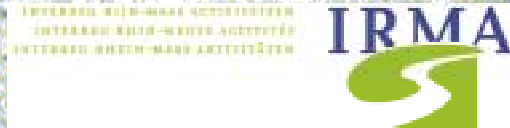




DG XIII
Innovation program

DG XVI
INTERREG IIC



1ère JOURNÉE DE L'HYDROLOGIE

Progrès scientifiques récents dans l'étude des crues

COMPTE-RENDU



MINISTÈRE WALLON DE
L'ÉQUIPEMENT ET DES
TRANSPORTS



Direction générale des Voies hydrauliques



Service d'Études Hydrologiques

Ministère wallon de l'Équipement et des
Transports (MET)

Boulevard du Nord, 8
B-5000 NAMUR

Mardi 27 juin 2000
Centre Administratif du -MET - Auditoire Vifquain

1 Programme de la journée

9h00 : [Accueil des participants par Ir B. FAES](#) (Directeur général des Voies hydrauliques - MET)

9h30 : [Introduction par Ir J. LAURENT](#) (I.G. Voies hydrauliques - MET, Président (F) CNB-PHI)

9h45 : SESSION 1 : WAMM - Animateurs : Eng. A. PRETNER et Prof. S. DAUTREBANDE

“WAMM - WAter Management Model”

[Project overview](#) (Eng. A. PRETNER - SGI)

[Intégration de l'utilisation des images satellitaires radar dans le projet WAMM](#) (Ir B. HANQUET – FUSAGx)

[Mike 11 enhancement](#) (Eng. T IHLY - DHI)

[Lesse, Dendre, Meuse pilot studies](#) (Eng. M. GONELLA – HYDRODATA)

[Tagliamento pilot study](#) (Eng. L. SAINZ - SGI)

[Discussion](#)

11h00 : Break

11h30 : SESSION 2 : IRMA - Animateur : Ir P. DEWIL

[IRMA : “INTERREG Rhine Meuse Activities” : soutien à de nouveaux développements de WACONDAH](#) (Ir P. DEWIL - SETHY - Voies hydrauliques - MET)

[Techniques récentes de reconnaissance des lits mineurs et majeurs](#) (Ir M. THUNUS - SETHY - Voies hydrauliques - MET)

Modèles de prévision des crues en temps réel :

[HYDROMAX](#) (Prof. G. BASTIN - Ir L. MOENS - UCL - CESAME)

[HYDROAXE](#) (Prof. Y. ZECH - Ir C. ADRIAENSEN - UCL - Service d'Hydraulique)

[Discussion](#)

13h00 : [Lunch](#)

14h30 : SESSION 3 : IRMA - MOHICAN - Animateur : Ir J. SMITZ

Modèle hydrologique intégré MOHICAN

[Objectifs et module “superviseur”](#) (Ir J. SMITZ - ULG - CEME)

[Module “sol”](#) (Prof. S. DAUTREBANDE - FUSAG)

[Module “eaux souterraines”](#) (Prof A. MONJOIE - Dr J-C MARECHAL - ULG - LGIH)

[Module “eaux de surface”](#) (Prof. A. LEJEUNE et M. PIROTON – Ir P. ARCHAMBEAU - ULG - LHD)

[Discussion](#)

15h30 : SESSION 4 : QUELQUES AUTRES PROJETS - Animateur : Prof. E. PERSOONS

[Projet ADALI](#) (Ir D. de THYSEBAERT - DGRNE - MRW / Prof. E. PERSOONS - UCL - GERU)

[Premiers résultats du modèle SCHEME](#) (E. ROULIN - IRM)

[Discussion](#)

16h15 : [Conclusion de Ir J. LAURENT](#) - Drink de clôture

Langues de travail : français et anglais (traduction simultanée)

2 Liste des participants

	NOM	ORGANISME	ADRESSE	
Mr C.	ADRIAENSEN	Université Catholique de Louvain (LGC)	Place du Levant, 1 - Bât. Vinci	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mr H.C.	AMMENTORP	Danish Hydraulic Institute	Agern Allé 11	DK-2970 HORSHOLM
Mr P.	ARCHAMBEAU	Université de Liège (LHD)	Quai Banning,6 - Bât C2	B-4000 LIEGE
Mr J.	BANDY	Katholieke Universiteit Leuven (Hydraulics Laboratory)	De Croylaan, 2	B-3001 HEVERLEE
Mr F.	BARUFFI	Autorità di Bacino Alto Adriatico	Dorsoduro, 3593	I-30123 VENEZIA
Mr G.	BASTIN	Université Catholique de Louvain (CESAME)	Av. G. Lemaitre, 4-6 - Bât. Euler	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mr G.	BERTRAND	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (D.213)	Laboratoire de Recherches Hydrauliques - Rue de l'Abattoir, 164	B-6200 CHATELET
Mr C.	BIELDERS	Université Catholique de Louvain (GERU)	Place Croix du Sud, 2 - bte 2	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mr F.	BROUYAUX	Institut Royal Météorologique de Belgique	Avenue Circulaire, 3	B-1180 BRUXELLES
Mr X.	COCU	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (SETHY)	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr A.	DASSARGUES	Université de Liège (LGIH)	Bâtiment B19, Sart Tilman	B-4000 LIEGE
Mme S.	DAUTREBANDE	Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux	Passage des Déportés, 2	B-5030 GEMBLoux
Mme L.	DELBEKE	Institut Royal Météorologique de Belgique	Avenue Circulaire, 3	B-1180 BRUXELLES
Mr J-F	DELIEGE	Université de Liège (CEME)	Bâtiment B5, Sart Tilman	B-4000 LIEGE
Mr G.	DEMAREE	Institut Royal Météorologique de Belgique	Avenue Circulaire, 3	B-1180 BRUXELLES
Mme S.	DERASSE	Institut Royal Météorologique de Belgique	Avenue Circulaire, 3	B-1180 BRUXELLES
Mr D.	de THYSEBAERT	Ministère de la Région Wallonne (DGRNE)	Avenue Prince de Liège, 15	B-5100 NAMUR

Mr P.	DEWIL	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (SETHY)	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr E.	EVERBECQ	Université de Liège (CEME)	Bâtiment B5, Sart Tilman	B-4000 LIEGE
Mr B.	FAES	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (DG.2)	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr C.	FAQUE	Gouvernement province de Namur	Palais provincial - Place Saint-Aubain, 2	B-5000 NAMUR
Mr M.	FERRI	Autorità di Bacino Alto Adriatico	Dorsoduro, 3593	I-30123 VENEZIA
Mr M.	GONELLA	HYDRODATA	Via Pomba, 23	I-10123 TORINO
Mr J.	HACOURT	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (D.251)	Rue Canal de l'Ourthe, 9/1	B-4031 ANGLEUR
Mr G.	HAESSEN	Commission Européenne - DG Entreprise - Direction C2	EUROFORUM BUILDING - Rue Robert Stümper, 10	L-2557 LUXEMBOURG
Mr P.	HANG	Université Catholique de Louvain (GERU)	Place Croix du Sud, 2 - bte 2	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mr B.	HANQUET	Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux	Passage des Déportés, 2	B-5030 GEMBLoux
Mr T.	IHLy	Danish Hydraulic Institute	Agern Allé 11	DK-2970 HORSHOLM
Mme C.	LAMALLE	Ministère de la Région Wallonne (DGATLP)	Rue des Brigades d'Irlande, 1	B-5100 NAMUR
Mr J.	LAURENT	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (DG.2)	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr A.	LEJEUNE	Université de Liège (LHD)	Quai Banning,6 - Bât C2	B-4000 LIEGE
Mr J-L	LIBOTTE	Ministère wallon de l'Equipement et des Transports (DG.2)	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr JC	MARECHAL	Université de Liège (LGIH)	Bâtiment B19, Sart Tilman	B-4000 LIEGE
Mr R.	MICHEL	Ministère de la Région Wallonne (DGATLP)	Rue des Brigades d'Irlande, 1	B-5100 NAMUR
Mr L.	MOENS	Université Catholique de Louvain (CESAME)	Av. G. Lemaitre, 4-6 - Bât. Euler	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mr A.	MOENS	Port de Bruxelles	Place des Armateurs, 6	B-1000 BRUXELLES
Mr A.	MONJOIE	Université de Liège (LGIH)	Bâtiment B19, Sart Tilman	B-4000 LIEGE
Mme D.	NIELSEN	HYDRODATA	Via Pomba, 23	I-10123 TORINO

Mr C.	PAQUET	Groupe de Travail pour la prévention des Inondations dans le bassin de la Meuse	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr E.	PERSOONS	Université Catholique de Louvain (GERU)	Place Croix du Sud, 2 - bte 2	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mme M.	PIRNAY	Contrat de rivière Sambre (IGRETEC)	Aéropole, Av. Jean Mermoz, 30	B-6041 GOSELIES
Mme C.	PIRONET	Contrat de rivière Ourthe	Rue de le Laiterie, 5	B-6941 TOHOGNE
Mr M.	PIROTON	Université de Liège (LHD)	Quai Banning,6 - Bât C2	B-4000 LIEGE
Melle D.	POPA	Katholieke Universiteit Leuven (Hydraulics Laboratory)	De Croylaan, 2	B-3001 HEVERLEE
Mr C.	POUSSIÈRE	Ministère de la Région Wallonne (DGATLP - Cellule "Aménagement-Environnement")	Rue des Brigades d'Irlande, 1	B-5100 NAMUR
Mr A.	PRETNER	Societa Generale di Ingegneria SpA	Via della Provvidenza,15	I-35030 SARMEOLA DI RUBANO (PADOVA)
Mr F.	PROVOST	Aquafin NV	Dijkstraat 8	B-2630 AARTSELAAR
Mr A.	QVICK	Katholieke Universiteit Leuven (Hydraulics Laboratory)	De Croylaan, 2	B-3001 HEVERLEE
Mme C.	RAMELOT	Université Catholique de Louvain (GERU)	Place Croix du Sud, boite 2	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mr J-B	RICHET	Contrat de rivière Semoy	Chemin de la fontaine - Nohan-sur-Semoy	F-08800 THILAY
Mr E.	ROULIN	Institut Royal Météorologique de Belgique	Avenue Circulaire, 3	B-1180 BRUXELLES
Mme V.	RYPENS	Aquafin NV	Dijkstraat 8	B-2630 AARTSELAAR
Mme D.	SACCHIERO	Societa Generale di Ingegneria SpA	Via della Provvidenza,15	I-35030 SARMEOLA DI RUBANO (PADOVA)
Mr L.	SAINZ	Societa Generale di Ingegneria SpA	Via della Provvidenza,15	I-35030 SARMEOLA DI RUBANO (PADOVA)
Mr G.	SCHLEICH	Service National de la Protection Civile (Direction)	Rue Robert Stümper, 1	L-2557 LUXEMBOURG
Mr J.	SMITZ	Université de Liège (CEME)	Bâtiment B5, Sart Tilman	B-4000 LIEGE
Mr P.	SWARTENBROEKX	Aquafin NV	Dijkstraat 8	B-2630 AARTSELAAR

Mr A.	TILMANT	Université Catholique de Louvain (GERU)	Place Croix du Sud, 3	B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
Mme M.	THUNUS	Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (SETHY)	CA-MET - Boulevard du Nord, 8	B-5000 NAMUR
Mr O.	THUNUS	CRIE AgriTerroir	Horritine, 1	B-6600 MICHAMPS
Mr B.	TYCHON	Fondation Universitaire Luxembourgeoise	Avenue de Longwy, 185	B-6700 ARLON
Mr P-Y	VALANTIN	Navigation du Nord-Est - Cellule Planification du Risque Inondation	Bv Albert 1er, 28	F-54000 NANCY
Mr P.	VANDER BORGHT	Contrat de rivière Semois (FUL)	Avenue de Longwy, 185	B-6700 ARLON
Mr. J.H.A	WIJBENGA	Rijkswaterstaat, Directie Limburg	Avenue Céramique, 125	NL-6200 MA MAASTRICHT
Mr Y.	ZECH	Université Catholique de Louvain (LGC)	Place du Levant, 1 - Bât. Vinci	B-1348 LOUVAIN LA NEUVE

3 Accueil des participants par Ir B. FAES

Message d'accueil

Ir B. FAES

Directeur général des Ponts et Chaussées
MET – D.G. des Voies hydrauliques

C'est avec beaucoup de plaisir que je vous accueille dans ces nouveaux locaux du Centre administratif du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports, où sont regroupés depuis fin 1999 les services centraux des Routes, des Voies hydrauliques, des Transports et des Services techniques.

Il y a une longue tradition en Belgique et en Wallonie qui veut que les problèmes d'aménagement et de gestion des voies hydrauliques et des barrages suscitent des vocations pour les études hydrologiques.

Aussi, en tant que Directeur général des Voies hydrauliques, ai-je été très favorable à l'organisation de cette 1^{ère} JOURNÉE DE L'HYDROLOGIE, dans laquelle je vois un signe tangible

- de l'esprit d'innovation et de progrès du monde scientifique en Wallonie
- et aussi d'une capacité de coopération internationale efficace dans ce domaine.

Je tiens particulièrement à remercier de leur présence

- Monsieur HAESSEN, de la Commission européenne
- les délégations italienne et danoise, partenaires du projet européen WAMM
- le président et les membres français, néerlandais et belges du GTIM (Groupe de Travail pour la prévention des Inondations dans le bassin de la Meuse)
- les membres d'unités universitaires, de l'IRM, de différents départements ministériels, de bureaux d'étude, de contrats de rivière, ...

Vous ne m'en voudrez pas d'arrêter là cette énumération et de ne pas vous lire les messages d'excuse et de sympathie des personnalités qui ne pourront être des nôtres aujourd'hui.

Je remercie le Service d'Études hydrologiques qui a assuré en un temps record l'organisation de cette journée.

Avant de passer la parole à M. Jacques LAURENT, Inspecteur général des Ponts et Chaussées à la Division des Études et des Programmes, Président (F) du Comité National belge pour le Programme hydrologique international, qui présidera cette réunion, je vous souhaite une journée fructueuse, enrichissante et néanmoins agréable.

4 Introduction par Ir J. LAURENT

EXPOSÉ INTRODUCTIF

Ir J. LAURENT

Inspecteur général des Ponts et Chaussées
MET – D.G. des Voies hydrauliques

Co-président (F) du Comité national belge pour
le Programme hydrologique international (CNB-PHI)

Les graves inondations de 1993 et 1995 ont sensibilisé la population, les médias et les décideurs à la problématique des crues en Europe occidentale. Les scientifiques eux étaient probablement sensibilisés depuis longtemps, du moins nous l'espérons.

Les ministres de l'Environnement des États de l'Union européenne (U.E.), riverains du Rhin et de la Meuse ont tracé les grandes lignes des actions à entreprendre dans la déclaration d'Arles du 4 février 1995. Leurs homologues compétents pour l'aménagement du territoire ont fait de même dans la déclaration de Strasbourg du 30 mars 1995. Dans les différents pays d'Europe, les initiatives se sont multipliées, parfois de façon très rapide et spectaculaire comme par exemple aux Pays-Bas. Les pays européens ont quitté les rives insouciantes de la collaboration occasionnelle et informelle et ont lancé leurs efforts dans l'organisation d'une véritable coopération.

C'est ainsi qu'à la demande de la Région Flamande et des Pays-Bas, la Région Wallonne prenait l'initiative de créer, avec les pays et régions riverains de la Meuse, le Groupe de Travail pour la prévention des inondations dans le bassin de la Meuse (GTIM) et acceptait d'en assumer le secrétariat et la première présidence. Tandis qu'un sous-groupe développait la réflexion sur les aspects scientifiques et techniques, un autre s'attachait à mettre au point le Plan d'Action inondations Meuse (P.A.M.) lequel était approuvé en avril 1998 dans le cadre de la déclaration de Namur signée par les ministres compétents.

Parallèlement, les études relatives aux impacts de changement climatique sur le cycle hydrologique se développaient en intégrant la problématique du développement durable (en Belgique, notamment sous l'impulsion des SSTC et de l'Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles).

Aujourd'hui nous avons voulu que des scientifiques d'unités universitaires et de services d'études, des gestionnaires de départements et de pays différents, des organes de concertation, se rencontrent dans une atmosphère décontractée, que les recherches dont beaucoup sont soutenues par des programmes européens, soient discutées, que les outils destinés à des services opérationnels, à des coopérations internationales, etc ... soient présentés dans leur état de mise au point. Cette journée d'information se veut à caractère scientifique mais sans prétention excessive car elle doit garder constamment la priorité aux aspects opérationnels.

J'espère qu'elle sera suivie d'autres qui la prolongeront ou qui seront consacrées à d'autres préoccupations pressantes des chercheurs et des praticiens de l'hydrologie. Elle sera principalement tournée vers des préoccupations et des projets wallons, mais avec une

participation importante de partenaires de plusieurs pays d'Europe, le soutien de grands programmes européens et surtout une large ouverture vers les expériences et les compétences de nos voisins et amis.

Nous aurons aujourd'hui le privilège, lors de la session n°1, d'assister à la présentation de WAMM (WATER Management Model), projet européen lancé par la DGXIII dans le cadre du « Programme innovation ». Je voudrais remercier vivement le groupe de scientifiques qui ont œuvré dans ce projet et en particulier son coordonnateur, M. PRETNER de la Societa Generale di Ingegneria, d'avoir accepté de présenter ici le résultat de leur travail, travail dont ils ont encore longuement discuté hier.

Je demanderai à Mme le Pr DAUTREBANDE, cheville ouvrière du programme en Belgique, d'animer en compagnie de M. PRETNER la présentation et la discussion du projet qui se veut notamment un outil de prévision de crue et d'aide à la décision en utilisant les techniques radar par satellite mais qui comprend également un volet « Global change » et un développement basé sur MIKE 11 et qui a fait l'objet d'études pilotes sur des bassins et avec des end users italiens et belges.

Après le break, nous assisterons aux présentations des sessions n°2 et 3 relatives à des projets qui sont soutenus par le programme européen IRMA (Interreg Rhine Meuse Activities) initié par la DGXVI de l'U.E. Il s'agit essentiellement de projets wallons destinés au bassin de la Meuse, présentés dans le « Plan d'Action inondations Meuse » et qui permettront d'améliorer encore les performances de WACONDAH, le système intégré de gestion hydrologique du SETHY (Service d'Études hydrologiques)

Avant le lunch, M. ir P. DEWIL, responsable du SETHY, animera la présentation et la discussion des exposés de la session n°2. Il précisera comment ces développements relatifs à des modèles coordonnés de prévision en temps réel des débits (HYDROMAX) et des hauteurs (HYDROAXE) et associés à une meilleure connaissance des lits mineurs et majeurs, s'intègrent dans WACONDAH.

Après le lunch, M. SMITZ, Directeur du Centre d'Étude et de Modélisation de l'Environnement de l'ULg (CEME), past président de la Commission Internationale pour la Protection de la Meuse (CIPM) animera avec 4 équipes universitaires wallonnes la session n°3 consacrée au modèle hydrologique intégré MOHICAN, également soutenu par le programme IRMA. S'il atteint ses promesses, ce modèle devrait constituer dans quelques années pour le gouvernement wallon et plusieurs de ses administrations mais aussi, s'ils le souhaitent, pour des régions et pays riverains, un outil de réflexion et d'aide à la décision dans plusieurs politiques jouant un rôle fondamental dans la lutte contre les inondations : aménagement du territoire, aménagement des fleuves et rivières, assainissement, pratiques agricoles et forestières, etc ...

Cependant, les études des crues qui nous intéressent ne sont pas limitées aux projets WAMM et IRMA. M. Pr PERSOONS de l'UCL animera la session n°4 consacrée à quelques études récentes. Nous entendrons quelques résultats de sa propre expérience notamment lors de l'étude ADALI pour le Service des Cours d'eau non navigables du Ministère de la Région wallonne ainsi que M. ROULIN de l'IRM qui parlera du modèle SCHEME utilisé dans le projet DAUFIN financé dans le cadre du FP5 de l'UE.

5 SESSION 1 : WAMM - Water Management Model

Animateurs : Eng. A. PRETNER et Prof. S. DAUTREBANDE

5.1 Project overview (Eng. A. Pretner – SGI)

- WAMM – Water Management Model
- Innovative approach to tackle flooding
- Partners
- How the river authorities will use WAMM ?
- What are the key points of WAMM ?
- Aims of the WAMM project
- WAMM structures
- Enhancement of existing flood forecasting systems
- Tagliamento site – Current monitoring systems
- Technology development
- SAR image principles
- SAR image processing (1, 2)
- Mike 11 Flood Forecasting
- Mike 11 development – WAMM module
- Pilot studies
- Lesse prototype pilot
- Tagliamento pilot
- Dendre pilot
- Climate change
- Dissemination of results

5.2 Intégration de l'utilisation des images satellitaires radar dans le projet WAMM (Ir B. Hanquet – FUSAGx)

- Utilisation des images SAR dans le projet WAMM
- La technologie radar
 - ↳ Caractéristiques du capteur radar
 - ↳ Retour du signal radar
 - ↳ Influence de l'humidité du sol
- Situation des zones d'étude pilotes
- Pré-traitement des images
- Première application : cartographie des inondations
 - ↳ méthodologie
 - ↳ Exemple d'application : la Lesse
 - ↳ Exemple d'application : le Tagliamento (étapes, résultats)
- Seconde application : évaluation de l'humidité du sol
 - ↳ Méthode
 - ↳ Application à la Lesse (1, 2)
 - ↳ Utilisation des images SAR
- Développement d'un logiciel

5.3 Mike 11 enhancement (Eng. T. Ihly – DHI)

- [Sommaire](#)
- Mike 11 – Prédiction de crue
 - ↳ Données nécessaires : précipitations et débits mesurés en temps réel, prévisions météorologiques
 - ↳ Prédiction de l'hydrogramme de crue
 - ↳ Représentation de l'inondation avec un outil SIG
 - ↳ Modules Mike 11 utilisés :
 - Pluie/débit NAM
 - Module hydrodynamique
 - Outil SIG de représentation cartographique
- [Système d'aide à la décision WAMM](#)
- Illustrations d'applications
 - ↳ Exemple du Tagliamento
 - Fond : Modèle Numérique de Terrain (+ parcours du cours d'eau et endiguements)
 - Calibrage du modèle à différents endroits le long du cours d'eau
 - Zoom sur une zone de travail
 - Superposition de la carte d'inondation issue de l'imagerie SAR
 - Superposition du résultat de la simulation Mike 11
 - Application d'un outil de détermination des zones communes
 - Analyse de la corrélation
 - Autre outil développé : comparaison entre la bathymétrie utilisée dans le modèle hydrodynamique et le MNT (source d'erreurs significatives)
 - Visualisation en 3 dimensions du MNT
 - Visualisation en 3 dimensions du MNT et de la simulation des zones inondées (erreur significative provenant du manque d'exactitude du MNT)
 - Visualisation en 3 dimensions du MNT et du résultat du traitement de l'imagerie SAR (+ représentation des endiguements)
 - Amélioration du MNT (mesures de terrain)
 - MNT original (+ simulation Mike 11 et résultats SAR)
 - MNT basé sur les profils en travers (+ simulation Mike 11 et résultats SAR)
 - ↳ Exemple d'un projet en République tchèque
 - MNT très détaillé
 - MNT avec cours d'eau et plaines d'inondation
 - MNT avec cours d'eau et infrastructures
 - Simulation d'une inondation (juillet 1997)
 - Observation de l'inondation
 - Exemple d'application de l'outil WAMM "surface commune "
- Conclusion

5.4 Lesse, Dendre, Meuse pilot studies (Eng. M. GONELLA – HYDRODATA)

- [WAMM lay-out](#)
- Soil moisture analysis – [Lesse catchment](#)
 - ↳ [Subcatchments, DTM, TC](#)
 - ↳ [Hydrological parameters from GIS analysis](#)
 - ↳ [Detailed Mike 11 network](#)

- ↳ Calibration through hydrological analysis
- ↳ Soil moisture evaluation from SAR
- ↳ Soil moisture in NAM
- ↳ SM(SAR) – SM(L,U) analysis
- ↳ Flooded areas analysis
 - DEM available for the Lesse river
 - Significance problems coupling HD results with the topography
- GIS data management of the Meuse river at Dinant
 - ↳ Aerolaser topography – Multibeam bathymetry
 - ↳ High accuracy of the data
 - ↳ Cross section data extraction from the DEM with the WAMM toolbox in Mike 11
 - ↳ Simulation of the 1993 flood event
 - ↳ Comparison with SAR images
- Hydraulic simulations with structures – Dendre catchment
 - ↳ Complete model set-up
 - ↳ Hydrodynamic model
 - ↳ Rainfall-Runoff model (1, 2)
 - ↳ Structure operation model
 - ↳ Results (1, 2)
- Conclusions

5.5 Tagliamento pilot study (Eng. L. Sainz – SGI)

- Description of the river basin
- Spatial distribution of yearly average rainfall
- Historic evolution of the lower course
- Activities
- Mike 11 – One dimensional model
- Hydrological modelling – Mike 11 NAM
- Development of the GIS
- Hydrological calibration – NAM
 - ↳ Data required
 - ↳ Results
- Hydrodynamic modelling – Mike 11 HD
- Calibration of Mike 11 HD
 - ↳ Current monitoring system
 - ↳ Flood events
 - ↳ Boundary conditions
 - ↳ Results
- Exploitation of the SAR imagery
- Flood mapping with Mike 11 GIS
- WAMM : calibration of the flooded areas
- Tagliamento basin – Climatic change scenarios
- Installation of small mobile sensors to measure river levels
- Test of forecasting floods – Mike 11 FF
- Conclusions

5.6 Discussion

Questions de Mr PERSOONS / UCL-GERU

- **Quelle est la fréquence de passage des satellites pour l'obtention des images SAR ?**
- **Comment mettre des images en temps réel à la disposition des utilisateurs ?**
- **Quelle est l'influence de la couverture du sol sur le signal radar pour la détermination de l'humidité ?**

Réponse de Mr B. HANQUET

- Avec le satellite actuel (ERS-2), la fréquence de passage est de ≈ 35 jours. Dans le futur, on disposera d'autres sources d'images (lancements de satellites prévus par le Canada et l'Inde) et on peut espérer une fréquence de passage de 5 jours.
- Influence de la couverture du sol : l'intérêt de la méthode est qu'on travaille avec des moyennes de pixels sur de grandes zones; il n'y a donc pas d'influence de la couverture du sol à cette échelle. Les effets des couvertures s'annulent dans la moyenne.

Réponse de Mme S. DAUTREBANDE

L'obtention des images est encore lente, mais il existe d'autres projets européens (notamment avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et MATRA Systèmes & Information) pour organiser des chaînes de transfert d'informations plus rapides.

Réponse de Mr P. DEWIL

L'utilisation de l'imagerie par satellite n'est pas ciblée vers le temps réel pur et simple. Mais en pré-crise, elle permet d'avoir une meilleure connaissance de l'humidité du sol (input supplémentaire pour les modèles de prévision temps réel) et en post-crise, de mieux déterminer l'étendue des inondations qui ont eu lieu. Pour travailler en temps réel, l'idéal serait un satellite géostationnaire; j'attire cependant l'attention sur le fait qu'un satellite ne peut pas anticiper l'inondation mais bien la constater !

Question de Mme LAMALLE / DGATLP-MRW

Peut-on me préciser la taille des pixels sur le terrain dans le cas des trois projets pilotes exposés ici, et plus spécialement en ce qui concerne la Région Wallonne ?

Réponse de Mr T. IHLY

Pour l'image SAR, la taille du pixel est de 12,5 x 12,5 m. Pour le reste, les modèles sont poussés à leurs limites : pour le Tagliamento, elle a été de 30 m. minimum, la limite admissible en matière de calcul ne pouvant dépasser 70 m. La version courante de MIKE 11 GIS est limitée à 250.000 points de calcul.

Question de Mr P-Y VALANTIN / Service Navigation - Nancy

Peut-on déduire de la réponse précédente que sur une image SAR la précision obtenue est de 12,5 x 12,5 m. (1 pixel) ? N'y a-t-il pas des problèmes d'effets de bord pour les faibles hauteurs d'eau ?

Réponse de Mr B. HANQUET

Théoriquement, on ne doit pas avoir trop d'effets de bord puisqu'on réalise une différence normalisée des images qui est ensuite classifiée avec des valeurs statistiques. On crée en fait

3 classes d'inondations ; on a donc des foyers d'inondation qui sont définis et on calcule une dilatation spatiale des zones. On doit donc avoir une précision des limites au pixel près.

Question de Mr C. POUSSIERE / DGATLP-MRW

Pour le Tagliamento, il s'agissait de l'étude d'un bassin hydrographique complet, mais la Lesse et la Dendre sont des affluents. A-t-on des résultats concernant l'importance des affluents sur le fleuve lui-même ?

Réponse de Mme S. DAUTREBANDE

Jusqu'à présent, il s'agit d'une étude pilote où on a choisi des morceaux de réseau hydrographique et on n'en est pas encore au développement en routine d'utilisation où on pourrait compléter les données vers l'aval. Le problème étant soulevé, ce qui limite la précision de l'information, c'est le Modèle Numérique de Terrain. Il convient donc d'y apporter certaines informations de base supplémentaires.

Question de Mr R. MICHEL / DGATLP-MRW

Concernant la Lesse, a-t-on tenu compte de la géologie karstique dans ces études ?

Réponse de Mme S. DAUTREBANDE

On n'a pas tenu compte de l'aspect « karst », car il s'agit ici d'un modèle orienté vers le temps réel (module NAM simplifié, simulation réalisée après calage) et ciblé vers la prévision des crues. L'influence en est moins importante. Mais on en tient compte dans des études analysant l'hydrologie de manière complète (ex. Mohican).

Questions de Mr J. LAURENT / DG.2-MET

- **L'utilisation du satellite radar pour la connaissance de l'humidité du sol est-elle opérationnelle pour une utilisation journalière ?**
- **Est-ce que le radar apporte vraiment un complément de précision ? Est-ce qu'il enrichit le modèle ?**
- **Serait-il intéressant de comparer les mesures d'humidité prises au sol aux données fournies par le radar et de lancer un grand programme dans ce sens ?**

Réponse de Mme S. DAUTREBANDE

Pour l'humidité du sol, oui, sauf en région montagneuse (ombrages). Un certain nombre de tests ont été réalisés sur des sous-bassins et n'ont pas mis de problèmes en évidence.

Le radar permet de caler le modèle (hydraulique ou hydrologique), de surveiller les zones sensibles plus efficacement. Quand il y aura des radars à fréquence de passage plus rapprochées, il augmentera l'efficacité des systèmes d'alerte (alerte précoce).

Un programme de comparaison (zones réparties sur l'ensemble de la région) permettrait de valider l'observation radar. La démarche serait profitable.

Questions de Mr C. POUSSIERE / DGATLP-MRW

Les données du radar peuvent-elles servir pour déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du sol sous l'aspect de l'agriculture ?

Réponse de Mme S. DAUTREBANDE

Ces études ont déjà été menées, y compris au moyen d'images satellites non radar, dans le cas des prairies, par exemple. On a pris en compte aussi l'aspect de modification de la végétation, et, en combinant, les aspects humidité et végétation sensible, on peut suivre les problèmes de sécheresse et identifier les zones ayant subi des dégâts importants. La méthode peut être opérationnelle, mais elle n'est pas encore passée dans le domaine public.

Conclusion de Mr A. PRETNER

Le projet de recherche comporte des résultats positifs et négatifs

Négatifs :

- Utilisation de trois satellites radar, une utilisation véritable en temps réel n'est pas possible, mais permet d'augmenter l'efficacité d'un modèle qui, lui, fait du temps réel.
- L'image satellite n'est pas utilisable en zones montagneuses (réflexions de l'onde radar). Une modélisation par laser altimétrique sera appliquée.
- Le modèle numérique de terrain disponible n'est pas suffisamment détaillé.

Positifs :

- Très bonne cohérence entre l'imagerie SAR et les grandes zones inondées, malgré un manque de précision sur les bords de l'image.
- Très bons résultats au point de vue de l'humidité du sol.
- Possibilité de commercialiser la technologie, par exemple vers les compagnies d'assurances, pour évaluer les zones ayant été inondées et les risques de dégâts plus importants.

6 SESSION 2 : IRMA - INTERREG Rhine Meuse Activities

Animateur : Ir P. DEWIL

6.1 Soutien à de nouveaux développements de WACONDAH (Ir P. Dewil – SETHY – Voies Hydrauliques – MET)

Je vais commencer par vous "replonger" dans [la genèse des inondations](#).

Je rappellerai tout d'abord que pour que des inondations aient lieu et soient éventuellement suivies d'une catastrophe, il faut avant tout des précipitations. Nous partons donc d'un aléa météorologique qui, associé à un bassin versant, va donner un aléa hydrologique, c'est-à-dire la production d'une crue, une augmentation de débit. Ces débits vont devoir s'écouler dans les lits mineurs et par la suite les lits majeurs des cours d'eau. Ils produiront ce que l'on appelle l'aléa inondation. Cet aléa inondation, jusque là, ne pose pas de problème en soi puisque la rivière va tout simplement prendre son cours naturel de période de crue. Malheureusement, les lits majeurs possèdent une certaine vulnérabilité (constructions, occupation du sol, ...). Donc, l'association de l'aléa inondation et de la vulnérabilité va donner un risque de dommages potentiels. En fonction de la manière dont la période de crise sera gérée, on découvrira le dommage réel après une période de catastrophes.

En réalité, l'homme n'a pas la possibilité d'intervenir de manière directe sur les "rectangles bleus". Par contre, sur les "rectangles rouges", il y a des moyens d'action et c'est un des objectifs du programme européen IRMA (Interreg Rhin Meuse Activités).

IRMA s'articule autour de trois thèmes : des actions dans le bassin hydrographique, des actions dans le lit majeur et, d'une manière plus générale, la gestion de crise et la connaissance approfondie du phénomène inondation.

[Le programme IRMA pour la Région Wallonne](#) est repris succinctement sur ce transparent. Je précise que l'ensemble du programme IRMA pour la Région Wallonne représente un investissement d'environ six millions d'Euros, pris en charge à raison de 50 % environ par l'Union européenne ; les autres 50 % étant inscrits au budget du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports.

En Région Wallonne, nous n'avons aucun projet concernant le thème 1. Concernant le thème 2, nous avons une série d'actions ponctuelles dans les lits des rivières. A savoir :

- la modernisation des barrages de la Haute Sambre,
- l'amélioration de la capacité d'écoulement de la Haute Meuse,
- un aménagement local de la Sambre à Merbes-le-Château.

Concernant le thème 3, qui reprend l'amélioration des connaissances et la coopération transnationale, nous avons quatre projets importants, qui vont être détaillés par la suite. Ces quatre projets sont tous des projets qui seront intégrés à WACONDAH, et je pense qu'il est utile de faire découvrir, ou redécouvrir pour certains, ce qu'est WACONDAH.

WACONDAH est l'acronyme de Water CONtrol DAta for Hydrology and water management. [WACONDAH est un système qui reprend une série de fonctionnalités primordiales dans la gestion hydrologique](#) :

- l'acquisition de données hydrométéorologiques,

- la prévision et la simulation,
- la supervision,
- la diffusion d'informations, notamment en période de crise.

L'ensemble des fonctions tourne autour d'un centre opérationnel qui est bien entendu informatisé et qui contient la base de données hydrologiques du Service d'Etudes hydrologiques (SETHY). Ce centre opérationnel tourne de manière automatique 24/24 h. Le programme IRMA nous a donné l'impulsion de continuer les développements de ce système WACONDAH déjà existant. Nous avons utilisé les aides financières pour développer les fonctionnalités d'acquisition, de prévision et de simulation. Voyons plus en détails chacun de ces aspects.

En ce qui concerne l'acquisition de données, nous disposons déjà d'un réseau que nous avons amélioré au cours des années. Voici le [schéma de WACONDAH](#) vu par la loupe "acquisition de données" ; nous faisons de l'acquisition de données de niveaux d'eau, de précipitations et nous rassemblons également des données de différents réseaux. Le SETHY possède son propre réseau mais est également connecté au réseau de la Division de l'Eau du Ministère de la Région Wallonne, au réseau Pameseb (Promotion de l'agrométéorologie dans le Sud-Est de la Belgique) et au réseau de contrôle des ouvrages d'art hydrauliques des voies navigables. L'ensemble de ces informations transite, la plupart du temps, par des lignes téléphoniques du réseau commuté, et accessoirement pour certaines stations, via la radio. Les informations se retrouvent dans la base de données centralisée où elles sont validées et disponibles pour une série d'opérations (simulation, prévision, ...).

Depuis le démarrage du programme IRMA, des modifications en matière d'acquisition de données ont été apportées à l'ancien WACONDAH. Nous avons renouvelé une série de stations. Il faut préciser qu'au sein du réseau, la première station a été installée en 1978. L'électronique ayant fait de grands progrès depuis lors, nous avons doté les stations de plus d'"intelligence". Toutes les stations sont à ultra faible consommation et sont capables de détecter localement des alarmes sur base de dépassement de niveau d'eau ou encore de dépassement de certaines valeurs de gradient, ainsi que de totaux pluviométriques.

Après la fonction d'acquisition, nous allons aborder les [fonctions de prévision et de simulation](#). Dans les deux cas, nous utiliserons des modèles hydrologiques. Dans le bas de ce transparent, vous retrouverez une série de modèles. Ceux situés du côté gauche sont des modèles essentiellement à fonctionnement en temps réel. Ceux du côté droit sont des modèles de simulation. Entre les deux, se trouvent des modèles (Mike 11, HEC) à caractère mixte.

Les modèles à fonctionnement uniquement temps réel ont seulement besoin d'informations météorologiques, de prévisions météorologiques, d'informations de hauteurs d'eau et de débits. Par contre, dès que nous passons dans la catégorie "modèles de simulation", nous avons également besoin d'informations du bassin versant. Certaines informations peuvent être acquises par satellite, mais également par des modèles numériques de terrain classiques ; le tout est regroupé dans un système d'information géographique, basé sur ArcInfo au SETHY et redistribué comme "input" pour différents modèles.

Nous avons déjà signalé quelle était l'importance de la connaissance topographique précise des lits mineur et majeur. Les développements d'IRMA vont nous permettre de mieux connaître nos rivières. Quand le projet sera terminé, nous aurons un nouveau MNT précis qui pourra être utilisé directement par le modèle hydraulique HYDROAXE et par le modèle Mike

11. Vous voyez donc à quel point les différents développements sont intégrés à WACONDAH. Le programme WAMM, dont il a été question précédemment n'est pas du tout en concurrence ou en double emploi avec les développements IRMA, mais au contraire, tout est parfaitement complémentaire.

En ce qui concerne l'aspect simulation, il fera l'objet de la troisième session de cette journée. Je ne m'attarderai, pour l'instant, qu'à l'aspect [prévision en temps réel](#). A l'heure actuelle, nous utilisons le modèle HYDROMAX, capable de réaliser des prévisions de débit. Ce modèle est opérationnel depuis plusieurs années : il a déjà connu plusieurs crues importantes.

La deuxième étape est de pouvoir réaliser des prévisions de hauteur d'eau, et, c'est le modèle HYDROAXE, en phase finale de développement. Bien entendu, pour pouvoir réaliser des prévisions de hauteur d'eau, il faut absolument disposer d'une topographie précise du lit mineur et du lit majeur. En ce qui concerne les projets futurs, nous espérons arriver à un modèle de prévision des zones d'inondation fonctionnant en temps réel. dans ce cas également, la topographie précise des lits mineur et majeur constitue un pré-requis essentiel.

6.2 Techniques récentes de reconnaissance des lits mineurs et majeurs

(Ir M. Thunus – SETHY – Voies Hydrauliques – MET)

6.2.1 Objectifs

La connaissance topographique du lit des rivières est un élément essentiel dans la lutte contre les inondations.

Nous nous sommes fixés comme objectifs tant pour le lit mineur que pour le lit majeur :

- Une couverture complète avec une densité de 1 point / m²,
- une précision de 15 cm en x,y,z dans le système de référence belge,
- un levé global pour toute la région wallonne,
- des délais et coûts raisonnables (2 - 3 ans),
- un minimum de contraintes, par ex. pas d'entraves à la navigation.

Les technologies traditionnelles, levés de profils par échosondeur, photogrammétrie, etc. ne nous permettaient pas de respecter conjointement tous ces critères : surtout en terme de densité et de délai.

Nous avons donc fait appel aux technologies les plus récentes, à savoir le sonar multifaisceaux pour le lit mineur et le scanner laser aéroporté pour le lit majeur.

6.2.2 Bathymétrie des lits mineurs par sonar multifaisceaux

6.2.2.1 Principe

Le principe est de mesurer la profondeur du lit de la rivière à partir d'un bateau, en sondant un profil transversal (swath) perpendiculaire à l'axe de progression du bateau. La succession des profils donnant la bathymétrie complète (swath bathymetry). Connaissant à tout instant la position du capteur dans le système de coordonnées locales et mesurant la distance entre le capteur et le fond, on obtient la bathymétrie dans les coordonnées locales.

6.2.2.2 Le projet wallon.

Pour réaliser notre projet, nous avons passé un marché avec la société **SAGE Engineering S.A.** Ce marché a débuté en novembre 99, la prospection (qui a débuté en janvier) est quasi terminée et le processing est en cours.

Le projet couvre les 450 km de voies navigables wallonnes. Outre les voies navigables naturelles, la Meuse, la Sambre, l'Escaut et la Lys, nous avons décidé de couvrir également les canaux. Les canaux ne sont, bien entendu, pas sujets aux débordements, mais une connaissance précise de leur topographie sera une aide précieuse pour leur gestion.

Les voies navigables wallonnes ont une largeur variant de 20 m à 150 m, elles comptent 73 écluses, 4 ascenseurs, 1 plan incliné et, environs 300 ponts, elles traversent de nombreuses villes et zones industrielles, dans un environnement qui va de la vallée encaissée (Haute Meuse) à la plaine, et les berges varient du quai vertical à la berge naturelle. Les conditions

sont donc bien différentes de celles rencontrées en pleine mer et ont demandé à notre prestataire d'adapter la technologie.

Les grosses différences par rapport à une prospection offshore, sont liées

- au positionnement : de nombreux obstacles rendent le positionnement plus délicat qu'en mer
- à la faible profondeur,
- à la faible largeur,
- à la géométrie : grande variabilité du fond par rapport au fond marin et nécessité de lever les berges.

Ces conditions et les exigences de notre cahier des charges ont forcé Sage Engineering à mettre au point des solutions tout à fait innovantes par rapport au levé offshore.

Il faut préciser que la mise en œuvre de cette technologie dans des voies navigables de ce type et sur une longueur de 450 km est tout à fait inédite.

Rappel en quelques mots des exigences de notre cahier des charges:

- bathymétrie complète d'une densité de 1 pt /m²,
- une précision de 15 cm en x,y,z ,
- le levé des berges jusque minimum 1 m sous la surface,

Et nous souhaitons également :

- le levé de la ligne d'eau.
- et un levé complet par sonar à balayage latéral (side-scan sonar) qui donne une information qualitative complémentaire au sonar multifaisceaux

6.2.2.3 Equipements et mise en œuvre

Sage a effectué le survey à partir d'un petit bateau de 11m de long et 1m de tirant qui permet les demi-tour sur des voies d'eau étroites et le levé en dehors des passes navigables.

Pour la bathymétrie,

Sage a utilisé son système "Geoswath" (Geoacoustic Seaswath)

Ce sonar travaille à une fréquence de 117 kHz , avec 2000 points par impulsion et 10 impulsions par seconde.

A une profondeur < 10m : max 5cm entre deux points d'un profil.

En théorie : largeur du profil = 12 fois la profondeur ; en pratique pour une profondeur moyenne de 3 m -> largeur utile est de 10 m.

2 transducteurs sont montés à l'avant du bateau et orientés pour couvrir le fond ; un troisième transducteur est monté à droite et orienté pour couvrir la berge.

L'**attitude** est mesurée par un capteur de mouvement qui permet de compenser les effets dus aux mouvements du bateau (Seatex MRU-5).

Un échosondeur de précision mono faisceau est également monté pour assurer un contrôle permanent du sonar multi faisceau (TRITECH).

L'opérateur sur le bateau visualise en temps réel : les données sous forme de profils et de carte en fausse couleur. Il peut ainsi surveiller le [bon déroulement du survey](#) : vérifier que les berges sont définies avec suffisamment de précision et que la couverture est complète, ... C'est un premier contrôle de qualité.

Pour l'image side-scan,

Sage a utilisé un sonar à balayage latéral à 500 kHz, [monté à l'avant du bateau](#) (Geometrics 272 TD).

Le side-scan envoie une onde ultrasonique omnidirectionnelle qui est réfléchiée par le fond. Sur un fond peu accidenté, le faisceau est rétrodiffusé avec une intensité fonction de sa nature : intensité faible pour les vases et croissante avec la granulométrie. Les irrégularités (épaves) ont une réflexion très nette et une zone d'ombre à l'arrière de l'obstacle.

Le sidescan donne une information qualitative complémentaire au sonar multifaisceaux : il permet la détection d'obstacles, de cavités dans les murs de quai, il peut mettre en évidence la nature du fond et sa morphologie (talus, sillons, dépressions de dragage)

Le système utilisé par Sage permet d'obtenir en temps réel sur écran des images géoréférencées et permet à l'opérateur en cours de prospection de repérer des objets particuliers et même de les mesurer.

Pour la navigation et le positionnement :

Sage a fait appel à la société française GEOID.

Le positionnement du bateau est réalisé par GPS différentiel en mode cinématique temps réel (RTK).

GEOID a établi un réseau de points de référence le long des voies navigables (un point tous les 10 km), et a calculé les paramètres de transformation des coordonnées WGS 84 (système utilisé par les GPS) en coordonnées locales. Ces transformations sont utilisées pour permettre le géoréférencement en temps réel dans le système local.

Pendant la prospection, une [station de référence locale](#) (Trimble 4400) est implantée sur un des points de coordonnées connues et communique par Radiomodem ou GSM avec le bateau.

Sur le bateau :

- 2 antennes GPS (radio /Gsm), (Trimble MS750)
Avec ces stations GPS et le capteur de mouvement, on peut connaître avec précision la position et l'orientation des transducteurs,

pour augmenter la fiabilité, SAGE et GEOID utilisent :

- 1 système d'entretien de position (station inertielle de navigation OCTANS), réinitialisée en permanence par la dernière position GPS reçue.
Lorsque la réception des signaux GPS n'est plus possible (par exemple sous un pont), la station inertielle prend le relais et entretient la position jusqu'à récupération du positionnement GPS.

- En cas de coupures trop nombreuses ou trop longues (par exemple dans la traversée de Charleroi), le positionnement est assuré par une station totale robotisée (avec tracking et liaison radio).
- Un logiciel de navigation (HYDRO-PRO) intègre l'ensemble des éléments de positionnement et permet de visualiser la trajectoire du bateau et les lignes déjà levées.
- La position est convertie en temps réel dans les coordonnées locales et envoyée vers le système de bathymétrie et de side-scan.

6.2.2.4 Processing.

Le sonar multifaisceau est utilisé en offshore, les filtrages ont été mis au point pour des levés en pleine mer bien différents de ce projet.

Sage a donc du mettre au point des techniques de filtrage appropriées pour éliminer les points aberrants et les doubles réflexions (nombreuses surtout près des berges). Un outil a été développé pour permettre à l'opérateur, qui effectue le processing, d'adapter les paramètres de filtrage à la forme particulière des berges et de la section pour un tronçon donné de rivière.

Un MNT est ensuite interpolé à partir des données filtrées. Il est contrôlé visuellement dans une vue 3D et comparé à l'image side-scan. On vérifie ainsi la cohérence des informations provenant de deux sources différentes

Les images side-scan sont donc utilisées pour le contrôle de la bathymétrie. Elles sont également utilisées pour la digitalisation de la ligne d'eau demandée dans le cahier des charges.

En outre, Sage crée à partir de l'ensemble des images une mosaïque géoréférencée qui pourra être drapée sur la bathymétrie.

A l'avenir, nous pourrions également demander l'interprétation de zones particulières. Pour déterminer par exemple, l'état des enrochements, l'affouillement de berge, ... Cette interprétation doit être faite par des géophysiciens expérimentés.

6.2.2.5 Résultats.

Pour rappel : les résultats sur 450 km² seront :

- Un **M.N.T**
- Une mosaïque side-scan
- La ligne d'eau

Pour quelles utilisations ?

Pour les modèles hydrauliques évidemment : 2D , 1D avec la possibilité d'extraire sur le MNT des profils à n'importe quel endroit, ...

Mais aussi pour la gestion de la voie d'eau et la navigation, le calcul des volumes de dragages, l'édition de cartes bathymétriques, ...

6.2.3 Topographie des lits majeurs par laser aéroporté

6.2.3.1 Principe.

Le principe est comparable à celui utilisé pour la bathymétrie. On mesure un profil transversal perpendiculaire à l'axe de progression d'un avion. La succession des profils donnant la topographie complète.

La mesure ne s'effectue pas par sonar évidemment, mais via un faisceau laser : on envoie un faisceau laser vers le sol et on mesure le temps de réponse.

6.2.3.2 Le projet wallon.

Le projet wallon couvre non seulement l'ensemble des cours d'eau navigables naturels susceptibles de provoquer des inondations, mais également les cours d'eau de première catégorie (sur une longueur d'environ 2000 km)

En résumé, nos objectifs sont :

- une couverture complète du lit majeur même en zone boisée.
- une densité de 1 pt/m²,
- une précision de 15 cm en x, y, z dans le système de référence belge

et l'obtention de deux MNT (plus précisément de 2 modèles numériques (MN) de surface): un modèle numérique sol et un modèle numérique enveloppe.

Explications :

Lorsque le faisceau laser rencontre un obstacle il est réfléchi : on reçoit un écho.

Si cet obstacle est petit ou si le faisceau touche un coin de l'obstacle, seule une partie est réfléchie et l'autre continue sa progression jusqu'au prochain obstacle, ainsi de suite. Le récepteur laser peut ainsi recevoir pour un faisceau émis plusieurs échos.

Dans une zone boisée, en enregistrant le premier écho reçu et le dernier, on peut en théorie déterminer un MN enveloppe (sur base du premier écho) et un MN sol (sur base du dernier écho). En pratique, le processus n'est pas si simple et des procédures élaborées de filtrage sont ensuite nécessaires pour définir le MN sol, sous la végétation.

Pour réaliser notre projet, nous avons passé un marché avec l'association momentanée SODIPLAN-AERODATA.

6.2.3.3 Equipement et mise en œuvre.

L'association momentanée travaille en partenariat avec la société TOPOSYS pour l'utilisation du scanner laser et pour le processing. La caractéristique principale du laser TOPOSYS par rapport aux autres lasers civils est sa grande fréquence de scan (630 Hz) qui lui permet de mesurer dans le cadre de notre projet de l'ordre de 8 points par m².

Brève description de l'équipement :

- Un avion
- Un scanner laser (ALS : airborne laser scanner) composé d'un LRF (laser range finder = émetteur/récepteur laser) + scanner (1 faisceau -> profil).

Le principe du scanner est le plus souvent basé sur un miroir oscillant ou rotatif, mais dans le cas du Toposys, le scanner fonctionne sur base d'un faisceau de fibres optiques. C'est une technologie unique, propre à TOPOSYS.

- Système d'orientation et de positionnement : le positionnement s'effectue par GPS différentiel (antennes GPS dans l'avion et une station de référence au sol) ; l'orientation du laser est donnée par une station de mesure d'attitude (IMU : inertial measurement unit). Le principe est similaire au levé bathymétrique, à deux exceptions près : pas de système de secours en cas de perte du signal GPS, pas de transformation en temps réel.
- Système de navigation (GPS)
- Ordinateurs et logiciels nécessaires pour le contrôle on-line de l'acquisition et l'enregistrement

Le scanner laser fournit des distances et des angles, le système de positionnement (DGPS et IMU) permet de connaître précisément la position et l'orientation du scanner.

En outre, à chaque vol, un calibrage de l'ensemble du système est réalisé en survolant des zones planes de référence, dont la topographie précise a été levée in situ.

6.2.3.4 Processing

1° A partir des données de positionnement, des données laser et des données de calibrage, le processing permet d'obtenir les coordonnées x, y, z en WGS84 pour chaque point levé au sol par le laser

2° La deuxième étape permet la transformation en coordonnées locales sur base des équations mise au point par le levé topographique de préparation (levé des points de base sur lesquels sont installées les antennes GPS de référence pendant le vol)

3° La troisième étape est le filtrage et la rasterisation

6.2.3.5 Résultats

Pour les lits majeurs des cours d'eau navigables et de première catégorie:

- 1 MNT Sol (sous la végétation) et 1 MNT Enveloppe (végétation comprise)
- sur une largeur moyenne de 200 m de part et d'autre des rivières,
- sur une longueur totale d'environ 2000 km,
- une densité d'un point par m²
- une précision de 15 cm en x,y,z.

L'utilisation :

- modèle hydraulique : 2D, 1D avec la possibilité d'extraire des profils à n'importe quel endroit
- mais aussi de nombreuses autres applications nécessitant une connaissance précise de la topographie.

6.3 Modèles de prévision des crues en temps réel

Actuellement, le MET dispose au sein du système de gestion hydrologique intégré WACONDAH de la fonctionnalité de « prévision » assurée par le modèle de prévision de débit en temps réel HYDROMAX. Celui-ci est d'ores et déjà opérationnel sur la plupart des affluents de la Meuse. Les travaux actuels visent à améliorer l'efficacité de WACONDAH en disposant de prévisions fiables sur tous les affluents importants ainsi que sur la Meuse elle-même, mais aussi en accroissant judicieusement l'horizon de prévision. Pour réaliser cela, le champ d'action du modèle HYDROMAX est étendu à un modèle hydraulique appelé HYDROAXE. Ce dernier assurera la propagation des débits prévus sur la Meuse et permettra une prévision des hauteurs d'eau en tout point de son cours.

6.3.1 HYDROMAX (Ir L. Moens – UCL – CESAME)

6.3.1.1 Hydromax

Hydromax est l'application en temps réel des prévisions de débit développée par le CESAME (Centre for systems engineering and applied mechanics) qui dépend de l'Université Catholique de Louvain-La-Neuve en Belgique.

Hydromax est le résultat de plusieurs projets financés par le Service d'études hydrologiques (SETHY) – Ministère wallon de l'Équipement et des Transports.

6.3.1.2 Bassin versant

La répartition de la pluie sur le bassin versant peut être la suivante :

- Interception par la végétation ;
- stockage superficiel et infiltration dans le sol ;
- et finalement, le ruissellement qui contribue directement à l'augmentation du débit.

Cette figure représente également un pluviographe et un limnigraphe.

6.3.1.3 Pourquoi un modèle de prévision ?

Sur ce graphique, la courbe rouge représente les précipitations cumulées sur le bassin versant de l'Amblève en amont de Martinrive pour la période du 18/08 au 20/09/1998.

La seconde courbe représente l'évolution du débit à cette même station.

Les 100 premiers mm ne causent pas de crue, l'hydrogramme reste plat. Mais les 100 mm suivants provoquent une augmentation importante du débit.

6.3.1.4 Bassins versants modélisés

Sur cette carte de la partie Sud de la Belgique, les triangles rouges représentent la position des limnigraphes et les points bleus, la position des pluviographes.

Actuellement, pour chaque triangle, un modèle de prévision existe et le SETHY peut les utiliser en temps réel sous HYDROMAX.

6.3.1.5 Télémessure

Sur le transparent précédent, nous avons vu la localisation des pluviographes et limnigraphes. Sur le terrain, ceux-ci sont connectés au réseau téléphonique via des répondeurs "intelligents". Au centre opérationnel, l'ordinateur central peut appeler ceux-ci en temps réel.

6.3.1.6 De l'acquisition à la prévision

Nous avons déjà parlé de la partie supérieure de ce transparent, il s'agit du réseau de télémessure. Toutes les données télémessurées sont stockées dans la base de données hydrologiques de l'ordinateur central. L'ordinateur de prévision y est connecté en ligne.

6.3.1.7 Démonstration d'HYDROMAX

HYDROMAX tourne en temps réel sur une station SUN au centre opérationnel du SETHY.

6.3.1.8 Prévision de débit - première étape : sélection de la station

Pour réaliser une prévision du débit avec HYDROMAX, la première étape consiste à sélectionner une station. A l'aide de cette fenêtre HYDROMAX, choisissons la station de Tabreux sur l'Ourthe.

6.3.1.9 Affichage des précipitations mesurées pour la station choisie

Avec cette fenêtre, nous choisissons les mesures nécessaires pour faire une prévision. Dans notre cas, nous prenons les données du 02 janvier 1995 au 25 janvier 1995 à midi.

Quand nous cliquons sur OK, les données de pluies pour les six jours précédent le 25 sont affichées. Pour ce bassin versant à Tabreux, le SETHY dispose de 4 pluviographes télémessurés.

L'étape suivante dans HYDROMAX est le calcul de la lame d'eau moyenne.

Avant cela, l'utilisateur a la possibilité d'exclure un pluviographe du calcul de la moyenne (en effet, dans ce cas, le pluviographe de Bastogne donne deux fois plus de 20 mm sur une heure, ce qui est vraisemblablement une erreur de mesure).

6.3.1.10 Calcul et affichage de la lame d'eau moyenne

Ceci représente le résultat du calcul de la lame d'eau moyenne sur base des 3 pluviographes restants.

6.3.1.11 Calcul et affichage du résultat de la prévision court terme

La prévision du débit à court terme est calculée sur base des mesures précédentes de débit et de pluie. C'est le point bleu sur le graphique.

Nous avons déjà mentionné que pour Tabreux, l'horizon de prévision est de 6 heures. Donc, dans ce cas, le 25 janvier à midi, nous pouvons faire une prévision pour 18h.

La valeur du débit prévu est de 198 mètres cube par seconde.

Les lignes noire et rouge représentent respectivement les seuils de pré-alerte et d'alerte.

6.3.1.12 Encodage d'un scénario de pluies futures

Pour la gestion des alarmes et l'organisation des services de secours, un horizon de six heures est parfois trop court. C'est la raison pour laquelle, l'utilisateur d'HYDROMAX peut encoder un scénario de pluie future, afin de calculer une prévision de débit à moyen terme.

Avec cette fenêtre, l'utilisateur peut encoder les prévisions de pluie des deux services de météorologie belges : le civil (IRM-KMI) et le militaire (Wing).

Le calcul de la prévision à moyen terme est réalisé sur base du scénario encodé par l'utilisateur dans la troisième colonne.

6.3.1.13 Calcul et affichage de la prévision à moyen terme – Exemple de prévision à court et moyen termes

Sur ce graphique, nous retrouvons la prévision du débit à court terme calculée sur base des mesures précédentes de débits et de pluies, ainsi que, la prévision à moyen terme basée sur le scénario de pluie future (courbe rouge).

La courbe verte représente la prévision à moyen terme du débit si les précipitations s'arrêtent le 25 janvier à midi. Il s'agit de l'hypothèse la plus favorable et nous constatons que même dans ce cas, des problèmes sont attendus pour les 36 prochaines heures.

6.3.1.14 Modèle Pluie/ Débit

Quelques mots à propos du modèle Pluie/Débit utilisé par HYDROMAX pour calculer la prévision de débit.

Pour chaque bassin versant, la prévision est réalisée par un modèle mathématique qui inclut deux parties :

- une fonction de production non-linéaire qui calcule la pluie efficace à partir de la lame d'eau moyenne et de la valeur initiale du stock d'eau dans le sol du bassin versant considéré. Cette partie conceptuelle du modèle est représentée par le réservoir sur le transparent.
- après cela, une fonction de transfert de type ARX décrit le ruissellement superficiel jusqu'à l'exutoire du bassin versant. Cette fonction de transfert est utilisée pour la prévision du débit.

6.3.1.15 Etapes de l'identification du modèle Pluie/ Débit

6.3.1.16 Les principales caractéristiques d'HYDROMAX

Les principales caractéristiques d'HYDROMAX sont :

- la connexion directe à la base de données hydrologiques télémessurée,

- la prévision à court terme basée uniquement sur les mesures hydrologiques,
- la prévision à moyen terme basée sur les mesures hydrologiques et le scénario de pluies futures,

Une dernière caractéristique, dont nous n'avons pas parlé aujourd'hui, concerne le contrôle et l'analyse des entrées et des résultats des modèles utilisés.

6.3.1.17 Les avantages d'HYDROMAX

- L'économie de données : seules des données de pluie et de débit sont nécessaires. Une description physique détaillée du bassin versant n'est pas requise.
- Les paramètres identifiés des modèles restent valables d'une crue à l'autre. Les modèles sont systématiquement validés sur des crues non utilisées pour l'identification.
- L'utilisation conviviale d'HYDROMAX permet de rencontrer les exigences d'une prévision efficace en temps réel.

6.3.2 HYDROAXE (Ir C. Adriaensen – UCL – Service d'Hydraulique)

Marché de Services et de Recherche et de développement pour l'amélioration et l'extension de modèles de prévisions en temps réel d'axes hydrauliques de crue sur les bassins de la Haute-Sambre et de la Meuse

6.3.2.1 Plan de la présentation

6.3.2.2 Le Pourquoi de l'étude

6.3.2.3 Présentation du modèle

6.3.2.3.1 *Modélisation des éléments constituant le réseau*

6.3.2.3.2 *Modélisation des îles*

6.3.2.3.3 *Modélisations des éléments Barrages-écluses*

6.3.2.3.4 *Modélisation des affluents*

Comparaison des débits des affluents et de la Meuse - [Crue de décembre 1999](#)

Comparaison des débits des affluents et de la Meuse - [Crue de janvier 1995](#)

6.3.2.3.5 *Modélisation des Biefs*

[Principe](#)

[Difficulté](#)

Position des profils

→ [actuellement](#) : perpendiculaire à l'axe moyen

→ [difficulté dans les coudes](#)

→ [difficulté au droit d'un barrage](#)

→ futur : [étude direction des filets fluides](#)

6.3.2.3.6 *Modèle Mathématique*

Justification choix du modèle :

[Différents critères](#)

→ transitoire unidimensionnelle

[Interaction lit majeur et lit mineur](#)

→ St-Venant Amélioré

6.3.2.3.7 *Modèle Numérique*

Justification [choix du modèle](#) → Condition de courant

→ implicite → Preismann

6.3.2.3.8 *Dernière mise au point du modèle*

Condition limite - Rugosité

6.3.2.4 Démonstration du modèle

Choix sections

Menu de visualisation

Représentation des hauteurs et des débits dans une section

Représentation de la variation de hauteur dans une section

6.3.2.5 Conclusion

En conclusion, il faut noter la grande utilité des nouvelles données à recevoir du SETHY, une meilleure modélisation sera rendue possible lorsqu'on disposera d'une connaissance plus précise du profil de la Meuse.

6.4 Discussion

Question de Mr R. MICHEL / DGATLP-MRW

A la Région Wallonne, on va réviser les plans de secteur pour janvier 2001, y compris avec l'indication des zones inondables. Est-ce que les cartes de ces zones seront disponibles à temps ?

Réponse de Mr P. DEWIL

Les résultats complets ne seront pas disponibles avant fin 2001 au plus tôt. Difficile de respecter le délai de janvier 2001 mais on disposera peut-être, pour certaines zones, de l'information plus tôt. Les nouvelles technologies mises en œuvre garantissent une qualité d'information jamais atteinte jusqu'ici, mais cela demande un certain temps de réalisation. Avec les techniques classiques de topographie, on n'arriverait pas à la même précision, cela coûterait plus cher et le délai ne serait pas plus court.

Quand le travail topographique sera terminé, il faudra dresser les cartes d'aléa d'inondation pour arriver à l'information nécessaire et utile pour les plans de secteur. Cela représente encore un long chemin !

J'espère, même s'il y a déjà une première indication sur les plans de secteur des zones d'inondation à partir de janvier 2001, qu'il y aura moyen dans le futur de réactualiser cette information sur base des nouvelles données plus précises.

Question de Mr BERTRAND / D.213-MET

En ce qui concerne les mesures en X, Y, Z, si j'ai bien entendu, on arrive à une précision de +/- 15 cm. (X,Y). Faut-il considérer qu'il y a là une erreur MAXIMUM ou MOYENNE, en particulier en Z ? N'y a-t-il pas un risque d'erreur systématique ? A-t-on établi une corrélation avec des mesures physiques sur le terrain ?

Réponse de Mme M. THUNUS

Un risque d'erreur systématique, non. Elle serait mise en évidence par le contrôle systématique des données. A noter que le laser donne une précision de mesure meilleure que 15 cm, mais s'y ajoute l'erreur propre au DGPS et celle du transfert en coordonnées Lambert. Donc, on peut dire que la précision de +/- 15 cm est une erreur globale. On verra à quel pourcentage de probabilité on sera par rapport à cet objectif.

La corrélation avec des mesures sur le terrain est appliquée, elle fait partie des critères de réception pour la firme qui exécute le marché. Cette corrélation a révélé, dans les études pilotes, que les mesures sont bien dans la norme.

Question de Mr PROVOST / AQUAFIN

Quelles sont les complémentarités entre WACONDAH et WAMM ?

Réponse de Mr P. DEWIL

Nous avons développé plusieurs modèles différents, par des démarches parallèles (car la mise en œuvre prend du temps), en contrôlant la convergence entre eux.

Si nous utilisons un seul modèle de simulation qu'il faudra adapter aux situations "temps réel", un inconvénient majeur surgit : ce type de modèle nécessite des données de base (bassin

versant, ...) approfondies et un volume d'informations important. Ce n'est pas compatible avec une gestion de crise ! Celle-ci demande au contraire une mise en œuvre avec un minimum d'informations couplée à une rapidité de prévision, sans oublier la précision. Le programme WAMM était basé sur la modélisation par MIKE 11 que nous considérons comme un modèle de simulation avant tout. En évolution parallèle, HYDROMAX et HYDROAXE ont été développés pour la gestion de crise et la prévision en temps réel.

Dans le futur, on pourra tester le nouveau module de prévision MIKE 11 pour voir s'il est aussi performant qu'HYDROMAX dans des situations de crise. On pourra peut-être comparer, dans ce cas de figure, MIKE 11 à HYDROMAX / HYDROAXE.

En gestion de crise, si nous disposons de résultats convergents émanant de plusieurs modèles, nous augmenterons d'autant la fiabilité des informations qui seront diffusées à l'extérieur, en phase de prévision.

Questions de Mr VALANTIN / Service Navigation - Nancy

- 1- Quel est le coût au m² pour la bathymétrie et pour le lit majeur ?**
- 2- Qu'avez-vous fait pour les parties non navigables des rivières ?**
- 3- Une période de réactualisation est-elle prévue ?**
- 4- A quoi va servir le MNT enveloppe de la végétation ?**

Réponse de Mme M. THUNUS

1. Pour les deux marchés, il faut compter 100 à 120 millions FB.
La couverture laser est de 800 km². Son coût : +/- 50 millions TVAC
⇒ 62 500 FB/km²

2. Pour les lits mineurs, nous avons concentré nos efforts sur les cours d'eau navigables. Pour les lits majeurs, nous avons pris en compte les cours d'eau non navigables.

Nous cherchons encore d'autres solutions pour les cours d'eau non navigables pour la partie immergée.

Notre idée :

- faire des relevés laser en période de basses eaux pour obtenir la largeur la plus étroite possible sous eau.
- il existe en Région Wallonne (services gestionnaires des cours d'eau) des profils pris classiquement à la perche à des entre-distances de 50 à 100 m. Nous les intégrerons avec des données laser relativement complètes, puisque prises en période d'étiage avec une largeur étroite.
- autre possibilité : nous avons testé un radar de type géophysique installé sur un zodiac à fond en caoutchouc qui épouse la forme de la rivière. Mais ceci pose un gros problème de positionnement, dû à l'impossibilité de faire un relevé GPS dans des vallées encaissées et souvent forestières.

3. Pour la bathymétrie, il s'agit ici d'une campagne exceptionnelle. Nous avons pour la première fois un levé complet de tous les cours d'eau navigables. Il sera intéressant de refaire des campagnes localisées, par exemple pour surveiller l'envasement des canaux. Il faudra suivre évidemment l'évolution des technologies. Nous disposons dès à présent d'un vaste

réseau de points sur l'étendue de la Wallonie (point de vue installation des stations de référence) ; les prochaines campagnes locales coûteront donc beaucoup moins chers.

4. D'abord, il serait dommage de ne pas exploiter les possibilités du laser quand elles existent. Ensuite, il est intéressant de comparer les procédures de filtrage MNT entre pays. Par exemple, au Pays-Bas, on utilise 1 point pour 16 m² et l'on procède au filtrage de la végétation et des bâtiments. Dans notre optique, il est préférable de laisser les bâtiments mais « d'enlever » la végétation. Il est quand même intéressant de savoir qu'il y a des arbres et de se rendre compte de leur influence dans l'écoulement. Le MNT enveloppe rend compte d'une notion de rugosité du terrain. Nous pourrions aussi calculer par ce moyen la biomasse dans la zone d'inondation.

7 Lunch





8 SESSION 3 : IRMA – MOHICAN

Animateur : Ir J. SMITZ

8.1 Objectifs et module "superviseur" (Ir J. Smitz – ULG – CEME)

8.1.1 Présentation générale

Le **modèle hydrologique intégré MOHICAN** est développé pour le Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET) par quatre départements universitaires qui travaillent en collaboration :

- l'Unité d'Hydraulique agricole (Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux);
- le Laboratoire de Géologie et d'Hydrogéologie (Université de Liège);
- le Laboratoire d'Hydrodynamique appliquée (Université de Liège);
- le Centre d'Etude et de Modélisation de l'Environnement (Université de Liège).

Le **modèle MOHICAN est un modèle déterministe global**. Le caractère déterministe est essentiel pour permettre de représenter les relations de cause à effet, notamment l'influence des facteurs qui sont à l'origine des crues (précipitations, nature et occupation des sols, pratiques agricoles et forestières, aménagements hydrauliques) sur l'amplitude des crues et l'extension des inondations. Le caractère déterministe est également nécessaire pour simuler de façon prédictive les conséquences de plusieurs types d'aménagements ou de modifications d'utilisation du sol.

Les représentations qu'utilise le modèle ont donc toutes une base physique : elles décrivent le fonctionnement du bassin versant en utilisant des paramètres reliés à des caractéristiques physiques et physiographiques intrinsèques du milieu.

Le modèle a également un caractère global : il intègre de façon cohérente la représentation de trois compartiments ayant des échelles de temps différentes : les sols, les nappes et le réseau hydrographique, ainsi que les flux entre ces compartiments.

Dans la problématique des crues, le compartiment "sols" joue un rôle essentiel. En période de crue, les eaux souterraines jouent un rôle relativement moins important. Le modèle comprend cependant une représentation simplifiée des nappes, de manière à pouvoir "fermer" les bilans hydriques (ce qui est important pour les phases de validation) et de manière à représenter les déphasages de certains flux. Il faut noter que, pour certaines rivières, les crues les plus importantes ont lieu quand il y a conjonction d'un ruissellement très élevé et d'un apport élevé par les nappes.

Le modèle est structuré en trois sous-modèles, qui représentent les trois compartiments principaux, intégrés dans une "méta-structure" qui pilote l'ensemble et calcule notamment les flux et déphasages qui ont lieu entre les trois compartiments.

Le modèle est maillé, les discrétisations étant différentes selon les compartiments.

8.1.2 Représentation du **compartiment "sols"**

Les sols sont représentés par un réseau maillé à maille régulière. La taille de la maille est de 1 km x 1 km. La maille n'est pas homogène : elle est divisée en sous-éléments de taille variable, chacun de ces sous-éléments étant caractérisé par des valeurs particulières de la pente, de l'occupation et de la nature du sol. Les sous éléments ne sont pas géoréférencés à l'intérieur de la maille.

Le choix de ce type de maille "intermédiaire" est jugé optimal, parce qu'il offre les avantages suivants :

- une précision excellente pour la représentation des distributions spatiales;
- une bonne utilisation des données de base disponibles à petite échelle;
- un effet relativement faible des échanges entre mailles, lesquels sont en général très mal connus;
- du point de vue informatique : une occupation mémoire et un temps de calcul raisonnables.

Le sous-modèle "sols" est basé sur un **modèle type "EPIC"** spécifiquement modifié et adapté aux situations qui existent dans nos régions. Ce sous-modèle calcule pour chaque sous-élément de chaque maille, à tout instant, à partir des données des précipitations :

- l'infiltration;
- les variations du profil vertical d'humidité dans le sol;
- l'évapotranspiration réelle;
- le ruissellement de surface;
- l'écoulement hypodermique;
- la percolation vers les nappes;
- l'accumulation et la fonte des neiges.

Une représentation simplifiée du drainage agricole et forestier, une représentation des zones urbaines égouttées et non égouttées et des zones imperméables directement connectées au réseau hydrographique sont également introduites de façon adéquate. Le rôle de la végétation, son évolution au cours de l'année, les rotations des cultures sur les terres agricoles sont représentés en détail.

8.1.3 Représentation du **compartiment "eaux souterraines"**

Pour la représentation des eaux souterraines, la méthodologie suivante est utilisée :

- la **géométrie des aquifères** est déduite des données géologiques disponibles;
- la percolation vers les nappes est fournie par la modélisation du compartiment "sols";
- le retard à la percolation en zone saturée est déduit du décalage entre l'infiltration efficace et les fluctuations du niveau de la nappe;
- le volume des réserves d'eaux souterraines est estimé sur base de l'étude des courbes de tarissement des cours d'eau;
- les volumes restitués aux cours d'eau sont représentés par des apports de type ponctuel ou diffus suivant les données géologiques;
- les volumes prélevés par captage et transférés vers d'autres bassins sont intégrés en fonction des données disponibles.

La représentation des nappes est faite par une représentation simplifiée (superposition de réservoirs linéaires). Dans certains cas, des représentations plus complexes (par un modèle de type Modflow) peuvent éventuellement être incorporées si nécessaire.

8.1.4 Représentation du compartiment "eaux de surface"

Le sous-modèle "eaux de surface" comprend une structure en arbre pour représenter le réseau hydrographique, de manière à décrire explicitement plusieurs rivières (nombre variable), avec une maille spatiale d'environ 200 mètres (variable).

Ce sous-modèle réalise un calcul explicite de la propagation des ondes de crues, de l'évolution des niveaux d'eau, des transferts bi-directionnels rivières-zones inondées, et tient compte des prélèvements ou détournements d'eau éventuels.

Ce sous-modèle comprend :

- une modélisation hydrodynamique non stationnaire des écoulements avec un calcul explicite des écoulements en lit mineur et lit majeur actif;
- une modélisation du passage en lits composés gérée automatiquement;
- la prise en compte des zones de stockage latérales potentielles;
- la prise en compte de ressauts mobiles et transitoires potentiels.

8.1.5 La méta-structure d'assemblage

La [structure d'assemblage et de pilotage](#) des trois sous-modèles a pour rôle de structurer et faire fonctionner de façon cohérente les sous-modèles, ainsi que d'[organiser les calculs de flux](#) entre les compartiments ([schéma de gestion des flux](#) de MOHICAN).

Cette structure :

- gère les organisations des discrétisations spatiales et temporelles des différents sous-modèles;
- effectue le calcul de connectivité entre les mailles du bassin versant et les tronçons de rivière;
- calcule les déphasages temporels entre les flux produits et les flux reçus par les différents compartiments.

8.1.6 Calibration et validation

Le modèle demande peu de calibration pour la simulation des épisodes de crues (les valeurs des paramètres internes sont liés aux caractéristiques physiques du milieu). L'approche consiste à [calibrer et valider prioritairement les sous-modèles sur quelques situations connues](#), puis à valider l'ensemble du modèle par test sur d'autres situations connues.

8.1.7 Résultats

- Digitalisation du [réseau des rivières](#) explicitement décrites;

- Résultats MOHICAN : l'[Amblève à Martinrive](#) (débits totaux transférés par la structure de supervision);
- Résultats MOHICAN : La [Salm à Trois-Ponts](#);
- Résultats MOHICAN : la [Lesse à Daverdisse](#);
- Tests de prise en compte des zones d'égouttage telles que décrites dans les Plans Généraux Communaux d'Egouttage (bassin de la [Chiers à Athus](#)).

8.1.8 Conclusion

- Aspects innovatifs;
- conclusion après les premiers résultats.

8.2 Module "sol" (Prof. S. Dautrebande – FUSAGx)

- Flux entre les modules du modèle MOHICAN
- Spatialisation du modèle EPIC Maille
- Données nécessaires au modèle EPIC
 - ↳ occupation du sol ([classes hydrologiques des cultures](#) – exemple extrait de la base de données Carhy)
 - ↳ [groupes hydrologiques des sols](#)
 - ↳ [Modèle Numérique de Terrain](#)
 - ↳ [données relatives aux couches de sols](#) (épaisseur, paramètres hydrodynamiques classiques, résidus végétaux, nitrates, ...)
 - ↳ [Calendrier des opérations culturales](#)
- Exemple de fonctions et équations présente dans EPIC (organigramme de calcul de la variation potentielle de biomasse)
- Quelques exemples de validation
 - ↳ validation de simulation de l'évolution de l'humidité du sol :
 - [par des mesures de terrain](#)
 - [via l'imagerie satellitaire \(SAR\)](#)
 - ↳ [Simulation du développement des cultures](#)
- Quelques résultats :
 - ↳ [Répartition spatiale de l'humidité du sol](#) (exemple sur la Lesse)
 - ↳ [Coefficients d'écoulement observés et simulés \(Lesse\)](#)
 - ↳ [Bilans annuels \(Epic Maille horaire\)](#) pour 4 bassins
 - ↳ Différenciation entre les types d'écoulement ([Semois à Membre](#), [Lesse à Daverdisse](#) et [Amblève à Martinrive](#))
- Quelques autres résultats en complément :
 - ↳ [Cartographie du lessivage des nitrates dans le bassin du Geer](#) (extrait du Programme Action Hesbaye)
 - ↳ Cartographie de la répartition des risques de ruissellement diffus
 - [en période sèche](#)
 - [en période humide](#)
 - ↳ [Cartographie des facteurs cultureux](#) pour la détermination de l'érosion diffuse

8.3 Module "eaux souterraines" (Dr J-C Maréchal – ULG – LGIH)

8.3.1 Le module "eaux souterraines"

- les [3 grands types de flux dans MOHICAN](#) :
 - ruissellement,
 - flux hypodermiques,
 - infiltration efficace (recharge de la nappe aquifère).
- les 2 objectifs principaux du module "eaux souterraines" :
 - déterminer géographiquement les exutoires des flux d'infiltration produits par MOHICAN,
 - ainsi que leur devenir temporel en déterminant la fonction de transfert de ces flux.

8.3.2 La fonction de transfert

Une fonction de transfert = hydrogramme unitaire des flux des eaux souterraines ; souvent caractérisée, par les hydrogéologues, par le coefficient de tarissement, fonction directe des caractéristiques hydrogéologiques du terrain.

8.3.3 Etapes pour réaliser les objectifs

- détermination des bassins hydrogéologiques,
- détermination des caractéristiques géologiques,
- identification des exutoires,
- liste des captages d'eau,
- détermination des fonctions de transfert.

8.3.4 Séparation d'un hydrogramme

8.3.5 Résultats fournis par le module eaux souterraines

- grille des bassins hydrogéologiques,
- grille des aquifères,
- grille des fonctions de transfert,
- tables des captages.

8.3.6 Approche globale (déconvolution) – Lesse à Daverdisse

8.3.7 Exemple dans un contexte karstique

Exemple du Rubicon (ruisseau souterrain dans la grotte de Remouchamps) dans le "Vallon des chantoirs".

La totalité des flux sont pris en charge par les eaux souterraines, la fonction de transfert est appliquée à l'infiltration, à l'écoulement hypodermique et au ruissellement.

8.3.8 Cas d'un bassin versant complexe

La Mehaigne à Moha. Le bassin versant est constitué de plusieurs nappes aquifères dans des formations géologiques aux caractéristiques différentes.

Modélisation par un modèle mathématique déterministe (ModFlow).

8.3.9 Illustration de la complexité de l'hydrogéologie

Bassin du Hoyoux à Modave.

8.4 Module "eaux de surface" (Ir P. Archambeau – ULG – LHD)

- Objectif de la partie Flood routing – Méthodologie (logiciel utilisé)
- Rappel des équations de Navier-Stokes
- Prise en compte des plaines inondables (objectifs, méthode)
- Deux fonctionnements possibles des plaines inondables

- Interactions entre les flux longitudinaux (lits)
- Validation de l'approche numérique (modélisation par des modèles réduits)
- Zones de tests MOHICAN
- Représentation d'une crue sur le bassin de la Semois
- Régulation de barrages
- Représentation des grands barrages réservoirs

8.5 Discussion

Questions de Mr Zech / UCL

- Questions concernant la représentation de l'égouttage (diagrammes de Mr. SMITZ : prise en compte de l'égouttage ou non sur la Chiers ?): quelle est la taille du bassin versant ? C'est important puisque les zones urbaines et l'égouttage devraient avoir moins d'importance sur les grands bassins que pour un petit ?

- Quelles sont les hypothèses de l'hydrogramme de comparaison ? A-t-on tenu compte d'une certaine vitesse correspondant à l'écoulement dans les zones urbaines ? Quels sont les éléments de comparaison ? Quel est le pourcentage d'urbanisation de cette zone ? Parce que ces résultats me paraissent assez spectaculaires.

Réponse de Mr J. SMITZ

Il s'agit ici de 2 situations extrêmes, qui montrent à la fois l'influence d'un phénomène et la manière dont on peut, à l'intérieur d'un modèle, représenter certains processus.

Dans un cas, on a représenté les zones urbaines sur base des images satellite qui donnent effectivement des pixels qui correspondent à des sites urbains denses, le reste des pixels étant supposé être des zones rurales. Dans ce 1^{er} cas de figure, on a imaginé que ces zones urbaines étaient égoutées à 85%, le reste de l'écoulement étant du ruissellement classique (infiltration etc..).

Dans l'autre cas de figure, on a pris le contour des zones égoutées, fournis par les plans communaux généraux d'égouttage, en considérant que l'ensemble du flux de ruissellement (zones urbaines ou autres) était repris intégralement par des égouts, ce qui est proche de la réalité.

On a donc "cliché" les 2 situations extrêmes pour montrer ce qui se passe « avec et sans ». Le phénomène apparaît très important parce qu'il s'agit du bassin de la Messancy (+/- 100 km²) où le taux d'urbanisation est important (8 à 15%).

Mme S. DAUTREBANDE

Il y a en fait 2 facteurs qui se superposent : la sous-estimation de l'imperméabilisation et l'égouttage. Mais quelle est la part de chacune d'elle ?

Mr J. SMITZ

On suppose en fait, comme il s'agit d'une très grande crue (Chiers + Messancy) et que les sols sont pratiquement saturés, que ce n'est vraisemblablement pas l'effet de l'urbanisation qui joue le plus grand rôle, mais sans doute l'égouttage (il y a là des paramètres physiques : fonctions des pentes etc...).

Questions de Mr R. MICHEL / DGATLP-MRW

Il y a d'anciennes briqueteries dans cette région ? Cela joue un rôle ?

Réponse de Mme S. DAUTREBANDE

Bien sûr et on en a tenu compte.

Réponse de Mr J. SMITZ

On peut d'ailleurs utiliser le système pour tester des facteurs tels que l'extension des zones d'habitat, l'extension des zones imperméables, le genre de système choisi pour l'égouttage (unitaire ou séparé), l'utilisation de l'eau de ruissellement etc...

Remarques :

- Il n'y a pas, dans MOHICAN, d'échange possible dans le sens Nappe vers Rivière (différent d'autres modèles plus complexes) ; il faut cependant rappeler que MOHICAN est dédié d'abord à la problématique des crues.

- Concernant le pas de temps utilisé par le Flood Routing : il faut un pas de temps adapté au phénomène que l'on représente, celui-ci peut donc descendre jusqu'à dix secondes. Dans cette situation, les données sont interpolées linéairement à partir des données horaires, ce qui est assez logique puisque les temps de réponse du bassin versant sont de l'ordre de l'heure pour le ruissellement. Les processus sont donc « cadrés » sur leur échelle de temps en fonction de leur dynamique propre.

- En terme de temps de calcul, il ne faut pas se leurrer, un tel modèle demande un temps CPU important s'il tourne sur plusieurs années (≈ une dizaine d'heures pour 5 ans de simulation). Par contre, on peut à la limite concevoir qu'il tourne en temps réel, puisqu'un jour demande 1 minute CPU).

Questions de Mr POUSSIERE / DGATLP-MRW

1) 262 plans d'égouttage sont passés par mes mains. Si on réalise complètement ce qui est prévu par ces PCGE (les circulaires actuelles sont telles que l'épuration individuelle doit retourner dans des tranchées drainantes, dans des rivières ou dans des aqueducs), quelle sera l'influence sur les problèmes d'inondations ?

2) La Flandre construit +/- 5 km d'égout par semaine et une station d'épuration par mois. Si on leur fournit un complément d'eau, ne faut-il pas craindre un reflux vers notre réseau ? N'y a-t-il pas un risque de blocage quelque part ?

Réponse de Mr J. SMITZ

1) Les résultats exposés concernant la Chiers doivent être confirmés sur d'autres bassins pour voir si les ordres de grandeur sont maintenus.

Nous ne savons évidemment pas donner la réponse ici, même s'il s'agit d'une question très intéressante, puisque nous nous bornons à construire des outils de modélisation. Ensuite il faudra tester des situations (scénarii) au moyen de ces outils et nous pourrons ensuite dire par exemple, si vous pratiquez de telle ou telle manière l'égouttage, le résultat que vous obtiendrez...

2) Non, les pentes en Région Wallonne sont en général suffisantes pour éviter ce phénomène. Il faut se placer dans une perspective à long terme (30 ou 40 ans : échelle de temps à laquelle

les modifications ont lieu dans les bassins versants) et voir alors l'influence de nos aménagements, les modifier ou les adapter si nécessaire.

A noter que le facteur le plus important en matière de crues et d'inondations, c'est la pluie ! Mais on pourrait diminuer l'amplitude des pics de crue de 5 à 8 % par un aménagement adéquat : c'est l'intérêt de notre outil, il faut en poursuivre le développement.

Questions de Mr LAURENT / DG.2-MET

Prendre en compte une zone globale égouttée suffit-il ou serait-il intéressant de tester une hydraulique complète du réseau d'égouttage ?

Réponse de Mr J. SMITZ

Si l'on veut conserver en même temps une vue locale du réseau hydrographique et une vision globale de la Région Wallonne et même de tout le bassin de la Meuse, il nous paraît irréaliste de modéliser mètre par mètre le réseau des égouts. Il faut globaliser en pourcentage l'égouttage par zone. Avec cette information, on arrive déjà à une très bonne représentation (Chiers).

Mais c'est par contre intéressant pour des études très locales, ponctuelles (petites agglomérations). A remarquer que Mohican peut modéliser de très petits bassins (< 100 km²).

9 SESSION 4 : quelques autres projets

Animateur : Prof. E. PERSOONS

9.1 Projet ADALI (Prof. E. Persoons – UCL – GERU)

- Le projet ADALI
- Application du MHM à la prédétermination d'hydrogrammes de projet dans le bassin de la Dyle
- Présentation du MHM
 - ↳ Rasterisation
 - ↳ Ensemble des informations disponibles sur un bassin versant
 - ↳ Episode de calage des paramètres conditions et vitesse de ruissellement
 - ↳ Résultat : set de paramètres
 - ↳ Exemples d'application (Lasne, Dyle)
- Dimensionnement de bassins d'orage sur la Nethen
 - ↳ Caractéristiques du bassin versant
 - ↳ Sous-bassins
 - ↳ Scénario de pluie centennale
- Etude de la relation pluie-débit dans des micros bassins versants
 - ↳ Situation
 - ↳ Episodes
 - ↳ Résultats (coefficient de ruissellement)
- Influence de l'occupation du territoire sur la relation pluie-débit dans le bassin de la Dyle
 - ↳ Evolution séculaire de l'occupation du sol
 - ↳ Débits simulés pour différentes occupations du sol
 - ↳ Explication possible
- Influence de l'imperméabilisation sur le débit de la Chiers à Longlaville
 - ↳ Données (couches d'information)
 - ↳ Etude de scénarii
 - ↳ Projet d'implantation d'une autoroute (caractéristiques, résultats)
 - ↳ Projet de Pôle de Développement Européen (caractéristiques, résultats)
 - ↳ Projet de bassin d'orage (caractéristiques, résultats)
- Pluies exceptionnelles récentes (longue durée, courte durée)

9.2 Premiers résultats du modèle SCHEME (E. Roulin – IRM)

9.2.1 Introduction

L'Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM) est parmi les pionniers dans l'étude des impacts des changements climatiques sur le cycle hydrologique (Bultot et al., 1988a, b). Ces études ont été réalisées à l'aide du modèle hydrologique conceptuel IRMB (Bultot et Dupriez, 1976) et ont porté sur des bassins versants de dimension moyenne (10^2 à 10^3 km²), représentatifs des conditions hydrologiques en Belgique (Gellens et Roulin, 1999). Dans le cadre du programme de recherche « Global change et développement durable » des Services fédéraux des Affaires scientifiques techniques et culturelles (SSTC), l'IRM a eu l'opportunité d'élargir son étude aux grands bassins versants belges de la Meuse et de l'Escaut. Dans ce but, le modèle IRMB a été adapté pour simuler le cycle hydrologique à des échelles de l'ordre de 10^4 km². Le nouveau modèle a été appelé « SCHEME » pour évoquer les rivières Escaut et Meuse et pour rappeler que l'approche conceptuelle du modèle IRMB a été conservée. Dans cet exposé, les particularités de ce modèle seront présentées : l'adaptation sur une grille, le module de routage, l'optimisation automatique et la régionalisation des paramètres. Les résultats de la validation du modèle appliqué à la Meuse seront exposés.

9.2.2 Méthodologie

Le modèle SCHEME est un modèle sur grille de mailles de 50 km². À l'intérieur de chaque maille, le cycle hydrologique est représenté par une série de réservoirs (Figure 1), pour l'interception par la végétation, l'accumulation et la fonte de la neige, le dessèchement et la réhumectation du sol, la percolation et l'alimentation des réservoirs souterrains de même que le ruissellement.

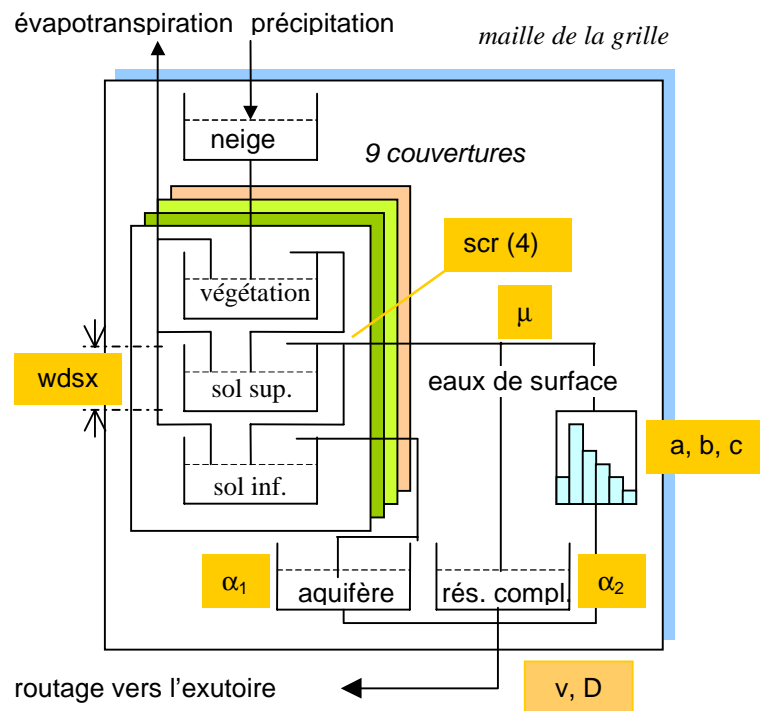


Figure 1 Modèle conceptuel appliqué à chaque maille de la grille du modèle SCHEME.
En jaune : paramètres du modèle à optimiser.

Dans chaque maille, neuf classes d'occupation de la surface sont définies. Elles déterminent le volume de l'interception et la profondeur du sol. L'évapotranspiration est calculée en tenant compte de la quantité d'eau à la surface des végétaux et dans le sol et de l'évapotranspiration potentielle estimée suivant la méthode de Bultot et al. (1983).

Comme pour le modèle IRMB, les paramètres sont optimisés sur des séries temporelles de débits, de précipitations et autres variables hydrométéorologiques mesurées sur un bassin versant donné. La période de calibration (1981-1988) comprend des situations hydrologiques variées. Pour la Meuse, 23 sous-bassins ont été choisis (Figure 2). Les séries temporelles de débits ont été obtenues auprès du SETHY pour la Wallonie et des DIREN Nord - Pas-de-Calais et Lorraine pour la France. Ces sous-bassins ont une superficie inférieure à 500 km² et sont répartis dans les différentes régions géographiques. L'étude de grands bassins versant nécessite en plus que ces paramètres soient ensuite régionalisés. Pour cela, la méthode d'optimisation a été homogénéisée. Pour les paramètres du sol et du ruissellement, la méthode du modèle IRMB basée sur la séparation de l'hydrogramme observé en écoulement superficiel et en écoulement de base a été suivie. Les critères adoptés par les utilisateurs du modèle IRMB ont été formalisés et une procédure semi-automatique a été développée. Pour les paramètres des réservoirs souterrains, un algorithme automatique efficient a été utilisé : le « shuffled complex evolution algorithm » de l'Université d'Arizona (Duan et al., 1992).

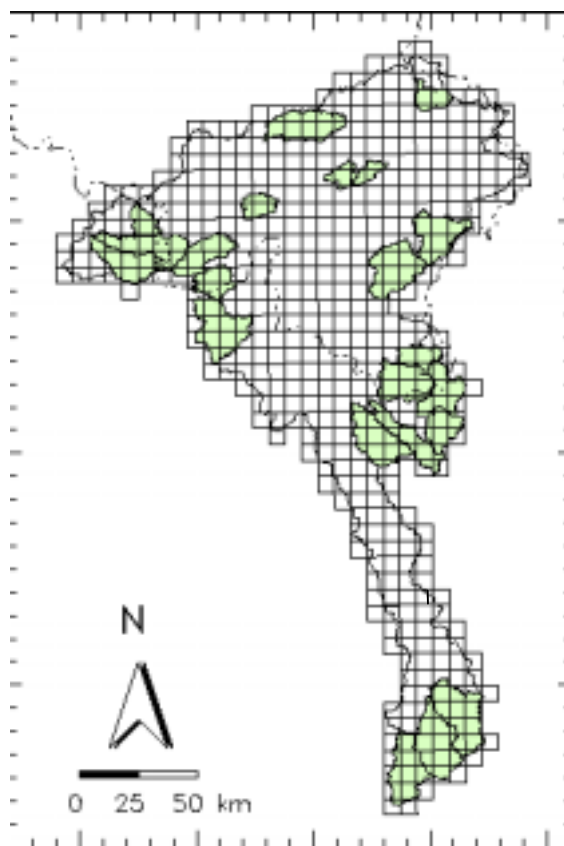


Figure 2 Grille du modèle SCHEME appliqué à la Meuse, bassins versants choisis pour l'optimisation des paramètres

Pour la régionalisation des valeurs des paramètres, une information géographique disponible sur tout le domaine étudié, c'est-à-dire sur tout le bassin de la Meuse en France et en Belgique, a été trouvée dans la carte d'occupation du sol CORINE Land Cover (European Topic Centre on Land Cover, Kiruna, Suède) et dans la cartes des sols des pays européens au

1 :1000000 (European Soil Bureau, JRC, Ispra, Italie) et. A partir de ces cartes, des indices ont été calculés : les classes d'occupations du sol de CORINE ont été regroupées en forêts caducifoliées, forêts sempervirentes, prairies et cultures dont les fractions d'occupation sur tous les sous-bassins et sur toutes les mailles de la grille ont été calculées. Pour la carte des sols, les attributs des différentes unités cartographiques ont été utilisés tels la texture, la présence éventuelle d'une phase (sols caillouteux, sols superficiels, etc.) et la classe topographique à laquelle appartiennent les séries de sols dominant dans l'unité. Le nom FAO correspondant à l'unité cartographique a été aussi utilisé. Par exemple, les unités dont le nom indique que le sol présente des degrés divers de gleyfication ont été regroupées et la fraction de la surface couverte de sols de ce groupe constitue un des indices.

Des relations empiriques entre les valeurs des paramètres optimisés sur les sous-bassins et différentes combinaisons des indices calculés à partir des deux cartes ont été recherchées à l'aide d'un algorithme de réseau de neurones artificiels (Goodman et al., 1996). Les meilleurs « modèles neuronaux » ont été choisis sur base du coefficient de corrélation entre la valeur obtenue par optimisation et la valeur recalculée avec le modèle sur base des indices géographiques (Figure 3). Comme l'effectif de l'échantillon est petit, le coefficient est corrigé par une procédure adaptée. L'étape suivante consiste à appliquer les modèles sélectionnés pour chaque paramètre à tout le domaine, y compris à des mailles qui ne correspondent pas à un sous-bassin jaugé (Figure 4).

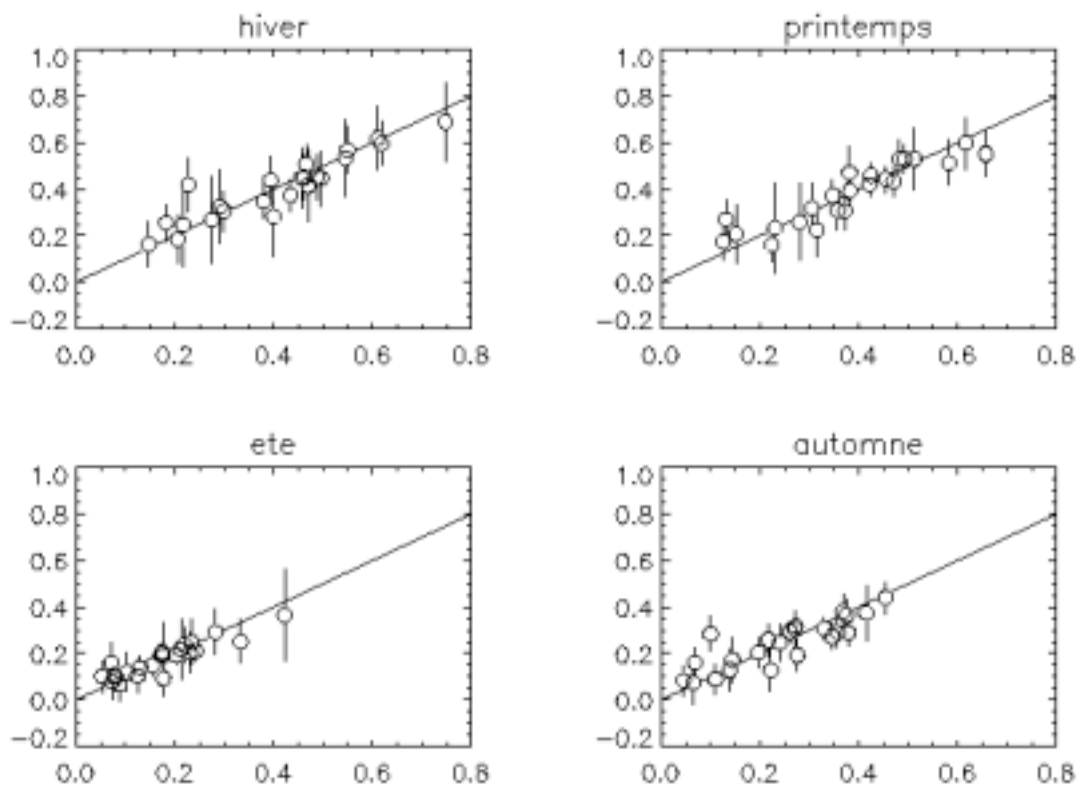


Figure 3 Coefficients de ruissellement saisonnier : en abscisse, valeur obtenue par optimisation du modèle sur les sous-bassins, en ordonnée, valeur calculée par le réseau de neurones artificiels à partir de l'information des cartes de sol et d'occupation du territoire.

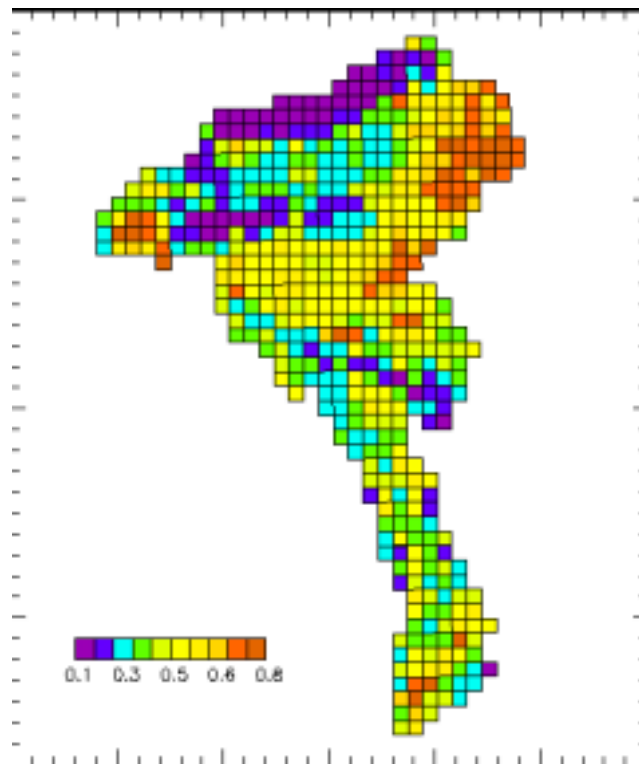


Figure 4 Résultat de la régionalisation du coefficient de ruissellement pour l'hiver sur la grille du modèle SCHEME appliqué à la Meuse.

La dernière adaptation du modèle consiste à calculer le routage des écoulements produits dans chaque maille vers l'exutoire choisi. Pour ce module, la méthode de Naden (1992) a été adoptée. Cette méthode est basée sur la fonction de largeur du réseau hydrographique (Figure 5) et sur une solution de l'équation de l'onde diffusante, approximation du système d'équations de Saint-Venant. Ces équations sont caractérisées par deux paramètres, la vitesse de propagation de l'onde de crue et la diffusivité (Figure 6). Des équations physiques sont à la base de l'algorithme utilisé mais les deux paramètres n'ont qu'une signification empirique puisqu'ils sont appliqués à l'ensemble du réseau hydrographique jusqu'à un exutoire. Leur valeur peut être estimée à partir des relations de géométrie hydraulique mais ici, leur valeur a été estimée par essais et erreur pour quelques sous-bassins de superficie supérieure à 500 km². La méthode s'avère peu sensible à la diffusivité. La régression entre la vitesse et la superficie drainée a été utilisée comme méthode de régionalisation pour ce paramètre.

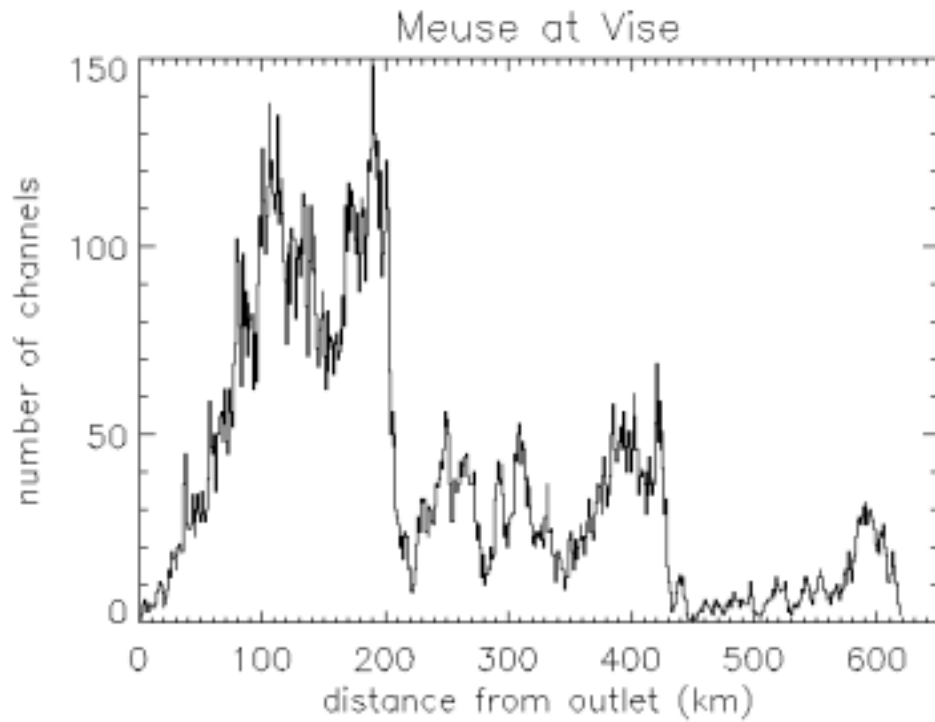


Figure 5 Fonction de largeur de la Meuse à Visé: nombre de canaux à des distances croissantes de l'exutoire le long du réseau hydrographique.

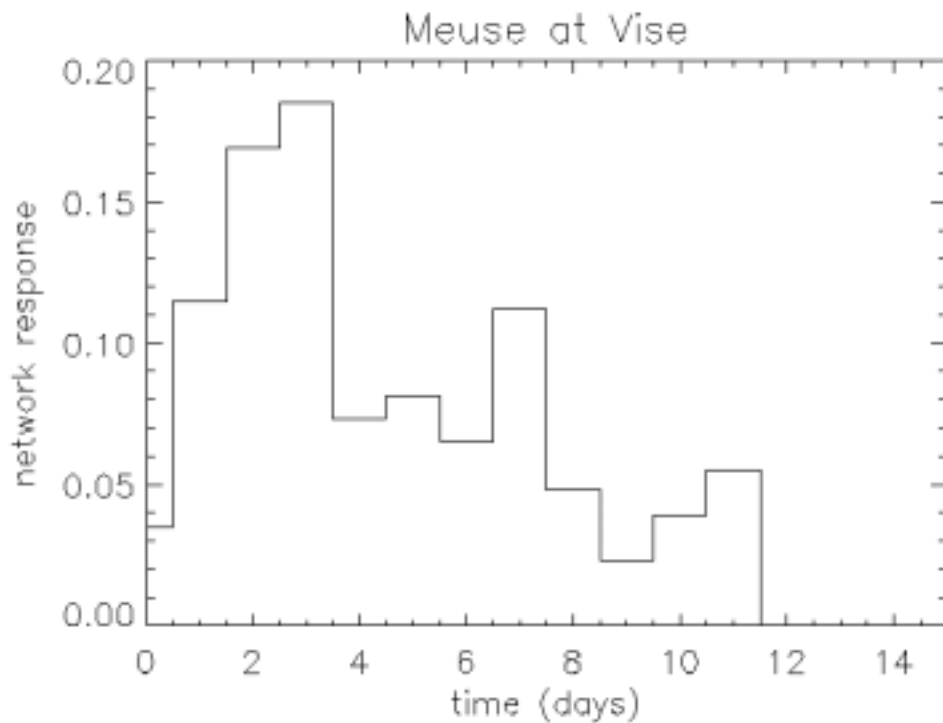


Figure 6 Réponse du réseau hydrographique de la Meuse à Visé pour des valeurs des paramètres V et D de respectivement $0,6 \text{ ms}^{-1}$ et 1 ms^{-2} .

9.2.3 Premiers résultats

La méthode a été validée en comparant les débits calculés par le modèle SCHEME aux valeurs observées, sur la période (1989-1995). Le Tableau 1 présente les valeurs de différents indices statistiques pour des bassins versants de plus de 500 km². Aux Figures 7, 8 et 9, les hydrogrammes observés respectivement sur l'Eau Blanche à Nisme, la Lesse à Gendron et la Meuse à Ampsin sont comparés aux séries correspondantes simulées par le modèle SCHEME. La procédure d'estimation des coefficients de ruissellement a été ensuite améliorée, en particuliers pour l'été et l'automne.

Tableau 1. Validation du modèle SCHEME sur les grands sous-bassins, pendant la période de validation [1989,1995]; n, effectif, rms, erreur quadratique moyenne, r², coefficient de corrélation, ntd, coefficient de Nash.

rivière	exutoire	superficie	n	rms	biais	r ²	ntd
Meuse	Domremy	1031	2556	0.741	0.180	0.771	0.754
Meuse	St Mihiel	2540	2556	0.563	0.041	0.873	0.848
Meuse	Montcy ND	7724	1953	0.417	0.060	0.923	0.906
Chiers	Chauvency	1700	2556	0.443	0.150	0.896	0.880
Semois	Haulme	1336	2556	1.394	0.085	0.856	0.774
Meuse	Chooz	10120	2331	0.496	0.079	0.917	0.890
Lesse	Gendron	1343	2556	0.697	0.044	0.876	0.857
Ourthe	Nisramont	737	2556	0.828	0.019	0.854	0.839
Ourthe	Tabreux	1616	2556	0.632	0.096	0.877	0.867
Ambleve	Martinrive	1068	2556	0.780	0.227	0.845	0.828
Ourthe	Comblain	2755	2556	0.651	0.146	0.872	0.864
Meuse	Ampsin	16525	2556	0.462	0.156	0.906	0.886

9.2.4 Projets

Le projet « Modélisation intégrée du cycle hydrologique dans un contexte de changements climatiques » dans le cadre du programme de recherche « Global change et développement durable » des Services fédéraux des Affaires Scientifiques Techniques et Culturelles (1997-2000). Les scénarios climatiques les plus récents proposés par le Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC ou IPCC) sont utilisés pour une analyse de sensibilité du cycle hydrologique à l'échelle des grands bassins versants belges aux changements climatiques.

Le projet intitulé « Effect of climate change on the hydrology of the river Meuse » dans le cadre du programme national néerlandais sur la pollution de l'air et les changements climatiques globaux (NRP). Ce projet se focalise sur l'étude des épisodes de sécheresse.

Le projet intitulé « Data assimilation within an unifying modelling framework for improved river-basin water resources management » (ou DAUFIN) dans le cadre du Cinquième programme-cadre de la Communauté européenne (2000-2001). Les techniques d'assimilations de données appliquées à la modélisation hydrologique seront testées dans cette étude pilote sur le bassin versant de l'Ourthe.

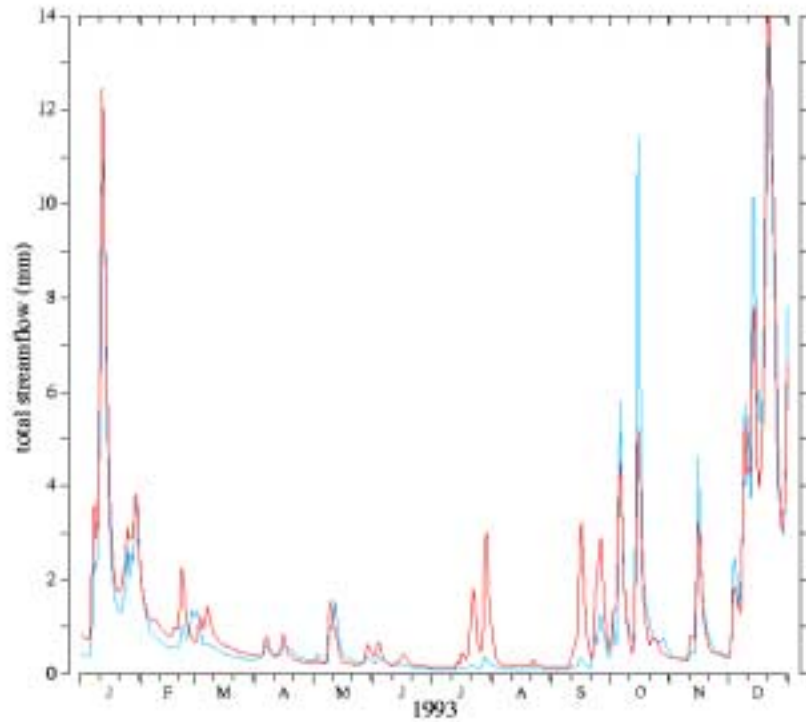


Figure 7 Ecoulement observé (en bleu) et simulé par le modèle SCHEME en (rouge) pour l'Eau Blanche à Nismes en 1993.

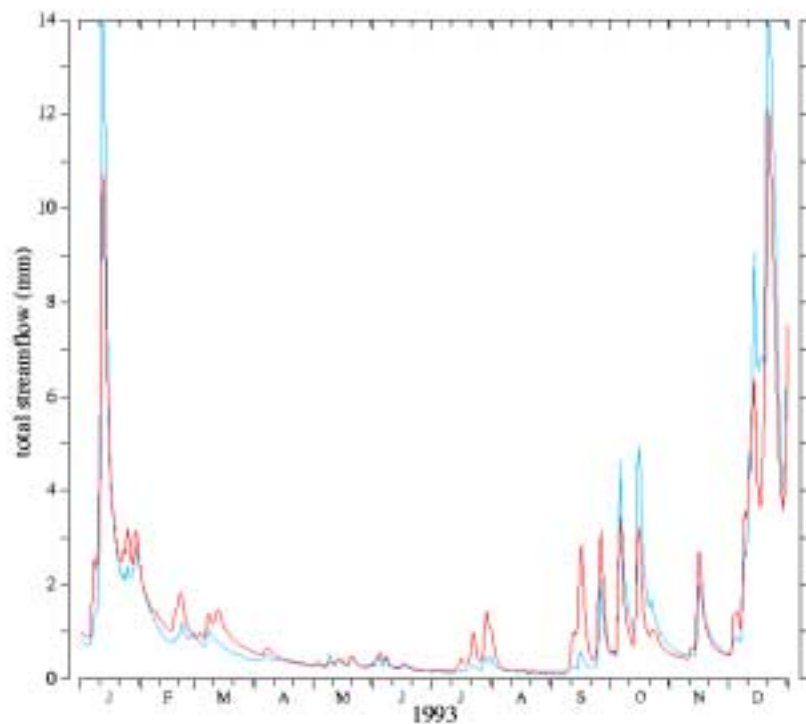


Figure 8 Ecoulement observé (en bleu) et écoulement simulé par le modèle SCHEME (en rouge) pour la Lesse à Gendron en 1993.

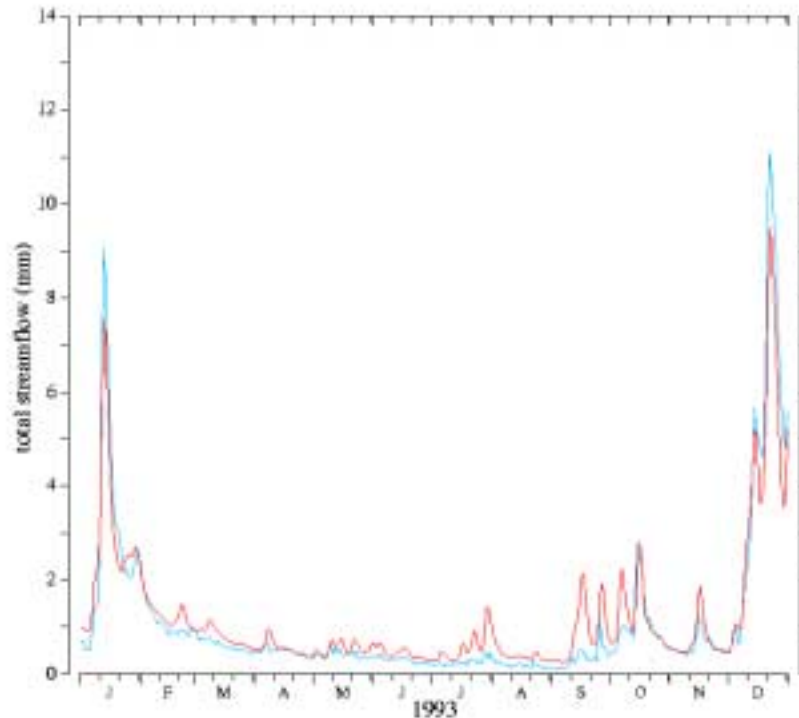


Figure 9 Ecoulement observé (en bleu) et écoulement simulé par le modèle SCHEME (en rouge) pour la Meuse à Ampsin en 1993.

9.2.5 Bibliographie

- Bultot, F. and G.L. Dupriez, 1976. Conceptual hydrological model for an average-sized catchment area. *J. Hydrol.*, 29, 251-292.
- Bultot, F., A. Coppens, et G. Dupriez, 1983. Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique (Procédure révisée). Institut Royal Météorologique de Belgique, Publications, série A, n°112, 28 pp, Bruxelles.
- Bultot, F., G.L. Dupriez and D. Gellens, 1988 a. Estimated regime of energy-balance components, evapotranspiration and soil moisture for a drainage basin in the case of a CO₂ doubling. *Climatic Change*, 12, 39-56.
- Bultot, F., A. Coppens, G.L. Dupriez, D. Gellens, and F. Meulenberghs, 1988 b. Repercussions of a CO₂ doubling on the water cycle and on the water balance – A case study for Belgium. *J. Hydrol.*, 99, 319-347.
- Duan, Q., Sorooshian, S. Gupta, V., 1992. Effective and efficient global optimisation for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resour. Res.*, 28, 1015-1031.
- Gellens, D. and Roulin, E., 1998. Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. *J. Hydrol.*, 210, 242-258.
- Goodman, P.H., 1996. Nevprop software, version3. Reno, NV: University of Nevada.
- Naden, P.S., 1992. Spatial variability in flood estimation for large catchments: the exploitation of channel network structure. *Hydrol. Sci. J.*, 37: 53-71.

9.3 Discussion

Questions de Mr BERTRAND / D.213-MET

L'I.R.M. a-t-il pu observer des variations du rapport pluies / débit ces dernières années?

Réponse de Mr G. DEMAREE / IRM

Il n'est pas évident de répondre. Nous disposons de 3 X 30 années de statistiques à Uccle et on n'a pas constaté de changements significatifs dans les relations IDF. Mais, c'est très souvent un problème d'échantillon car on n'a pas toujours observé les événements extrêmes mentionnés par Mr PERSOONS.

Par contre, nous les avons observés à Deurne les 14 et 15/09/98 et nous établissons pour l'instant des courbes d'intensité / durée / fréquence pour une trentaine d'années jusqu'en 97, 98, 99 (durée de précipitation allant de 10 minutes à +/- 10 jours). Nous verrons dans les prochains jours quelles différences pourraient se dégager.

Remarque de Mr E. PERSOONS

Juillet 97 à Woluwé-St.-Lambert : 45 mm. de pluie en 1 h et 2 mm. à Uccle !

Remarque de Mme S. DAUTREBANDE

Il existe une courbe dite des pluies exceptionnelles établie en 1970 par RUTI. Les pluies citées se rangent encore dans ces courbes. Les dépassent-elles statistiquement ?

Remarque de Mr R. MICHEL / DGATLP-MRW

Il y a eu récemment de gros problèmes dans le Brabant wallon, mais aussi dans le Brabant flamand. C'est dû à l'urbanisation, mais aussi aux pratiques agricoles.

Mr E. PERSOONS

En 15 ans, 2/3 des exploitants agricoles ont disparu. Pourrait-on dire alors que les parcelles ont été augmentées d'un facteur 3 ? C'est une série de phénomènes qui jouent mais il est clair que le remplacement des prairies et des cultures de céréales par des cultures sarclées (pommes de terre) a contribué à augmenter le ruissellement. Les pommes de terre, les betteraves sont cultivées perpendiculairement aux courbes de niveau, d'où leur influence sur le ruissellement et l'érosion.

Mme S. DAUTREBANDE

Sur base de nombreuses expertises et missions de conseil, je tiens à faire remarquer que ce n'est pas nécessairement l'agriculture qui intervient mais c'est parfois parce qu'on a mis un habitat à la place d'une forêt ; à la suite de cela, l'eau déboile à l'aval et entraîne du ravinement. Ce sont des problèmes particuliers de ruissellement et de coulée de boue concentrés ; s'il n'y avait que l'agriculture, il y aurait plutôt des problèmes d'érosion diffuse. C'est donc la conjonction de problèmes de voirie, de suppression de fossés, de voûtements de cours d'eau, associés à l'augmentation du ruissellement dû aux pratiques agricoles. C'est une problématique d'ensemble de l'aménagement du territoire.

Questions de Mr DEWIL / D.212-MET

Dans les différents scénarios de modélisation exposés, on est chaque fois parti d'une pluie centennale. Mais de quel durée de pluie centennale s'agit-il ? De pluie journalière ou de durée plus courte ?

Réponse de M. E. PERSOONS

Jusqu'ici nous avons appliqué la théorie de LINSLEY, qui dit que c'est la pluie d'une durée égale au temps de concentration qui provoque le maximum de débit à l'exutoire du bassin. Mais nous avons constaté que les modèles ne répondaient pas à cette loi ; on a remarqué que cette loi n'est valable que si les surfaces inter-isochrones sont égales.

C'est important pour la Thyle par exemple où avec un temps de concentration de 9 à 10 heures, le maximum de pic se produit pour une pluie de 4 à 5 h.

10 Conclusion de Ir J. LAURENT

Je voudrais, avant de terminer cette réunion très agréable, émettre d'abord un regret, c'est que malheureusement, nous n'avons pas pu discuter à propos du radar hydrométéorologique. Mais le projet de l'IRM n'est pas suffisamment avancé et nous espérons bien que nous pourrions bientôt utiliser et développer des outils concernant ce radar qui sera installé quelques part aux environs de Libramont.

Je voudrais aussi vous signaler qu'il y a d'autres manifestations qui ont lieu ces jours-ci ; notamment, à la fin de la semaine, le programme IRMA organise une réunion du projet IRMA-SPONGE à Maastricht et qui concerne toute une série de projets dans le domaine de la lutte contre les inondations.

Je souhaite vous signaler que nous espérons que, si tous les auteurs transmettent les documents relatifs à leur intervention, les exposés pourront être édités. D'autre part, toutes vos suggestions sont toujours les bienvenues. Il y a une adresse électronique sur l'invitation, vous pouvez toujours faire vos remarques concernant le déroulement de cette journée.

Le moment est venu de remercier :

- d'abord, les scientifiques, qui ont présentés leurs travaux avec beaucoup de clarté, de soin, de précision,
- de vous remercier vous tous, qui avez participé avec une bonne écoute et de nombreuses questions,
- tout ceux qui ont contribué à l'organisation de cette journée, et notamment, toute une série de membres du Service d'études hydrologiques,
- nos interprètes, qui se sont bien débrouillés face à des exposés parfois difficiles,
- et aussi, nos grands patrons, managers des grands projets, les autorités régionales, nationales et européennes, qui à un moment donné ont été convaincus par notre volonté de développement, par une certaine effervescence des idées, des projets, des activités, et ont accepté de consacrer l'énergie et les moyens suffisants pour entamer ce qui constitue des sauts technologiques, à la fois quantitatifs et qualitatifs. Ce que je m'obstine toujours à appeler, confusément, par le concept de nouveaux programmes hydrologiques.

Je ne tirerais pas de conclusion générale, ni académique, ni administrative, ni politique. Chaque session a bien approfondi les différents aspects de son sujet et a tiré ses conclusions sans perdre de vue, ce qui à mes yeux est le plus important, l'intégration nécessaire, et qui est en plein développement, de la recherche dans la réalité, c'est-à-dire dans le monde opérationnel.

Je voulais vous remercier de votre participation. Une journée comme aujourd'hui permet de combler le déficit d'information, de concertation, de dialogue qui existe entre nous parce que nous n'avons pas le temps de prendre le temps de travailler ensemble. Aujourd'hui, nous avons pris un peu de ce temps et j'espère que vous en êtes satisfaits.



DG XIII
Innovation program

DG XVI
INTERREG IIC



Avec le soutien de :

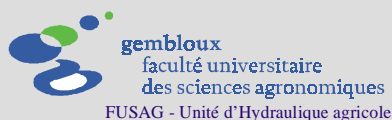


**MINISTÈRE WALLON DE
L'ÉQUIPEMENT ET DES
TRANSPORTS**



Direction générale des Voies hydrauliques

et la collaboration de :



UCL
Université
Catholique
de Louvain

Service d'Hydraulique
Unité de Génie rural



Centre d'Ingénierie des Systèmes, d'Automatique et de
Mécanique Appliquée



Centre d'Etude et de Modélisation de l'Environnement
Laboratoire d'Hydraulique et de Mécanique des fluides
Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur,
d'Hydrogéologie et de prospection géophysique

Université de Liège

Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles
et la Promotion des Technologies propres

