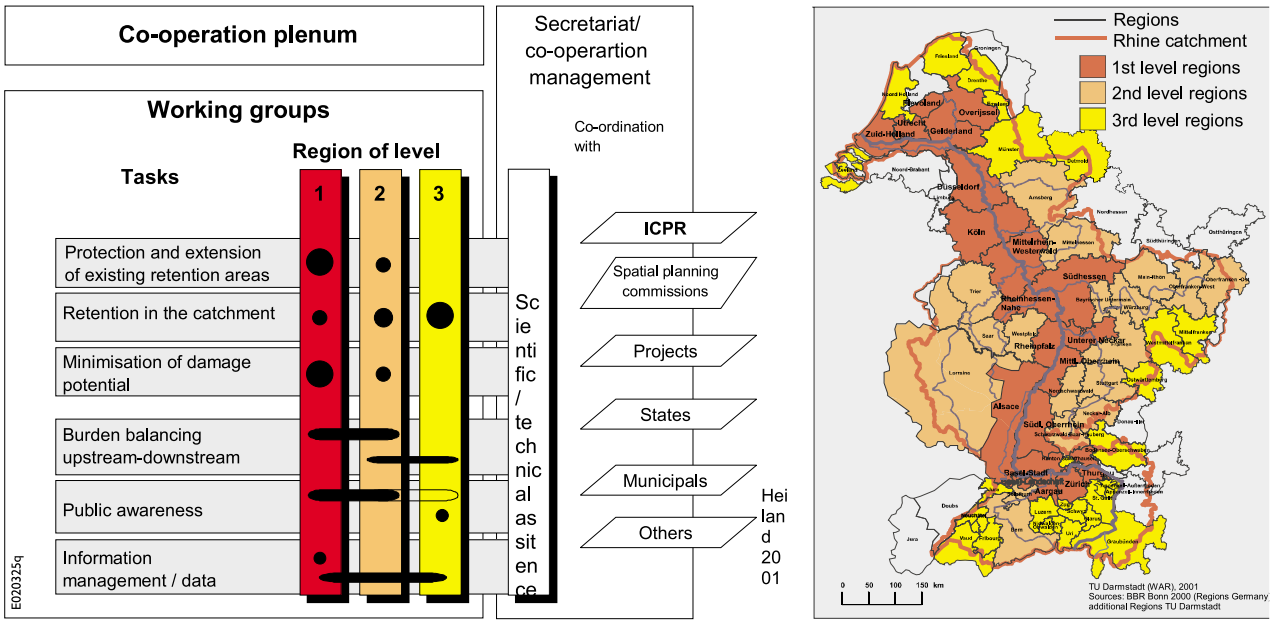
Compensation aux personnes

La 'volonté d'accepter' les mesures peut être accrue en montrant l'avantage des mesures pour la population locale. La compensation financière pour les pertes consécutives aux mesures (par exemple pertes d'investissements ou d'opportunités économiques) doit être considérée, ce qui est souvent trop insuffisant actuellement ou se fait trop tard.

La compensation des dommages *post-inondation* est un autre point où des améliorations sont possibles dans de nombreuses régions. Il peut y être pourvu par l'entremise des pouvoirs publics ou du secteur privé mais, dans un cas comme dans l'autre, des directives claires doivent être énoncées. Or, ces directives font actuellement souvent défaut et créent une incertitude quant à la compensation escomptée, ce qui fait qu'elles contribuent au recours à



Pronostic d'augmentation de l'urbanisation ('zones d'établissement et de circulation') dans une grande partie du bassin rhénan en Allemagne (entre Maxau et Lobith) pour la période 1996-2010. (Résultat du Projet 2).



Structure de collaboration suggérée pour la gestion intégrée des risques d'inondation dans le bassin du Rhin. (Résultat du Projet 5).

une stratégie de 'risque zéro' onéreuse (et finalement infructueuse). L'exemple de la Suisse montre qu'il est possible de faire autrement ; en effet, on y a mis en place des 'programmes d'assurance collective' dans le but de minimiser les dommages potentiels. Les communautés qui ont adopté de tels programmes ont vu leurs primes d'assurance baisser de 50 % au cours des vingt dernières années - un indice clair prouvant que l'assurance peut être utilisée comme 'instrument' de motivation des citoyens et de 'sensibilisation aux risques d'inondation'. Cette approche pourrait contribuer à augmenter l'acceptation d'un risque (limité) de crue.

Compensation aux régions
Dans certains cas, les régions (ou les municipalités) ont une responsabilité dans le risque d'inondation d'une autre région :

- Certaines mesures de réduction des risques d'inondation (par exemple les zones de stockage des eaux de crues) peuvent être plus efficaces lorsqu'elles sont prises un peu plus en amont de la région où le risque d'inondation doit être réduit au minimum.
- Parfois, la gestion régionale d'un cours d'eau se fait au détriment d'autres régions : par exemple la régulation d'un cours d'eau en amont peut accroître le risque d'inondation en aval ; ou inversement, les barrages fluviaux en aval peuvent accroître le risque d'inondation en amont.

Dans les deux cas, il est nécessaire de procéder à des transferts de fonds de région à région - soit pour entreprendre une action, soit pour procéder à une compensation. Pour ce faire, soit les moyens mis à disposition pour financer la protection contre les inondations sont puisés dans un 'budget central', soit des négociations directes sont entamées entre les régions aval et amont. La pratique actuelle du financement des plans et mesures de protection contre les inondations est insuffisante. C'est pourquoi un changement radical doit intervenir en matière de financement de la protection contre les inondations et aller dans le sens d'une compensation interrégionale des charges financières, et des incitations doivent être créées pour pousser les régions ou les municipalités à entreprendre des actions.

Prise en compte du risque d'inondation dans l'aménagement du territoire : le zonage comme mesure régulatoire

Tous les pays des bassins du Rhin et de la Meuse disposent d'instruments d'aménagement du territoire, mais leur contribution à la prévention des dommages consécutifs aux crues est jugée insuffisante. Une raison importante expliquant cet état de fait est que les organismes responsables de l'aménagement du territoire et de l'attribution des permis de construire (souvent au niveau communal) jouent un rôle décisif pour le succès de la prévention des dommages, mais ils y accordent normalement trop peu d'importance. Il en résulte que l'objectif du Plan d'action contre les inondations du Rhin (par la Commission rhénane internationale) pour réduire les dommages potentiels dans les zones exposées à des risques d'inondation n'est pas atteint et que les dommages économiques potentiels dans les vallées fluviales et les zones protégées par digues ne cessent de croître.

Il existe de grandes différences régionales dans la façon dont les instruments d'aménagement du territoire sont utilisés pour contrôler les développements économique et démographique des zones potentiellement inondables. Elles sont principalement le fruit de différences nationales d'ordre culturel et au niveau des systèmes de planification plutôt que de différences de conditions physiques (typologie des crues, occupation du sol, etc.). Il serait plus opportun et plus efficace d'optimiser les pratiques en matière d'aménagement du territoire en fonction des conditions physiques locales ou régionales.

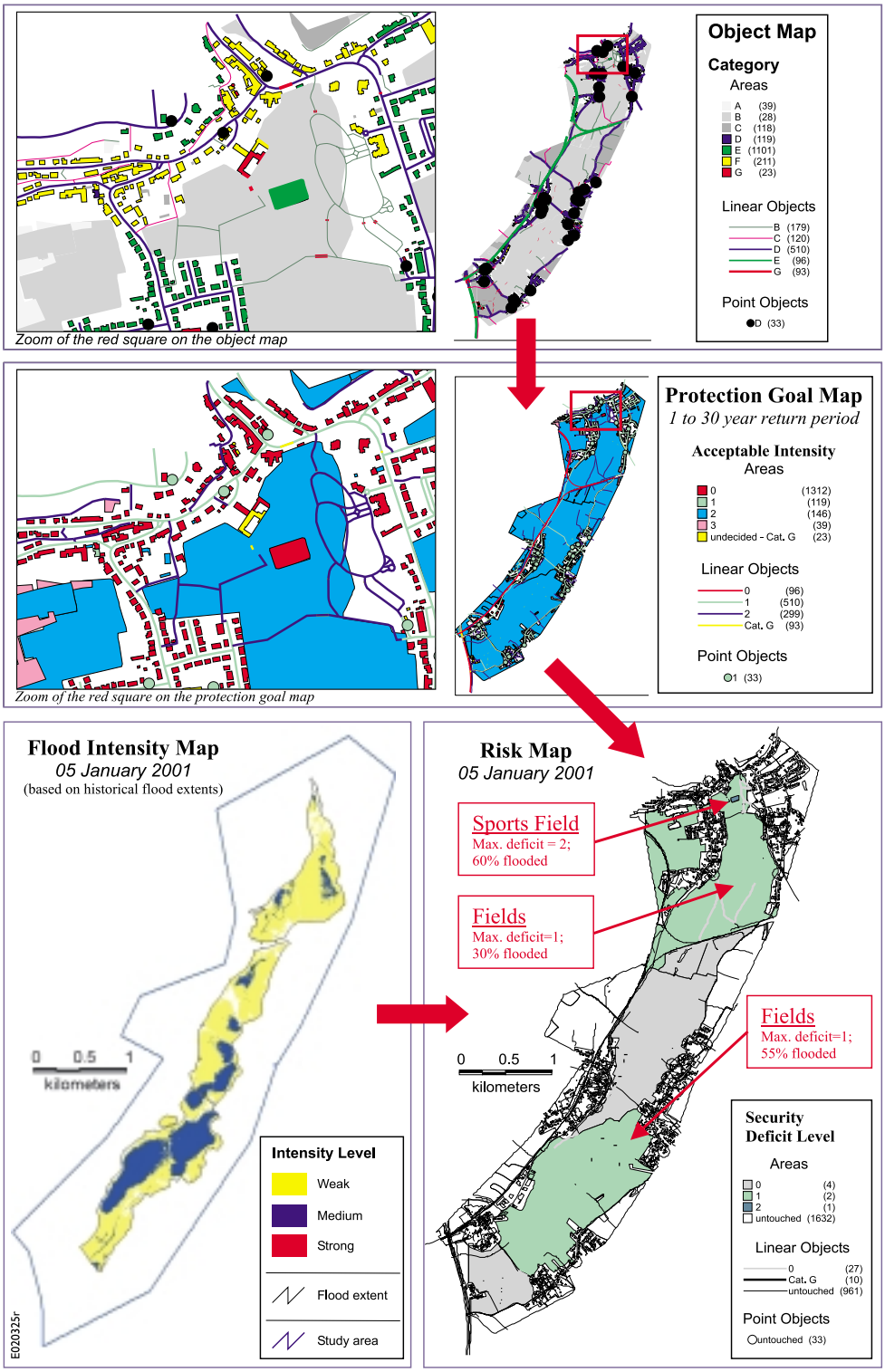
L'utilisation judicieuse des instruments d'aménagement du territoire pour garantir une baisse des investissements dans les zones exposées aux risques de crues, peut être améliorée sur la base d'un zonage du risque basé sur une cartographie des risques d'inondations - un moyen simple et efficace pour la communication des décisions d'aménagement du territoire à chacune des parties impliquées.

Collaboration régionale et institutionnelle en matière de gestion des risques d'inondation

En raison des liens hydrologiques et écologiques entre les régions aval et amont des bassins versants, il est essentiel de collaborer mais pas nécessaire d'impliquer tout le bassin versant pour chaque question. Une structure hiérarchisée à 3 niveaux par exemple pourrait constituer un cadre de travail adéquat pour une telle collaboration à plusieurs niveaux.

La gestion des risques d'inondation et l'aménagement du territoire doivent être plus étroitement intégrés, à défaut de quoi les réclamations, tensions et pressions territoriales augmenteront et, avec elles, le risque et les coûts y afférents. Ceci vaut particulièrement dans les pays/régions où l'aménagement du territoire et la gestion de l'eau relèvent de la responsabilité et des compétences d'organismes indépendants les uns des autres (comme aux Pays-Bas par exemple). Lorsque la responsabilité de l'aménagement du territoire et de la gestion des risques d'inondation est confiée à une seule autorité, il s'agit souvent d'une organisation disposant de connaissances insuffisantes notamment en matière d'hydraulique, de risques d'inondation, de vulnérabilité, etc. En pareil cas, il convient de mieux informer les responsables de la planification territoriale.

La collaboration internationale doit prendre en considération les différences régionales. Non seulement des modifications interviennent sur le cours du fleuve (par exemple la régulation des cours d'eau augmente au fur et à mesure de leur progression en aval), mais les valeurs culturelle et économique accordées au fleuve et à ses fonctions écologiques diffèrent. Le succès de la collaboration est d'autant plus probable que l'importance de ces divergences cultuelles sera reconnue et respectée.



Analyse schématique des risques de crue pour la région de Livange-Hespérange dans le bassin de l'Alzette, sur la base de l'historique des niveaux d'eaux pour la crue du 5 janvier 2001 (avec période de retour de 1 à 30 ans). (Résultat du Projet 3, FRHYMAP).

6 Remarques finales

Inégalités et lacunes au niveau des connaissances et des données

L'objectif principal du Programme IRMA-SPONGE était de développer des méthodes 'state-of-the-art' basées sur les meilleures informations disponibles - et cet objectif a pu être atteint. Toutefois, pour la plupart des projets, la durée du programme était trop courte pour mener à bien de nouvelles recherches détaillées et certaines lacunes importantes demeurent au niveau des connaissances et des données disponibles.

Nécessité de prise en compte des sciences économiques et sociales

L'accent de la plupart des projets du Programme IRMA-SPONGE était mis sur les aspects physiques (climatique, hydrologique et hydraulique) et écologiques, et ceci s'est traduit principalement par des conclusions et recommandations sur l'*efficacité* des mesures. Toutefois, dans la réalité de la gestion des risques d'inondation, la perception des mesures par l'opinion publique joue un rôle tout aussi important que celui des données scientifiques sur l'efficacité de ces mesures. C'est pourquoi, concernant les études sur la *faisabilité* des mesures et la meilleure façon de les mettre en œuvre, il convient de collaborer encore plus avec les experts en sciences économiques et sociales.

Comment gérer les incertitudes ?

La prévision des développements futurs comportera toujours une part d'inconnu - en ce qui concerne non seulement les scénarios climatiques mais aussi l'acceptation du risque et les priorités définies par la société. Sur plusieurs points en rapport les uns avec les autres, on a pu identifier des lacunes de connaissances :

- Si les décideurs tendent à développer des stratégies intégrées de gestion des risques d'inondation pouvant gérer les incertitudes, la recherche doit viser la définition de scénarios intégrés et cohérents sur la base desquels peuvent s'appuyer ces stratégies. Ceci requiert une plus grande intégration des sciences physiques, sociales et économiques et des disciplines environnementales.
- En sensibilisant davantage l'opinion publique aux incertitudes, un effort pourrait être fait pour évoquer clairement ces incertitudes dans les résultats de recherche de telle sorte qu'elles puissent être comprises par l'opinion publique.
- Si des incertitudes doivent être mieux indiquées dans les résultats de recherche, elles doivent faire partie du résultat de modèles hydrologiques et hydrauliques - ce qui n'est pas suffisamment le cas actuellement.

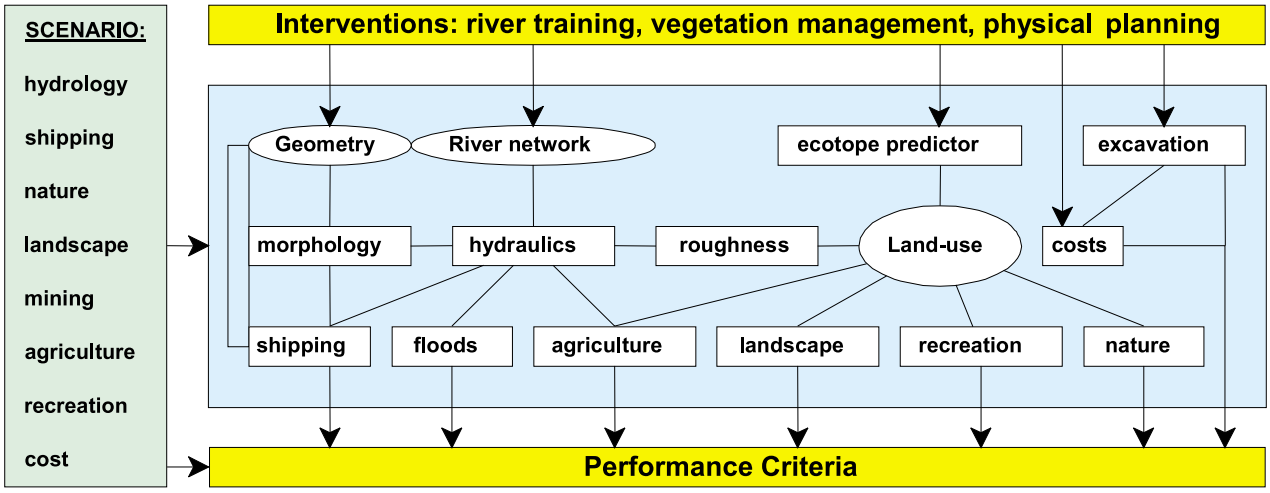
Nécessité de disposer de meilleures données pour cartographier les zones menacées par les inondations

La prévention des dommages provoqués par les crues par une meilleure répartition spatiale des investissements (zonage des risques) basée sur une cartographie des zones de danger d'inondation est une mesure efficace de gestion des risques d'inondation. Les techniques de réalisation de telles cartes ont beaucoup progressé ces dernières années (GIS, instruments de prévision de la probabilité d'inondation, modèles de crue en 2D), et il serait techniquement possible de les dresser pour de vastes zones riveraines du Rhin et de la Meuse. Toutefois, la disponibilité des modèles numériques du terrain (Digital Elevation Models) très détaillés nécessaire pour y pourvoir, est actuellement insuffisante. Le développement de cartes des dangers d'inondation à large échelle pour les bassins du Rhin et de la Meuse nécessite une volonté et une mobilisation politique en faveur du développement et de la mise à disposition d'une base de données topographiques numériques pour l'ensemble du bassin très détaillée et précise.

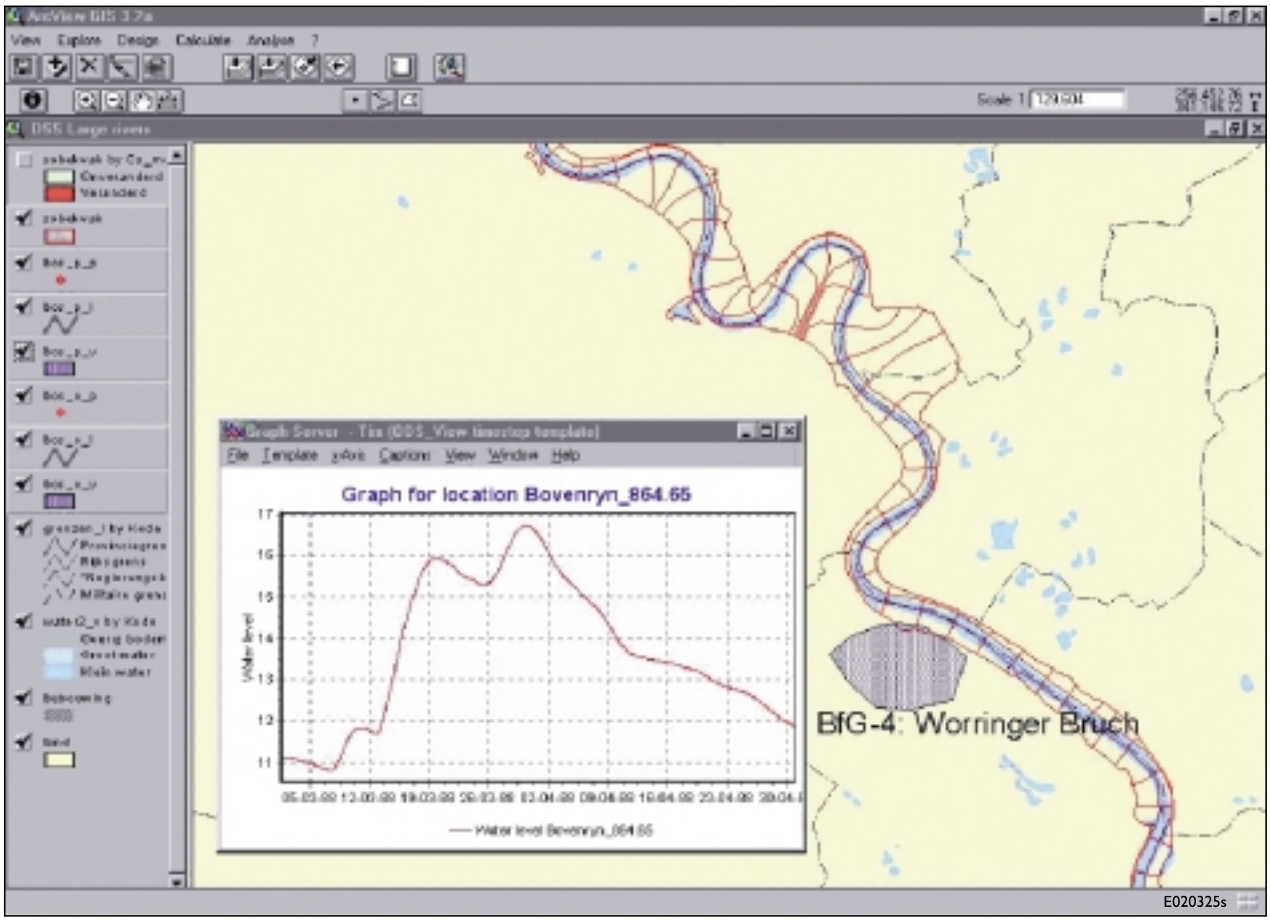
Enseignements tirés

Valeur de la gestion centralisée du programme

Le Programme IRMA-SPONGE s'est avéré complexe à bien des égards : international, cofinancé par des sources différentes, multidisciplinaire, et impliquant un grand nombre



Liens entre les modules de l'outil de simulation STORM-Rhine pour la gestion des risques d'inondation permettant aux 'joueurs' de découvrir les effets de toute une série de mesures de gestion des risques d'inondation. (Résultat du Projet 13).



Interface du DSS Larges Rivers, avec le Rhin et un site potentiel de contrôle des eaux de crue dont l'effet sur les niveaux d'eau peut être calculé. (Résultat du Projet 4).

d'individus et d'organisations. Au total, les recherches ont été menées par plus de 50 scientifiques travaillant dans 30 instituts différents, et collaborant dans le cadre de 13 projets. Une grande partie de la recherche avait trait à des sujets complexes et parfois sensibles. En outre, la période durant laquelle tous les projets ont dû être coordonnés pour parvenir à des objectifs communs ne durait que 2 ans - un laps de temps très court pour exécuter les présentes tâches. Le fait que ces objectifs aient pu être atteints atteste des efforts de coopération fournis par les participants dont tous s'accordent à dire qu'ils ont été grandement aidés par la gestion du programme centralisée et transparente - même si jugée parfois un peu stricte - par NCR. L'enseignement tiré est que ce type de gestion a fait ses preuves et qu'il convient parfaitement pour ce type de programme.

Meilleure compréhension entre scientifiques
Un objectif important du programme consistait à favoriser la collaboration transfrontalière entre scientifiques et plusieurs initiatives allant dans ce sens ont été prises dans le cadre du Programme IRMA-SPONGE. On a montré que non seulement la collaboration pouvait être améliorée dans la pratique, mais aussi la compréhension entre scientifiques : des différences culturelles de région à région existent également dans la façon dont les scientifiques de différentes régions perçoivent les thèmes et les questions faisant l'objet des recherches. Il n'existe pas, dans l'absolu, de 'meilleure' stratégie de gestion des risques d'inondation : la perception des sujets y afférents varie dans l'espace et change avec le temps, et ces différences doivent être surmontées et non pas masquées. Le programme a investi dans la construction d'un réseau transfrontalier et interdisciplinaire de groupes de recherche communiquant de façon satisfaisante. Il est suggéré de maintenir ce réseau actif, de l'étendre et de continuer à l'exploiter. Assurément, la collaboration transfrontalière entre les responsables de la planification et de la gestion exige une compréhension qui n'est possible que si les scientifiques collaborent non pas sur une base ad-hoc mais dans le cadre d'un réseau international et interdisciplinaire à long terme.

Les barrières linguistiques peuvent mener à des différences de compréhension
Bien que tous les participants au Programme IRMA-SPONGE (des régions néerlandophones, germanophones et francophones) aient très bien pu communiquer en anglais, il s'est avéré que certains termes anglais étaient interprétés différemment par les ressortissants des différents pays, et parfois même par des personnes d'un même pays ayant des formations scientifiques différentes. En outre, dans certains cas, des difficultés ont été éprouvées pour s'accorder sur la traduction de termes à spécificité régionale (par exemple certaines mesures) en néerlandais, en allemand ou en français. Aussi est-il recommandé de procéder à une 'standardisation' des termes et concepts dès le début des programmes qui, comme le Programme IRMA-SPONGE, sont à la fois multidisciplinaires et transfrontaliers. C'est dans ce but qu'un glossaire a été ajouté au présent résumé.

Nécessité d'identifier clairement les groupes cibles pour la recherche
Dans le Programme IRMA-SPONGE, les scientifiques ont développé des méthodes et des instruments destinés aux décideurs, aux planificateurs de l'aménagement du territoire et autres personnes ou organismes actifs en matière de gestion des risques d'inondation. Dans certains cas, toutefois, il est difficile de dire clairement quels organismes ou quelles personnes vont utiliser les résultats de R&D. Par exemple : si un DSS ou un 'jeu de rôle informatif' ont une fonction évidente dans le développement de stratégies de gestion des risques d'inondation et la mise en œuvre de mesures, il n'est pas toujours facile de savoir qui doit en faire l'utilisation, dans quel but et à quel moment. Si ces informations étaient disponibles, il serait possible de mieux 'cibler' certaines recherches et d'en communiquer les résultats de façon plus efficace.

ANNEXE

Résumés de projets mettant l'accent sur les aspects 'risques d'inondation et hydrologie'

Projet 1 – DEFLOOD : Développement de méthodes pour l'analyse de l'efficacité des mesures de réduction des risques d'inondation dans le bassin du Rhin sur la base de crues de référence
Mots-clés : condition de référence hydrométéorologique, cadre de travail pour l'établissement d'un modèle de bassin versant intégré.
Objectif : développer des procédures d'évaluation de l'effet des mesures décentralisées sur la survenue de crues dans les grands bassins versants – comme base pour des instruments de planification. La méthode développée devrait en outre permettre de comparer et d'évaluer les crues passées et futures probables.
Méthode : des procédures recourant à des modèles hydrologiques ont été développées pour la définition de conditions de référence hydrométéorologiques (CRH). Ces conditions sont classées en fonction des séquences historiques et synthétiques des précipitations et des températures. Par ailleurs, des méthodes sont étudiées pour estimer la répartition du maximum de précipitations possible. Un cadre de travail (FIRM-Flood Reduction) a été créé pour élaborer une approche intégrée de modélisation des bassins versants prenant en considération les CRH définies, un module intégré de modélisation des bassins versants (modèle de ruissellement des précipitations et outils de suivi de l'itinéraire des crues) et des directives pour l'incorporation de calculs de scénarii. Le bassin de la Moselle a fait l'objet d'une étude pilote pour faire la démonstration des méthodes développées.

Projet 2 – Stratégies intégrées de gestion pour le Rhin et la Meuse
Mots-clés : occupation du sol, changements climatiques, modèles hydrologiques, incertitudes, perspectives, scénarii.
Objectif : développer une série de stratégies intégrées de gestion des eaux (et de scénarii) pour les bassins du Rhin et de la Meuse, prenant en compte les futures évolutions possibles et les incertitudes.
Méthode : une étude scénario a été menée ; elle combinait l'élaboration de modèles physiques et la théorie socioculturelle. Les scénarii existants sur le climat, l'occupation du sol et les données socio-économiques ainsi que les stratégies de gestion des risques d'inondation, ont été structurés en recourant à la méthode des perspectives. Le résultat fut une série de scénarii intégrés de gestion des eaux, dont chacun représentait une vision différente de l'avenir liée à un style particulier de gestion des eaux. L'utilisation d'un ensemble d'outils de modélisation existants a permis d'évaluer les implications de chacun de ces scénarii pour les systèmes hydrologiques. Enfin, les risques, coûts et avantages liés à chacune de ces stratégies ont été évalués pour chacun des scénarii.

Projet 3 – FRHYMAP – Flood Risk and HYdrological MAPping (Cartographie hydrologique et des risques d'inondation)
Mots-clés : changements climatiques, dangers, modèles hydrauliques, atlas hydro-climatologique, modèle hydrologique, changement de l'occupation du sol, régionalisation.
Objectif : améliorer la compréhension de la survenue des crues, surtout au niveau des cours amont, et de la gestion des crues dans les plaines inondables.
Méthode : une vaste gamme de thèmes liés aux crues, allant des causes hydro-climatologiques aux impacts socio-économiques, a été étudiée. Les études se sont déroulées dans le seul bassin de l'Alzette, de taille moyenne et transfrontalier. L'analyse des séquences a été exécutée pour rechercher les possibles signaux des effets induits par le changement d'occupation du sol et les changements climatiques au niveau des débits enregistrés. La traduction hydrologique des changements de l'occupation du sol sur la survenue des crues a été simulée à l'aide de divers modèles hydrologiques. Des méthodes ont été explorées pour l'application des résultats 'locaux' des modèles hydrologiques à des zones plus vastes (régionalisation).

Projet 12 – Extension du modèle de prévision des crues FloRIJN
Mots-clés : modélisation fluviale, système d'avertissement précoce des crues (FEWS / Flood Early Warning System).
Objectif : mettre au point un prototype de système d'avertissement précoce des crues pour le Rhin permettant de prévoir les pics de crue sur le site de Lobith (près de la frontière néerlandaise) 4 jours à l'avance.
Méthode : le système de prévision existant, FloRIJN, a fait l'objet d'une extension en amont et la plupart des éléments du modèle ont subi des améliorations importantes. Le système peut exploiter l'historique des données enregistrées concernant les précipitations (pour calibrer) et des précipitations prévues fournies par l'enquête météorologique allemande (DWD). Les modèles hydrologiques ont été développés pour la plus grande partie du bassin rhénan entre Bâle et Lobith.

Résumés de projets mettant l'accent sur les aspects 'protection contre les inondations et écologie'

Projet 6 – Directives pour la réhabilitation et la gestion des plaines inondables - ***alliant écologie et sécurité***
Mots-clés : plaines inondables, réhabilitation écologique, développement de plan.
Objectif : élaborer des directives pour l'optimisation des habitats en plaine inondable et de l'infrastructure écologique, tout en améliorant la protection contre les inondations par accroissement en premier lieu de la capacité d'écoulement des eaux.
Méthode : à partir de la littérature spécialisée, des résultats scientifiques et de l'expérience pratique, des recommandations ont été formulées concernant la mise en œuvre de mesures envisageables pour les projets de réhabilitation des plaines inondables. Elles portaient notamment sur l'excavation des réservoirs d'eaux stagnantes, la construction de lits secondaires, l'abaissement des plaines inondables, l'élimination de digues mineures, la mise en herbage, la promotion du développement de levées naturelles, dunes fluviales et marécages. Le processus de planification est explicitement pris en compte ainsi qu'un certain nombre de points requérant une attention particulière lors du développement d'un plan de gestion de plaines inondables.

Projet 7 – Rajeunissement cyclique des plaines inondables
Mots-clés : abaissement des plaines inondables, rajeunissement végétal, gestion du patrimoine naturel.
Objectif **:** développer une stratégie permettant à la fois une meilleure gestion des risques d'inondation (par accroissement de la capacité d'écoulement des eaux du lit majeur) et la restauration du patrimoine naturel.
Méthode : une stratégie de rajeunissement cyclique des plaines inondables a été définie ; elle comprend l'excavation cyclique des plaines inondables, la (re)construction des lits secondaires et la restauration de la succession de végétation. Cette stratégie a fait l'objet de recherches pour un tronçon du Rhin aux Pays-Bas, en recourant à un ensemble de modèles hydrologiques, morphologiques, de végétation et d'habitat et au GIS. Elle a permis d'analyser l'impact à long terme de l'interaction entre les mesures et les processus naturels (de sédimentation, d'érosion et écologiques) sur les niveaux d'eau et la qualité écologique de l'eau des plaines inondables.

Projet 8 – Évaluation de stratégies de gestion des plaines inondables : valeur ajoutée de la réhabilitation des marécages
Mots-clés : rétention d'eau, rétention de nutriments, valeur de l'eau, dénitrification, marécages inondables.
Objectif : évaluer l'effet bénéfique des marécages sur la réduction des risques d'inondation et l'amélioration de la qualité de l'eau.
Méthode : l'étude comprenait deux parties : A) évaluer la contribution des marécages inondables à la réduction du risque d'inondation ; un concept a été défini pour savoir si la position d'un marécage dans un bassin versant – en amont ou en aval – avait une influence sur la valeur du marécage en termes de capacité de réduction des dommages provoqués par les crues. B) évaluer si l'accroissement des zones de plaines inondables en aval – et plus particulièrement la réhabilitation des pâturages agricoles en marécages inondables – peut accroître la rétention de nutriments.

Projet 9 – Intermeuse : reconnexion de la Meuse
Mots-clés : gestion intégrée des eaux, réhabilitation du patrimoine naturel, cohésion de l'aménagement du territoire, évaluation physique de l'habitat.
Objectif **:** fournir des solutions sur la façon d'optimiser la protection contre les inondations le long de la Meuse peut très bien être combiné à une réhabilitation durable de l'écosystème des plaines inondables – l'accent étant mis sur les aspects de la planification du territoire.
Méthode : une méthode d'évaluation a été mise au point et testée. Deux niveaux d'échelle ont été élaborés auxquels la protection contre les inondations et la réhabilitation des plaines inondables peuvent être intégrées : 'global' pour le bassin versant ou 'local' pour un site spécifique. Les aspects écologiques étudiés étaient la cohésion de l'aménagement du territoire et la configuration de l'habitat (niveau global) et la qualité de l'habitat (niveau local). Sur la base des résultats des analyses conduites, une approche d'intégration a été développée ; elle peut être utilisée à diverses étapes du cycle de planification : divers arsenaux d'outils pour la phase de planification et l'évaluation effective, et directives sur la façon d'utiliser ces outils dans la pratique.

Projet 11 – BIO-SAFE
Mots-clés : écosystèmes fluviaux, évaluation de la biodiversité, politique de conservation du patrimoine naturel et législation.
Objectif : réaliser un outil d'évaluation de l'impact des mesures de prévention des crues sur la biodiversité des plaines inondables.
Méthode : le modèle international BIO-SAFE (Spreadsheet Application For Evaluation of BIOdiversity) pour les fleuves Rhin et Meuse, est un modèle d'évaluation basé sur la politique mise en œuvre et la législation en vigueur visant à quantifier la valeur de la biodiversité dans les bassins versants pour plusieurs groupes taxonomiques sur la base de l'état officiel des espèces fluviales caractéristiques. Le modèle exploite les données disponibles pour les espèces et les unités écologiques des paysages fluviaux (écotopes) pour diverses échelles d'aménagement. Il donne des informations sur le degré auquel les caractéristiques de la plaine inondable ou ses tendances observées (ou prévues) concordent avec les objectifs définis dans les accords (internationaux).

Résumés de projets mettant l'accent sur les aspects 'gestion des risques d'inondation et aménagement du territoire'

Projet 4 – DSS - Large Rivers et analyse des options de rétention sur le cours inférieur du Rhin
Mots-clés : DSS (Decision Support System), gestion du risque d'inondation, zone de stockage des crues.
Objectif : fournir un appui à la prise de décision concernant les mesures de contrôle des eaux de crue sur le cours inférieur du Rhin, en prenant en considération les conséquences hydrauliques, paysagères et écologiques.
Méthode : un système générique d'appui à la prise de décisions (DSS / Decision Support System) a été développé pour supporter la planification et l'évaluation des paysages fluviaux – l'accent étant mis sur les options de zones de rétention et de stockage des eaux de crue sur le cours inférieur du Rhin. Les effets de telles options sont considérés au regard de leur degré de faisabilité, non au niveau du détail de leur conception. Outre des modules informatisés 1D et 2D pour l'évaluation de l'impact hydraulique et écologique, le DSS renferme également un système de gestion de l'information facilitant l'accès à la documentation correspondante et un système fonctionnant à partir d'une base de données dans lequel figurent les résultats d'analyses antérieures. Une attention spéciale est accordée à l'intégration de la modélisation hydrodynamique avec l'analyse écologique et de l'habitat, l'évaluation de réseau et l'évaluation du paysage.

Projet 5 – Aménagement du territoire et instruments supportant une gestion préventive des crues
Mots-clés : aménagement du territoire, planification régionale, zonage des risques, collaboration interrégionale, partage des tâches, gestion de l'information, gestion des risques, sensibilisation de l'opinion publique.
Objectif : formuler des recommandations pour optimiser l'utilisation des instruments d'aménagement (et d'utilisation) du territoire afin de gérer les risques d'inondation, pour les organismes européens, nationaux, régionaux et locaux chargés de l'aménagement du territoire.
Méthode : deux groupes d'instruments d'aménagement du territoire ont été étudiés en Suisse, en France, en Allemagne et aux Pays-Bas : 'instruments de zonage' (instruments réglementaires de planification régionale, zonage des dangers) et instruments de support 'doux' (collaboration, mesures d'incitation, gestion de l'information). Les similarités et différences ont été analysées, et des recommandations ont été formulées pour A) mieux utiliser les instruments réglementaires existants et B) améliorer les réglementations.

Projet 10 – Vivre avec les crues
Mots-clés : gestion des risques d'inondation, occupation multiple du sol, Rhin, gestion de bassin versant, résilience, développement durable, planification de l'occupation du sol.
Objectif : concevoir et évaluer des stratégies alternatives de gestion des risques d'inondation pour le cours inférieur du Rhin applicables à long terme (50 à 100 ans) et mieux prendre en considération les incertitudes inhérentes aux fleuves de plaine. À cet égard, l'objectif est plus de favoriser la résilience que le contrôle (résistance), et d'accorder une attention particulière aux options d'occupation multiple du sol.
Méthode : deux stratégies différentes ont été élaborées, basées sur le principe de résilience et de vie avec les crues : 'compartimentation' pour contrôler les crues et aménagement de 'rivières vertes' pour permettre l'écoulement. Il s'est avéré que ces stratégies alternatives présentaient de nombreux avantages du point de vue de la durabilité, mais qu'elles étaient difficiles à mettre en œuvre.

Projet 13 – STORM-Rhine - outil de simulation pour la gestion des eaux fluviales
Mots-clés : jeu de simulation, jeu de rôle, participation à la prise de décision, fonctions fluviales, intérêts des parties impliquées.
Objectif : réaliser un jeu de simulation étant à la fois un outil pouvant améliorer la compréhension de la gestion des cours d'eau et des plaines inondables chez les décideurs et les parties intéressées dans les régions riveraines du Rhin moyen et inférieur. Pour y parvenir, il est fait appel à (1) une meilleure prise de conscience des fonctions fluviales, (2) l'exploration de stratégies alternatives, (3) la mise en évidence de liens entre les processus naturels, l'aménagement du territoire, les interventions de l'ingénierie, les fonctions fluviales et les intérêts des parties impliquées, (4) la promotion d'un débat entre les différents décideurs et les parties intéressées dans le bassin rhénan.
Méthode : cet outil s'articule autour du module hydraulique qui calcule les niveaux représentatifs de hautes et basses eaux pour les divers scénarii hydrologiques et influencés par les mesures techniques prises au niveau du fleuve et par la planification physique dans les plaines inondables. Les niveaux d'eau sont traduits en risques d'inondation, en potentiel de navigation, en développement naturel et en possibilités d'occupation du sol des plaines inondables. Les acteurs du jeu de rôle représentent les institutions détenant des intérêts dans les diverses fonctions (protection contre les inondations, navigation, agriculture, expansion urbaine, mines et nature).

Glossaire de termes techniques utilisés dans le rapport IRMA-SPONGE

GLOSSAIRE de termes liés à la gestion des risques d'inondation, avec traduction en néerlandais, allemand et français

*Le présent glossaire fournit une explication des termes tels qu'ils sont utilisés dans le présent résumé, et n'a pas pour ambition de 'standardiser' les termes. Dans certains cas, plusieurs explications ou traductions peuvent être fournies.**

English	***Dutch***	***German***	***Français***
alluvial plain: flat area shaped by river processes and formed by river sediments.	alluviale vlakte	alluviales Flachland	Plaine alluviale
attenuation (flood peak-): lowering a flood peak (and lengthening its base).	hoogwatervervlakking	Hochwasserverflachung	Atténuation du pic de crue
basin (river-) (*same as catchment area*): the area from which water runs off to a river.	stroomgebied	Einzugsgebiet	Bassin
biodiversity: the variability among living organisms; this includes diversity within species, between species and of ecosystems.	biodiversiteit	***Artenvielfalt***	Biodiversité
catchment area (river-) (*same as river basin*): the area from which water runs off to a river	stroomgebied	Einzugsgebiet,	Bassin versant
channel (river-): main watercourse.	stroomgeul (hoofd-)	Hauptrinne	Lit
climate change scenario: prediction of expected long-term developments in climate, i.e. in the average temperature, rainfall and wind speed, and in the variation therein.	klimaatveranderings scenario	Klimaveränderungs-szenario	Scénario de changement climatique
compartmentalisation (*Dutch concept*): dividing a dike-protected area into smaller protected areas.	compartimentering	Untergliederung	Compartimentation
cyclic rejuvenation: periodic floodplain lowering (through excavation), setting back morphological and ecological processes to an earlier stage of development.	cyclische verjonging	zyklische Verjüngung	Rajeunissement cyclique
design discharge: flood discharge for which the river system (channels, dikes, structures) was designed.	onwerpafvoer	Entwurfswassermenge	Écoulement prévu
design flood: flood level for which the river system (channels, dikes, structures) was designed.	ontwerphoogwater	Bemessungshochwasser	Crue de calcul
detention area (*term used mainly in The Netherlands*): area for controlled storage of floodwater for 'peak shaving', usually in an area surrounded by dikes, with a controlled inlet/outlet for river water. The difference with 'retention' is that detention is more effective in storing water only during peak discharges, without being filled (and losing space for further storage) during early stages of floods, and without releasing water as soon as river levels drop. *Note that the terms detention and retention are sometimes used for the same concept, and that the term 'detention' is not universally accepted.*	detentiegebied	Gebiet zur gesteuerten Retention/Wasserspeicherung, (Taschenpolder, Rückhalteraum)	Zone de stockage des (eaux de) crues
dike relocation: moving a dike away from the river in order to provide more space for the river water during floods.	dijkverlegging	Deichrückverlegung,	Déplacement de digues
discharge (stream-, river-) (*same as flow*): as measured by volume per unit of time.	rivierafvoer, debiet	Abflussmenge	Débit, écoulement
downstream (-area): situated relatively close to the outlet of a river basin.	benedenstrooms	Stromabwärts	(en) aval
ecological infrastructure: system of linkages between habitat patches.	ecologische infrastructuur	Ökologische Infrastruktur	Infrastructure écologique
ecotope: spatial ecological unit with (more or less-) uniform abiotic site conditions - location of an ecosystem.	ecotoop	Ökotop	Écotope

English	***Dutch***	***German***	***Français***
evacuation scheme: plan for the combination of actions needed for evacuation (warning, communication, transport etc.).	evacuatieplan	Evakuierungsplan	Plan d'évacuation
flood (1): high river discharge.	hoogwaterafvoer	Hochwasserabfluß	Crue
flood (2): high water level.	hoogwater	Hochwasser	Montée des eaux
flood (3): inundation of land.	overstroming	Überschwemmung	Inondation
flood damage: damage to investments (buildings, infrastructure, goods), production and intangibles (without direct monetary value: life, cultural and ecological assets).	overstromingsschade	Hochwasserschaden	Dommages provoqués par les crues / inondations
flood control (-measure): *usually understood as* a set of actions aiming to limit the (potentially) flooded area as much as possible.	hoogwaterbeheersing	technischer Hochwasserschutz	Contrôle des crues
flood discharge: flow during a flood event.	hoogwater afvoer	Hochwasserabfluß	Écoulement des eaux de crue
flood early warning system (FEWS): suite of systems designed to provide a warning of flood levels well before they occur: A) flood forecasting system, B) warning system	hoogwater waarschuwingssysteem	Hochwasserwarnsystem	Système d'avertissement précoce des crues
flood flow (*same as* flood discharge): flow during a flood event.	hoogwater afvoer	Hochwasserabfluß	Écoulement des eaux de crue
flood forecasting system: suite of models designed to provide an early prediction of flood discharges: A) hydrological models (converting precipitation to discharge); B) hydraulic models (predicting channel discharge and wave propagation).	hoogwater voorspellings systeem	Hochwasservorhersage-system	Système de prévision des crues / inondations
flood hazard map: map with the predicted or documented extent of flooding, with or without an indication of the flood probability.	kaart van overstroombaar gebied	Karte der überschwemmungs-gefährdeten Bereiche.	Carte des zones menacées par les crues / inondations
flood level: water level during a flood.	hoogwaterstand	Hochwasserstand	Niveau des eaux de crue
flood peak: highest water level during a flood.	hoogwaterpiek	Hochwasserspitze	Pic de crue
flood peak shaving: storing only the top of a flood wave, by 'detention' (or 'controlled retention'). Flood water is not allowed in the storage area until water levels are high. The effect it that the flood peak is lowered more than in the case on 'attenuation' in 'retention areas'.	aftopping van hoogwaterpiek	'Abschneiden' der Spitze der Abflusswelle	Écrêtement du pic de crue
floodplain: part of alluvial plain (formed by river sediments) which is still regularly flooded.	uiterwaard, overstromingsvlakte	Flussvorland	Plaine inondable / d'inondation
flood prevention: actions to prevent the genesis of an extreme discharge peak.	voorkoming van hoogwaterafvoer	Hochwasserprävention	Prévention des crues
flood protection (-measure): to protect a certain area from inundation (using dikes etc).	hoogwaterkering, bescherming tegen hoogwater	Hochwasserschutz	Protection contre les inondations
flood risk: function of both probability of flooding, and potential damage due to flooding *(this is **not** the probability or 'danger' of flooding!)*	overstromingsrisico	Hochwasserrisiko	Risque de crue / d'inondation
flood risk management: totality of actions involved in reducing the flood risk - the aim can be to reduce the probability, the damage, or both.	hoogwater risico beheer	Management des Hochwasserrisikos	Gestion du risque de crue / d'inondation
flood risk zoning: delineation of areas with different possibilities and limitations for investments, based on flood hazard maps.	hoogwater risico …?	Risikozonierung	Zonage des risques de crue
flood routing: calculation (or modelling) of the movement (propagation) of a flood wave through the river channel.	hoogwaterberekening	Hochwasserberechnung	Calcul du trajet de la crue
flood wave: high water volume moving downstream through a river channel.	hoogwatergolf	Hochwasserwelle	Vague de crue, onde de crue

English	***Dutch***	***German***	***Français***
flow (stream-, river-): A) *same as* discharge, as measured by volume per unit of time, B)*:* movement of water *(not used in this summary).*	A) afvoer B) stroming	A) Abfluß(-menge), B) Strömung	Débit, courant
FRM: abbreviation for flood risk management	-	-	-
green river (*Dutch concept*): an additional channel (constructed through presently dike-protected area) which increases the discharge capacity of the river system during high waters.	groene rivier	'Grüne Flüsse', Umflußkanal	Rivière verte
habitat: natural environment of an organism. Also: the set of (riverine) ecotopes that a species can utilise during the various stages of its life cycle.	habitat, leefgebied	Habitat	Habitat
hazard (flood-): specific natural event, such as a flood, with the potential to cause damage characterised by a certain probability of occurrence and an intensity.	(overstromings-)gevaar	(Überschwemmungs-) Gefahr	Danger
headwater: source area for a stream, i.e. highest area in a river basin.	brongebied	Quellgebiet	Cours amont
hydrological model: model that simulates the conversion of precipitation into channel flow (there are several fundamentally different types).	hydrologisch model	Hydrologisches Modell	Modèle hydrologique
hydraulic model: model which simulates water movement through a channel.	hydraulisch model	Hydraulisches Modell	Modèle hydraulique
inundation: flooding of land with water.	overstroming	Überschwemmung	Inondation
measure (flood risk management-): measure that can be used as part of FRM.	maatregel	Maßnahme	Mesure
modelling (hydrological-, hydraulic-, habitat-): simulation of natural processes and conditions, using a computer program	modelleren	Modellierung	Modélisation
nature rehabilitation: allowing or enhancing natural processes.	natuurherstel	Renaturierung	Réhabilitation naturelle, renaturement
peak flow / flow peak: highest discharge during a flood.	piekafvoer	Spitzenabfluß	Pic de crue
precipitation: rainfall plus snowfall.	neerslag	Niederschlag	Précipitations
resilience (-flood risk strategy): consistent set of measures aiming to minimise the effects of floods, rather than to control (resist) them.	veerkracht	Dehnfähigkeit	Résilience
retention (flood water-): temporary, uncontrolled, storage of flood waters, in a basin (sometimes a wetland) which is open towards the river. *Note that this term is not universally accepted, e.g. in 'Anglosaxon' areas it can be understood as 'seasonal storage of water', and in Europe it is sometimes used for what is called 'detention' in this summary.*	retentie	Retention	Rétention, retenue
retention area: area in which water is stored.	retentiegebied	Retentionsgebiet	Zone de rétention / retenue
river regulation: adapting (e.g. straightening, widening, deepening) a river (or part of it).	rivierregulatie	Flußregulierung	Régulation fluviale
runoff: the part of precipitation that appears as streamflow.	afstroming	Abfluß	Ruissellement des précipitations
scenario (flood risk-): a sequence of expected *autonomous* events which have an impact on flood risk but can not (at the moment) be influenced directly by flood risk management (though FRM aims to respond to scenarios with strategies). Events shaping scenarios may be: (A) 'natural' (e.g. climate change), (B) caused indirectly by human intervention (e.g. land use change in the catchment), (C) the direct result of social changes (e.g. trends in valuation of flood losses), (D) or result from economic changes (e.g. progressive investments in floodplains).	scenario	Szenario	Scénario

English	*Dutch*	*German*	*Français*
Side channel: secondary channel through the floodplain.	nevengeul	Seitenrinne	Lit secondaire, lit parallèle, bras
spatial planning: decisions and regulations aiming to regulate and optimise the use of space for different functions.	ruimtelijke ordening	Raumplanung,	Aménagement du territoire
stakeholders: parties with a direct interest (stake) in an issue.	belanghebbenden	Interessengruppen	Parties intéressées
strategy (flood risk management-): consistent set of measures, developed to achieve a certain goal - often responding to a scenario.	strategie	Strategie	Stratégie
sustainable flood risk management strategy: strategy which aims to A) be effective in the long term, and B) can be combined ('integrated') with other functions - usually summarised as economic, social and ecological development.	duurzaam	nachhaltig	Durable
uncertainty analysis: determining the accuracy of a (modelling) result. A measure of the accuracy is needed to judge the fitness of a value as a basis for making decisions.	onzekerheidsanalyse	Unsicherheitsanalyse	Analyse des incertitudes
upstream (-area): situated relatively close to highest parts of a river basin.	bovenstrooms	stromaufwärts	(en) amont
winterbed (*Dutch term, sometimes same as major bed or floodplain*): area between the dikes, across a river, consisting of the channel plus the floodplains.	winterbed, hoogwaterbed	Flußbett, Hochwasserbett	Lit majeur

*L'amélioration de la gestion des risques d'inondation à l'échelle de tout un bassin dépend impérativement de la qualité de la communication entre experts et décideurs. Pour ce faire, ils doivent bien comprendre les termes techniques qu'ils utilisent mutuellement. À la faveur du Programme IRMA-SPONGE, force fut de constater que ce n'était pas toujours le cas, pour diverses raisons :
Certains concepts ne sont utilisés et connus que dans certaines langues et sont difficiles à traduire - les traductions 'littérales' donnent souvent une signification très différente.
Même parmi un groupe de locuteurs de même langue maternelle, la différence de formation ou de parcours professionnel fait que des experts ne comprennent pas toujours un terme de la même façon.
La 'gestion des risques d'inondation' est une spécialité relativement récente et très vaste (et multidisciplinaire). Les concepts et termes nouveaux apparaissent et évoluent constamment.

Le présent glossaire a pour but d'assurer que les termes principaux utilisés dans le rapport concis du Programme IRMA-SPONGE soient compris par tous les lecteurs. Il n'a pas pour ambition de 'standardiser' les termes liés à la gestion des risques d'inondation (bien qu'une telle standardisation soit assurément nécessaire), mais d'expliquer les termes tels qu'ils sont utilisés dans le présent Rapport - étant entendu qu'il existe vraisemblablement des explications plus précises et plus complètes. L'explication complète des termes n'est fournie qu'en anglais. En néerlandais, en allemand et en français, seule la traduction du terme est indiquée. L'explication et les traductions sont basées sur A) les définitions fournies par les dictionnaires techniques, B) la compréhension de l'auteur, C) les contributions des participants au Programme IRMA-SPONGE.