

Etude générale des crues de



la Meuse

EPAMA
BCEOM

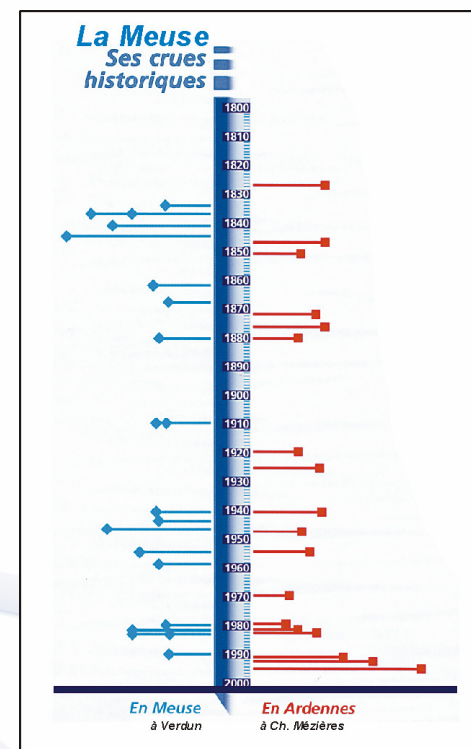
Rappel des enjeux et des objectifs : Des crues fréquentes...

- ➔ dans les Ardennes, en janvier 1991, décembre 1993 et surtout janvier 1995 ;
- ➔ dans la Meuse et les Vosges, avril 1983, janvier 1995, et janvier 2002



... et dévastatrices

- ➔ Crue de 1993 : 1 mort et 120 M€ de dégâts en France
- ➔ Crue de 1995 : 9 blessés et 245 M€ de dégâts en France



Les objectifs de l'étude générale :

- ➔ estimer les risques et les enjeux liés aux crues ;
- ➔ rechercher en conséquence les aménagements les plus adaptés pour réduire l'impact des inondations à l'échelle du bassin versant
- ➔ disposer d'un outil de modélisation permettant d'étudier des scénarios d'aménagements ;
- ➔ mettre en place un modèle de prévision des crues opérationnel en temps réel.

Présentation du bassin de la Meuse

Le bassin de la Meuse française correspond à environ la moitié de la longueur totale de la rivière.

- **3 pays**: la France, la Belgique et les Pays-Bas
- **5 départements**: la Haute-Marne, les Vosges, la Meurthe et Moselle, la Meuse et les Ardennes.
- **Deux régions**: Lorraine et Champagne-Ardenne.

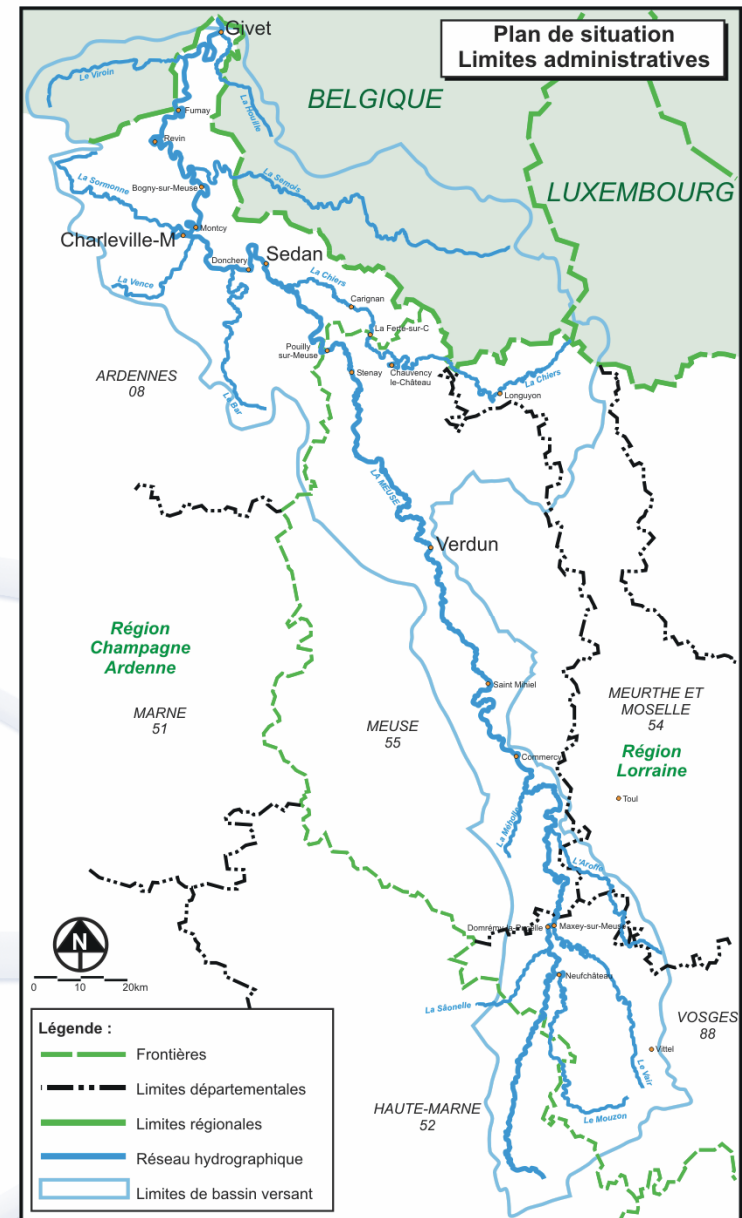
Son bassin versant : 10350 km²

Q_{10} à Givet = **1200 m³/s**

V_{10} 10 jours à Givet = **860 millions de m³**

Q_{100} à Givet = **1900 m³/s**

V_{100} 10 jours à Givet = **1300 millions de m³**



Les objectifs de l'étude hydrologique :

- ➔ expliquer la genèse et définir la typologie des crues de la Meuse ;
- ➔ comprendre le fonctionnement du bassin afin de mettre en place des stratégies d'aménagement ;
- ➔ définir des crues de référence afin de fournir les conditions aux limites du modèle hydraulique, de proposer des objectifs de protection et d'évaluer la pertinence économique des aménagements ;
- ➔ établir un modèle hydrologique pluie-débit qui servira pour la prévision des crues en temps réel.



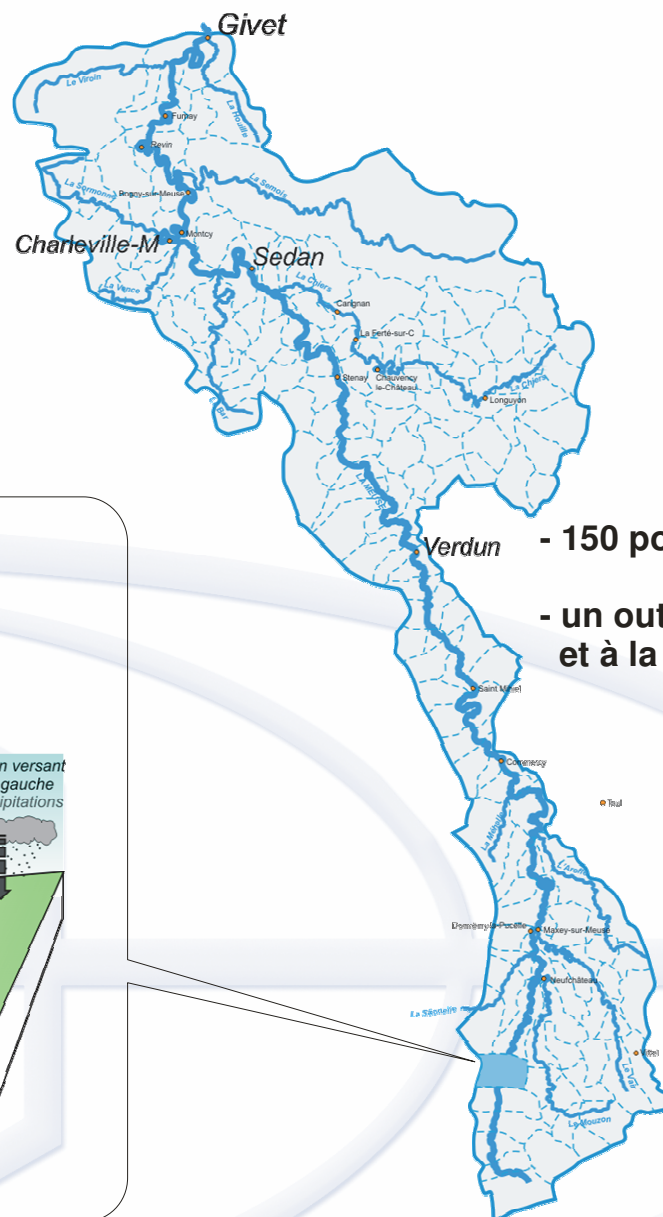
La méthodologie et les outils mis en œuvre :

L'étude hydrologique a consisté en :

- ➔ une critique et une analyse statistique de l'ensemble des données disponibles sur le bassin :
 - données enregistrées aux stations hydrométriques et aux échelles de crue,
 - données historiques des 2 derniers siècles.
- ➔ une analyse fine de la genèse des crues par la mise en œuvre d'un modèle hydrologique général . . .

Le modèle hydrologique

- ➔ expliquer la genèse des crues de la Meuse et définir avec une meilleure compréhension la typologie des crues ;
- ➔ faire l'étude préalable de l'impact des aménagements faisant intervenir les volumes de crue ;
- ➔ calculer les hydrogrammes d'entrée du modèle hydraulique détaillé ;
Il est intégré dans le modèle de prévision des crues installé à la DIREN de Nancy.

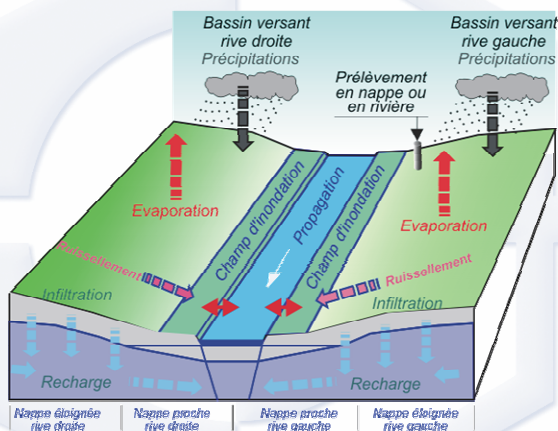


- 150 points de calcul

- un outil adapté au diagnostic et à la prévision en temps réel

Dans chacun des sous bassins, le cycle de l'eau est simulé :

- ▶ Les précipitations
- ▶ L'évaporation
- ▶ Le ruissellement
- ▶ L'infiltration
- ▶ La propagation
- ▶ Les débordements
- ▶ Le rôle de la nappe



Le modèle d'écoulement hydraulique

Construction du modèle :

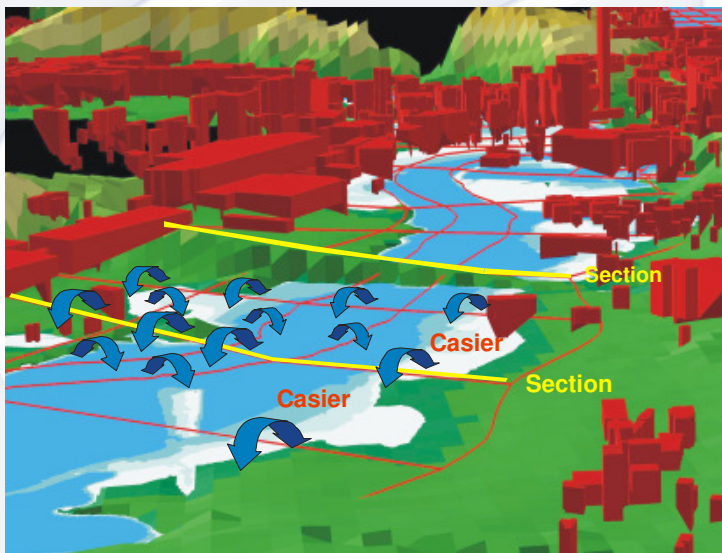
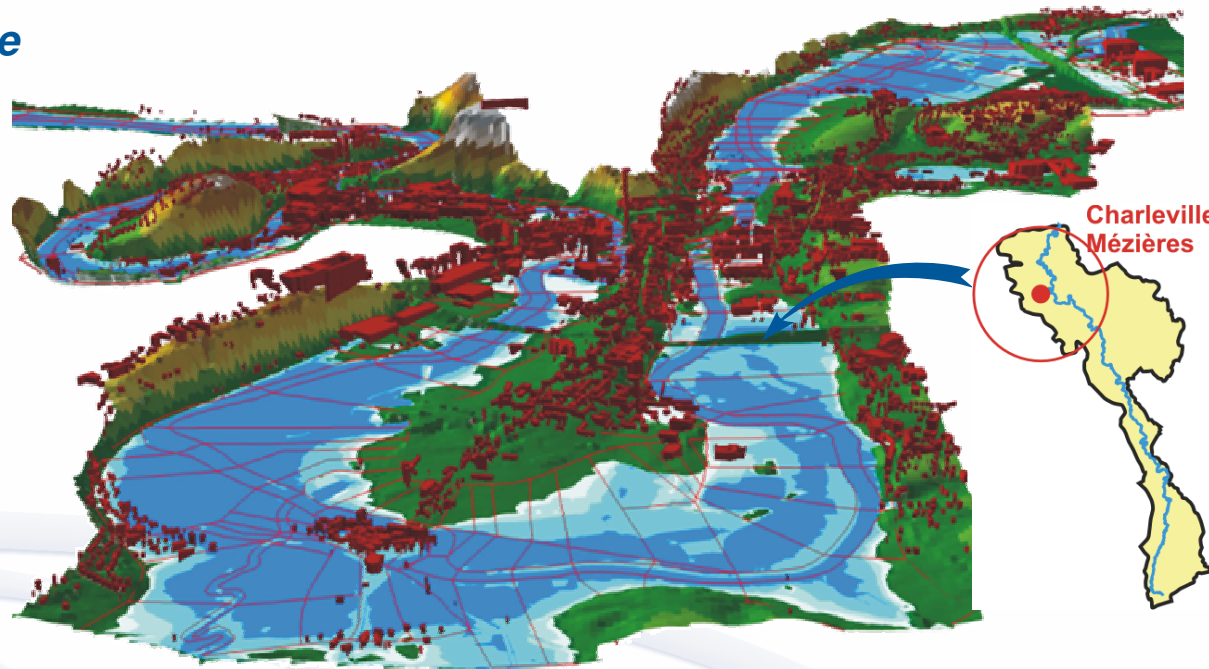
Les 480 km de vallées de la Meuse ont été modélisés par le biais de près de 3 000 casiers. La topologie en casiers permet de représenter les différentes directions d'écoulement et tous les obstacles à l'écoulement.

Calage du modèle :

Le modèle a été calé sur les trois crues historiques Représentatives des crues types de la Meuse (janvier 1995, décembre 1993 et avril 1983).

Exploitation du modèle :

Il permet de représenter l'écoulement des crues en



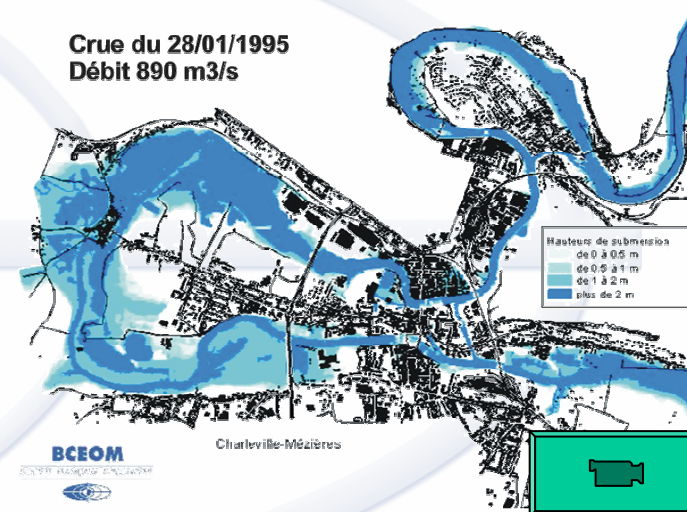
état actuel de la vallée ou en situation projetée d'aménagement.

Les résultats sont en chaque casier, à chaque instant de la crue :

- les cotes d'eau,
- les débits,
- les vitesses d'écoulement,
- les durées de submersion.

Le SIG permet de traduire automatiquement ces résultats sous forme cartographique.

Crue du 28/01/1995
Débit 890 m3/s



Le modèle d'écoulement hydraulique

Construction du modèle :

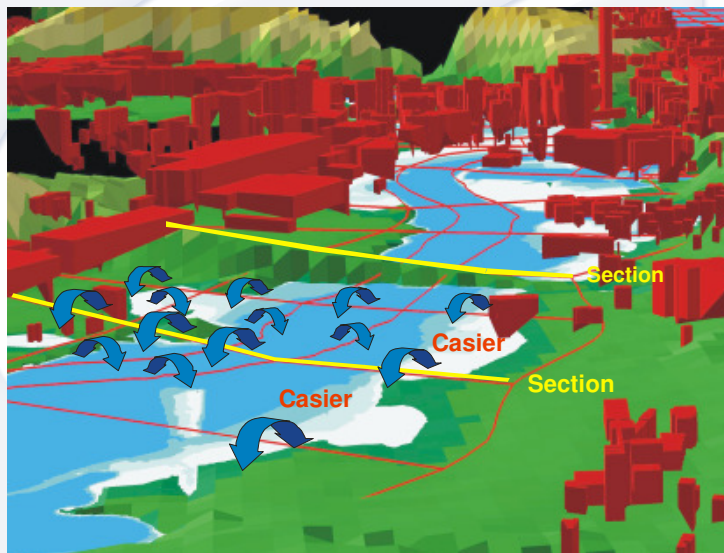
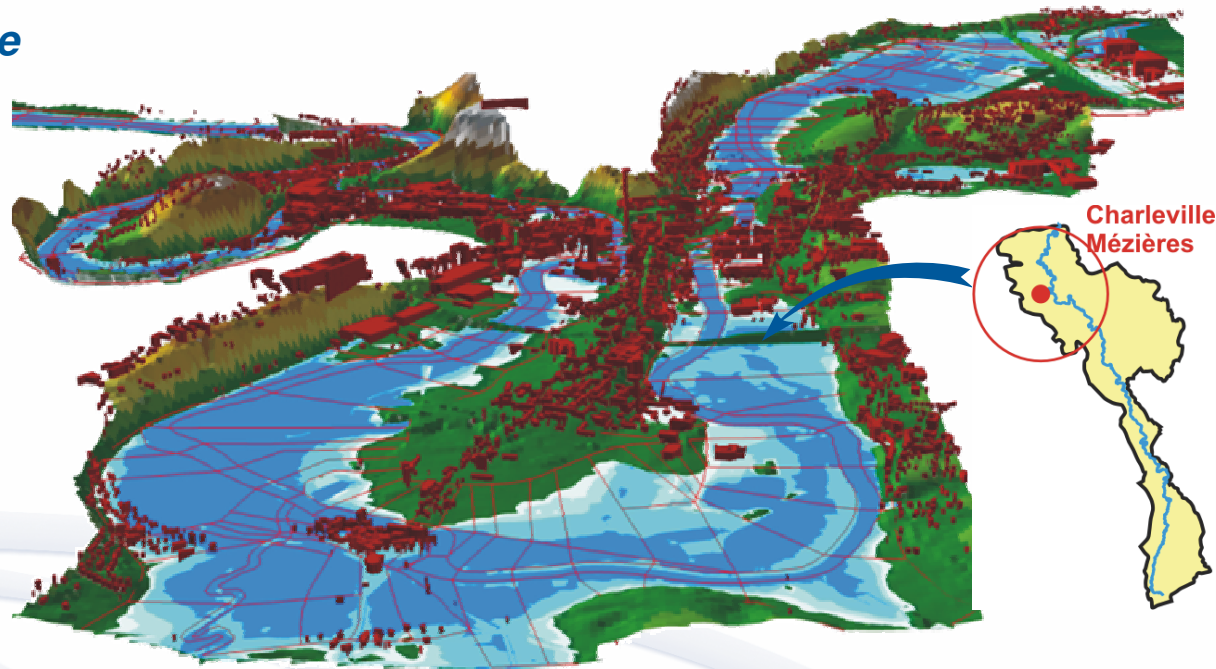
Les 480 km de vallées de la Meuse et de la Chiers ont été modélisés par le biais de près de 3 000 casiers. La topologie en casiers permet de représenter les différentes directions d'écoulement et tous les obstacles à l'écoulement.

Calage du modèle :

pour que le modèle reproduise fidèlement la réalité, il a été calé sur les trois crues historiques représentatives des crues types de la Meuse (janvier 1995, décembre 1993 et avril 1983).

Exploitation du modèle :

Il permet de représenter l'écoulement des crues en



état actuel de la vallée ou en situation projetée d'aménagement.

Les débits d'entrée proviennent du modèle hydrologique AGYR.

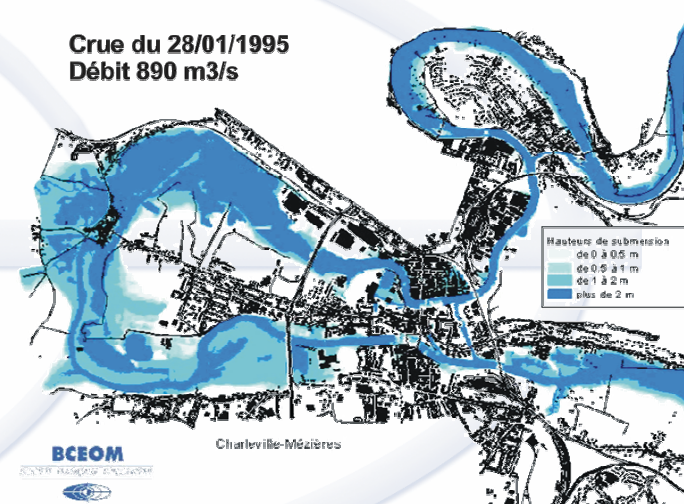
Les résultats sont en chaque casier,

à chaque instant de la crue :

- les cotes d'eau,
- les débits,
- les vitesses d'écoulement,
- les durées de submersion.

Le SIG permet de traduire automatiquement ces résultats sous forme cartographique.

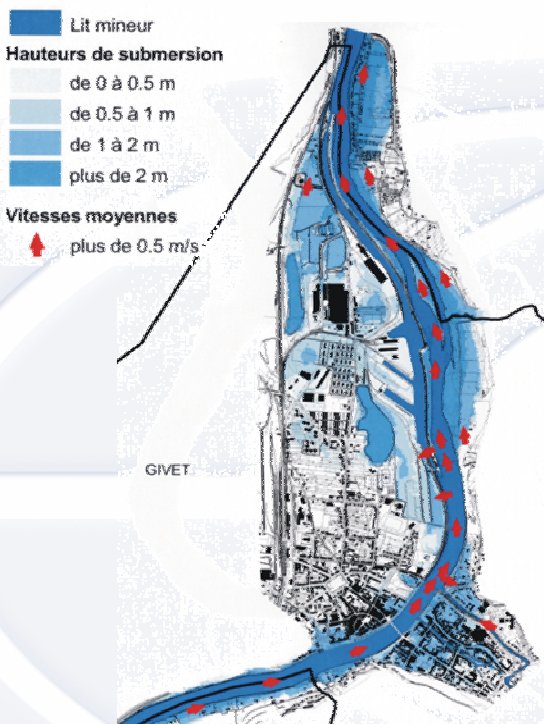
Crue du 28/01/1995
Débit 890 m³/s



Un diagnostic sous SIG

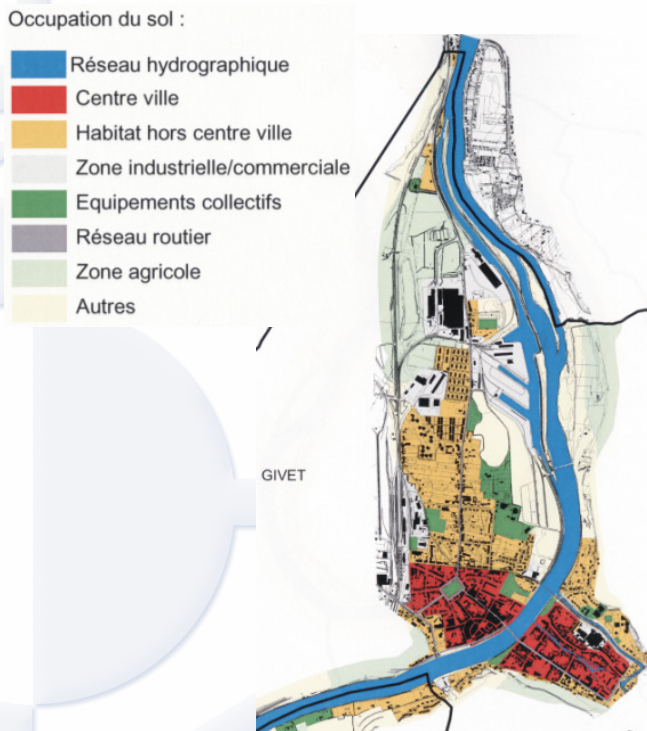
La cartographie de l'aléa hydraulique

permet d'exploiter de façon automatique l'ensemble des résultats du modèle hydraulique (cotes d'eau, débits, vitesses d'écoulement, durées de submersion) pour tracer les cartes des zones inondables.



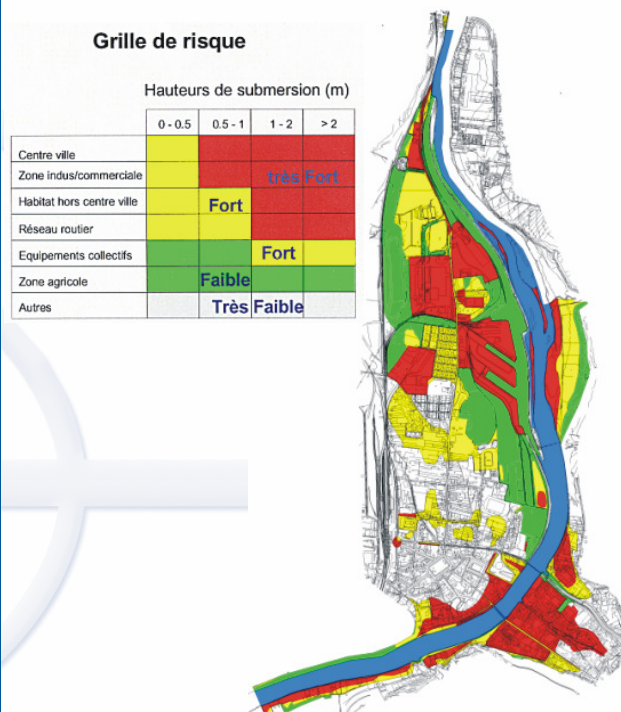
La cartographie de la vulnérabilité

Le risque lié aux inondations d'un secteur donné dépend d'une part des facteurs hydrauliques et d'autre part du type d'occupation du sol et d'activité développée dans ce secteur. Une carte de la vulnérabilité a donc été tracée sur les 174 communes riveraines des vallées étudiées, à l'échelle du 1/10 000.



La cartographie du risque

a permis de croiser la carte de l'aléa hydraulique avec la carte de la vulnérabilité, pour obtenir la carte de risque.



L'étude du coût des dommages inondations

CALYPSEAU permet de réaliser une évaluation du coût des dommages inondations :

Fonctions de coût surfacique :

A chaque type d'occupation du sol identifié dans la carte de vulnérabilité est associé un coût surfacique des dommages engendrés par les crues. Ces coûts sont fonction de la hauteur de submersion, principal facteur de variation dans le cas de la Meuse.

Principe du modèle de coût :

Le croisement sous SIG entre l'aléa hauteur d'eau et la vulnérabilité associée à ces fonctions de coût permet d'estimer le coût des inondations des crues de la Meuse, en état actuel de la vallée ou en situation projetée d'aménagement, sur l'ensemble des vallées modélisées ou sur une portion de vallée choisie.

Calage du modèle :

De même que le modèle hydraulique, le calcul du coût est calé sur celui des crues historiques récentes (janvier 1995, décembre 1993 et avril 1983).

Exploitation :

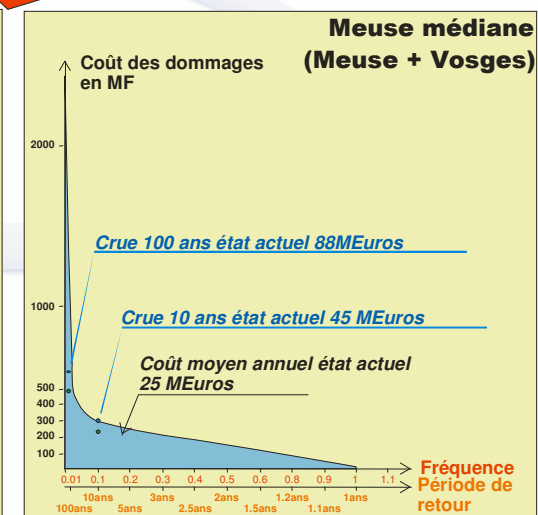
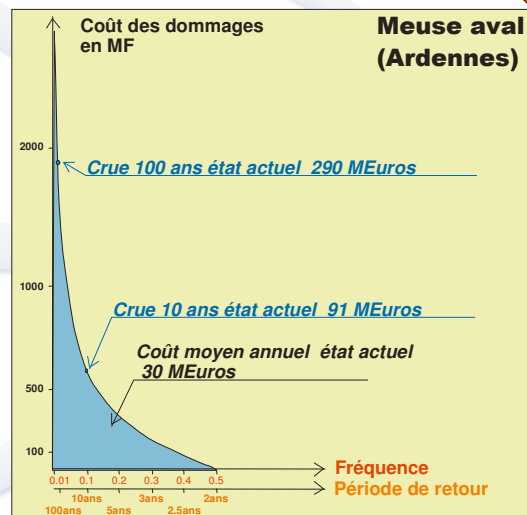
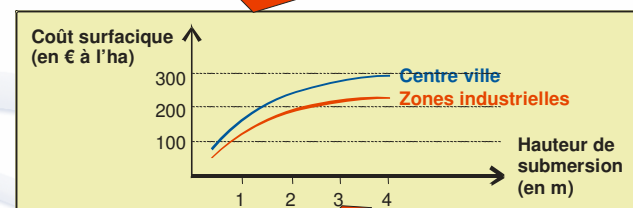
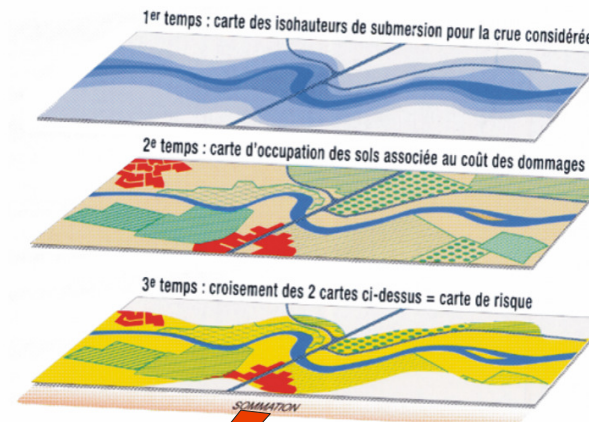
Le modèle de coût permet d'estimer :

➔ le coût des crues caractéristiques de la Meuse

pour chacune des 174 communes riveraines et sur l'ensemble du bassin ;

➔ le coût moyen annuel des crues ;

➔ l'opportunité économique d'aménagements.



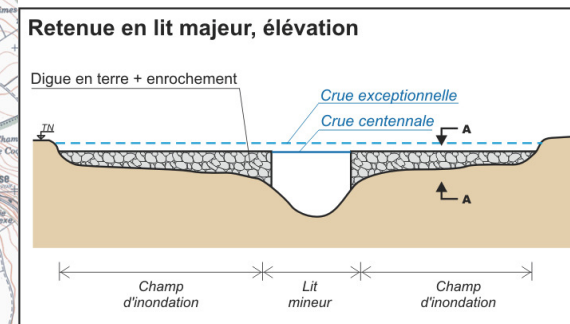
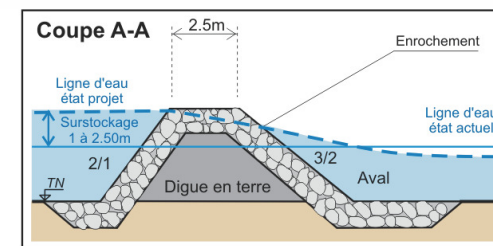
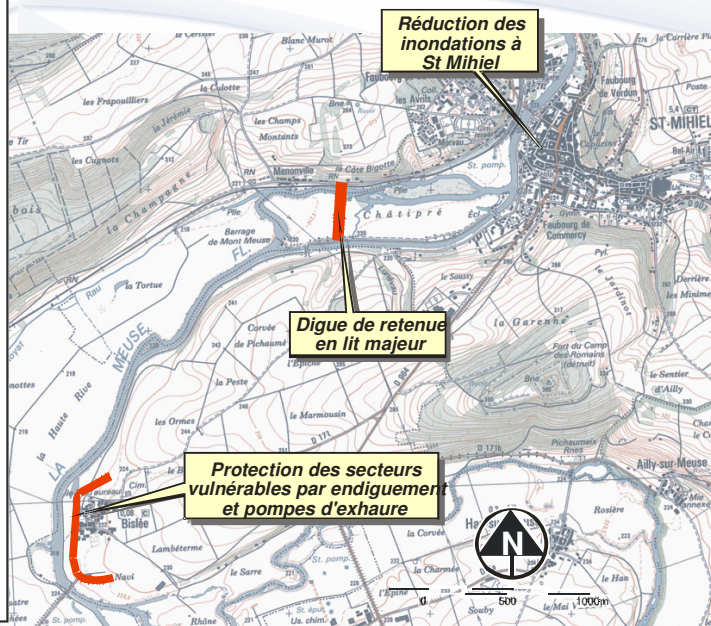
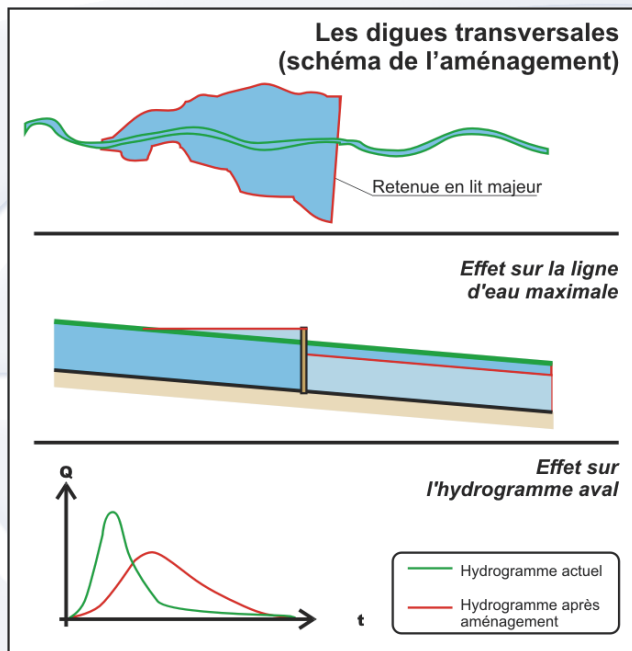
8 retenues en lit majeur: une protection globale par régulation des débits

L'aménagement de sept retenues dans le lit majeur de la Meuse médiane et d'une retenue dans le lit majeur de la Sormonne permettrait d'augmenter le volume de rétention et l'écrêtement des crues moyennes à fortes, sans impact sur les petites crues et les étiages.

La sur-inondation de prairies et de terres agricoles déjà inondées et peu sensibles en hiver permet ainsi de réduire l'inondation des sites vulnérables en Meuse et dans les Ardennes (ex. : St-Mihiel, Verdun, Stenay, Sedan, Charleville-Mézières, Givet...).

Dans les secteurs sur-inondés, les quelques zones urbanisées qui, dans la situation actuelle, sont en partie inondées sont totalement mises hors d'eau par l'aménagement de digues.

Les retenues en lit majeur sont constituées de digues en terre barrant l'écoulement des crues. Ces digues pourraient être totalement nouvelles ou s'appuyer sur des infrastructures existantes (routes en remblai).

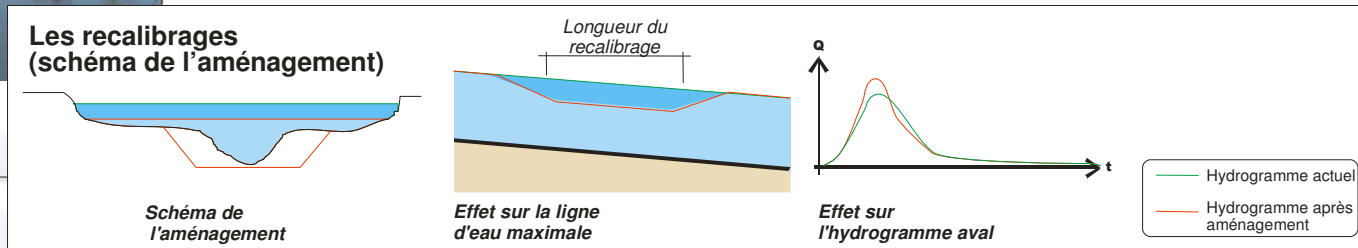




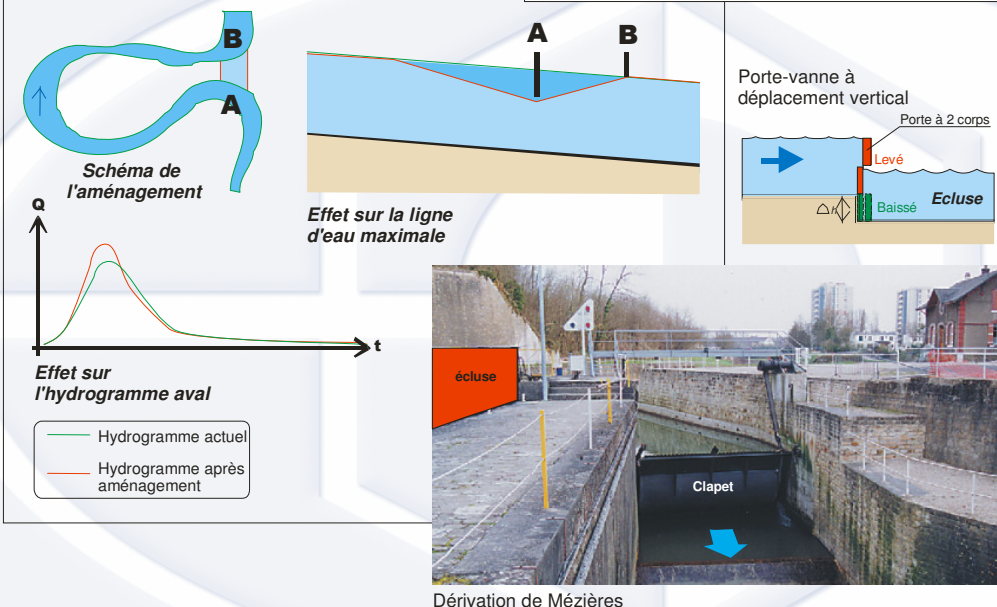
Les recalibrages

Sur les sites particulièrement sensibles et difficiles à protéger des crues par d'autres moyens, le recalibrage du lit de la Meuse permettrait de diminuer localement la cote des lignes d'eau de façon efficace.

L'impact induit par ce type d'aménagement: accélération des écoulements et impact environnemental notamment, conduit à le mettre en oeuvre le moins souvent possible et en l'accompagnant de mesures compensatoires.



Les coupures de boucle (schéma de l'aménagement)



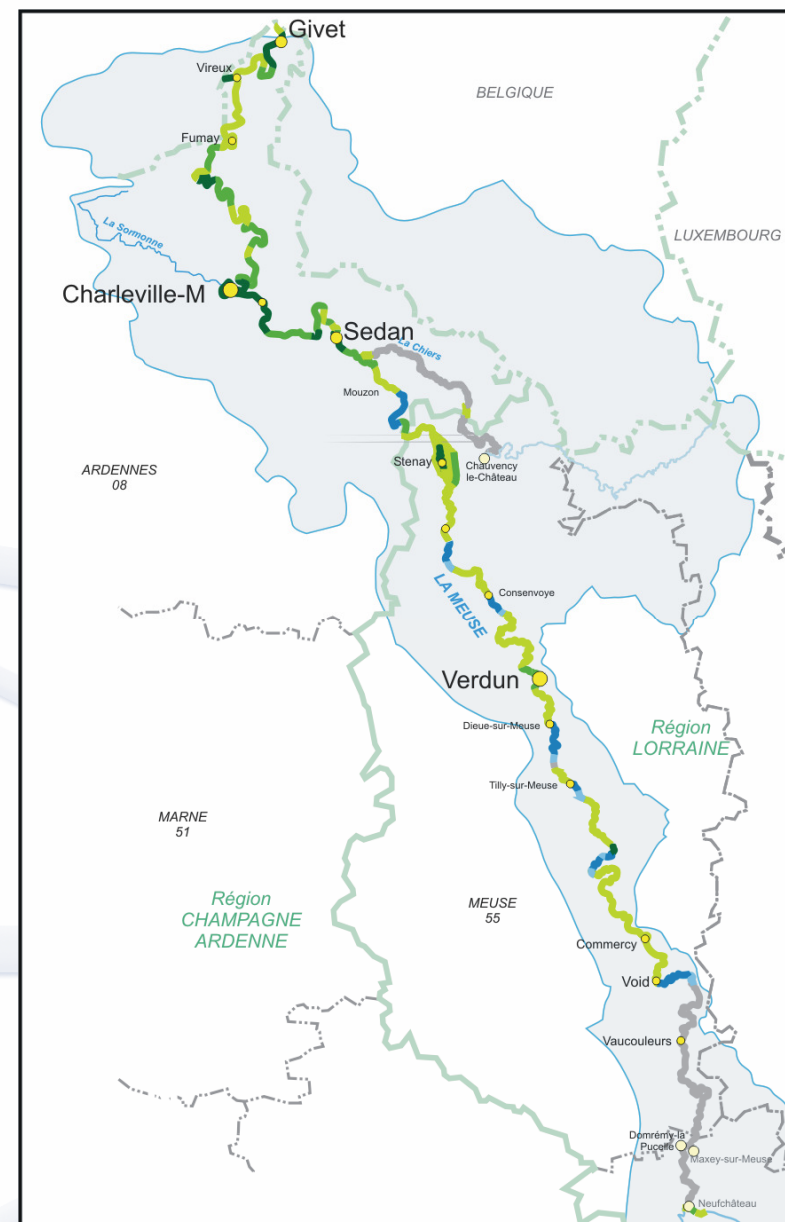
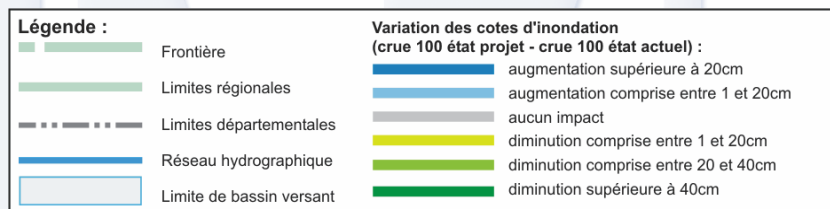
Les coupures de boucle

2 sites permettent d'aménager des coupures de boucle de manière efficace : Revin et Charleville-Mézières. Suite aux crues de 1993 et 1995, les coupures du canal navigables ont déjà été aménagées de telle sorte qu'elles évacuent une partie des débits de crue de la Meuse, allégeant d'autant la boucle court-circuitée. Les aménagements proposés consisteraient à augmenter la capacité de ces coupures.

> L'augmentation de capacité de la dérivation de Mézières, ne peut se faire que par le biais de l'écluse. L'utilisation du canal navigable pour évacuer une partie des débits de crue est proposé sur d'autres sites.

Des aménagements pour réduire les inondations

Les aménagements du scénario proposé permettent de réduire les cotes d'inondation des crues faibles aux crues exceptionnelles.



Analyse de l'opportunité économique des aménagements

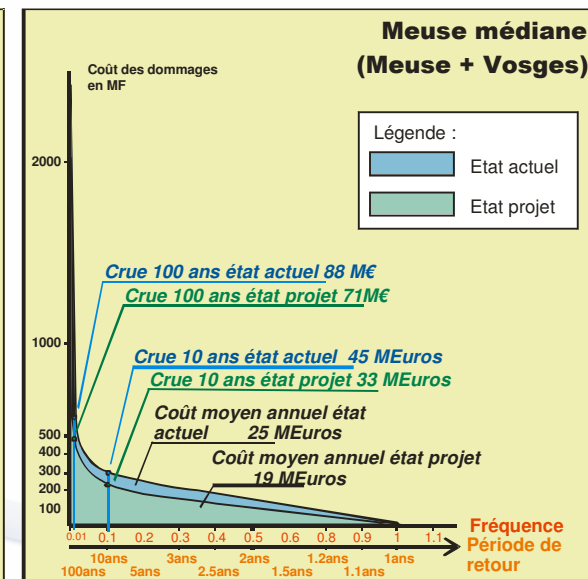
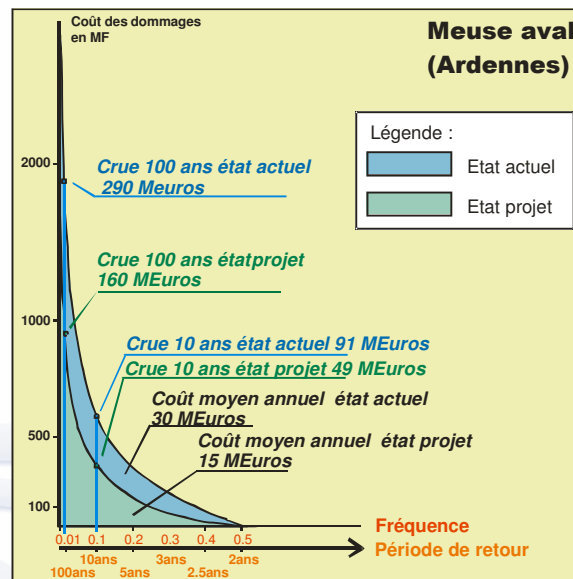
Les croisements entre aléa hydraulique, occupation du sol et coût des dommages permettent sous le SIG :

- ➔ de calculer le coût des crues caractéristiques dans l'état initial et après aménagement
- ➔ de comparer de façon automatisée ces coûts entre différents projets afin d'identifier le plus intéressant sur le plan économique;
- ➔ d'estimer le retour sur investissement prévisible du projet par la comparaison entre:
 - la réduction du coût moyen annuel des crues obtenue
 - et le coût du projet.

Cas de l'étude d'aménagement global de la Meuse française :

La réduction des cotes d'inondation obtenue avec l'ensemble des aménagements identifiés engendre une diminution du coût des dommages en rapport avec les coûts d'investissement à prévoir pour les travaux :

Coût moyen annuel des crues réduit de 21 M€/an pour des travaux estimés en première approche à 80 M€ (valeur 2000).



L'estimation du coût des travaux

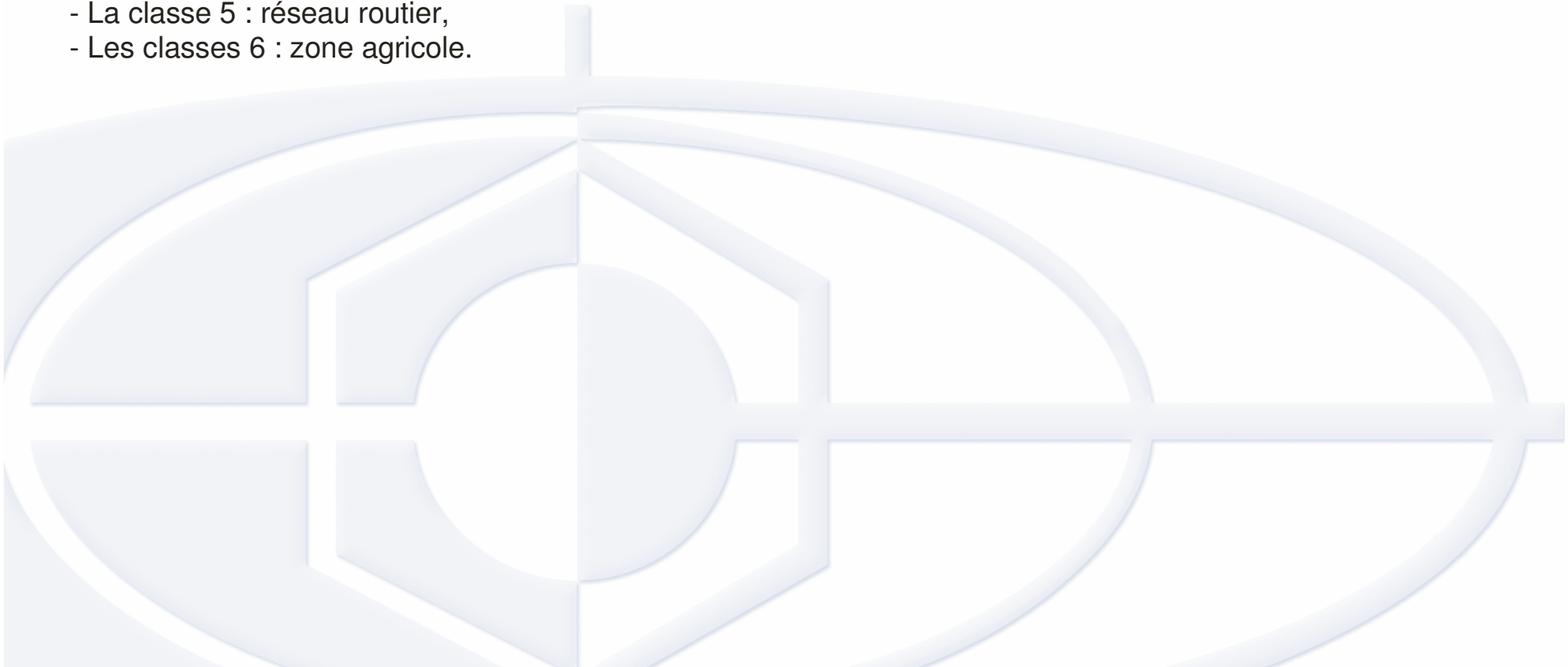
Aménagement global (8 retenues en lit majeur)	35 M€
Aménagement localisés Meuse médiane	8 M€
Aménagement localisés Meuse aval	37 M€
Total	80 M€

La collecte des données

- les préfetures des Ardennes, de la Meuse et des Vosges (et leur Service de Protection Civile) ;
- les Conseils Généraux des Ardennes, de la Meuse et des Vosges ;
- les DDE des Ardennes, de la Meuse et des Vosges ;
- les DDAF des Ardennes et de la Meuse ;
- les CCI des Ardennes (Charleville-Mézières et Sedan), de la Meuse (Bar-le-Duc) et des Vosges (Epinal) ;
- la Navigation du Nord-Est et ses subdivisions territoriales ;
- les 174 communes riveraines par le biais de l'enquête qui leur a été envoyée (Cf. *annexe 2.1*)
- la FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurances) dont :
 - * le CDIA (Centre de Documentation et d'Information des Assurances),
 - * l'APSAD (Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages),
- GEMA Prévention (Groupement des Entreprises Mutuelles d'Assurance) ;
- la Caisse Centrale de Réassurance ;
- l'AUF (Association d'Union du Faubourg d'Arches) ;
- EDF-GDF ;
- La SNCF ;
- France Télécom.

Les types d'occupation du sol

- La classe 1 : centre ville,
- La classe 2 : habitat hors centre ville,
- La classe 3 : zones industrielle et commerciale,
- La classe 4 : équipements collectifs,
- La classe 5 : réseau routier,
- Les classes 6 : zone agricole.



Les données de la FFSA

- Département des Ardennes :

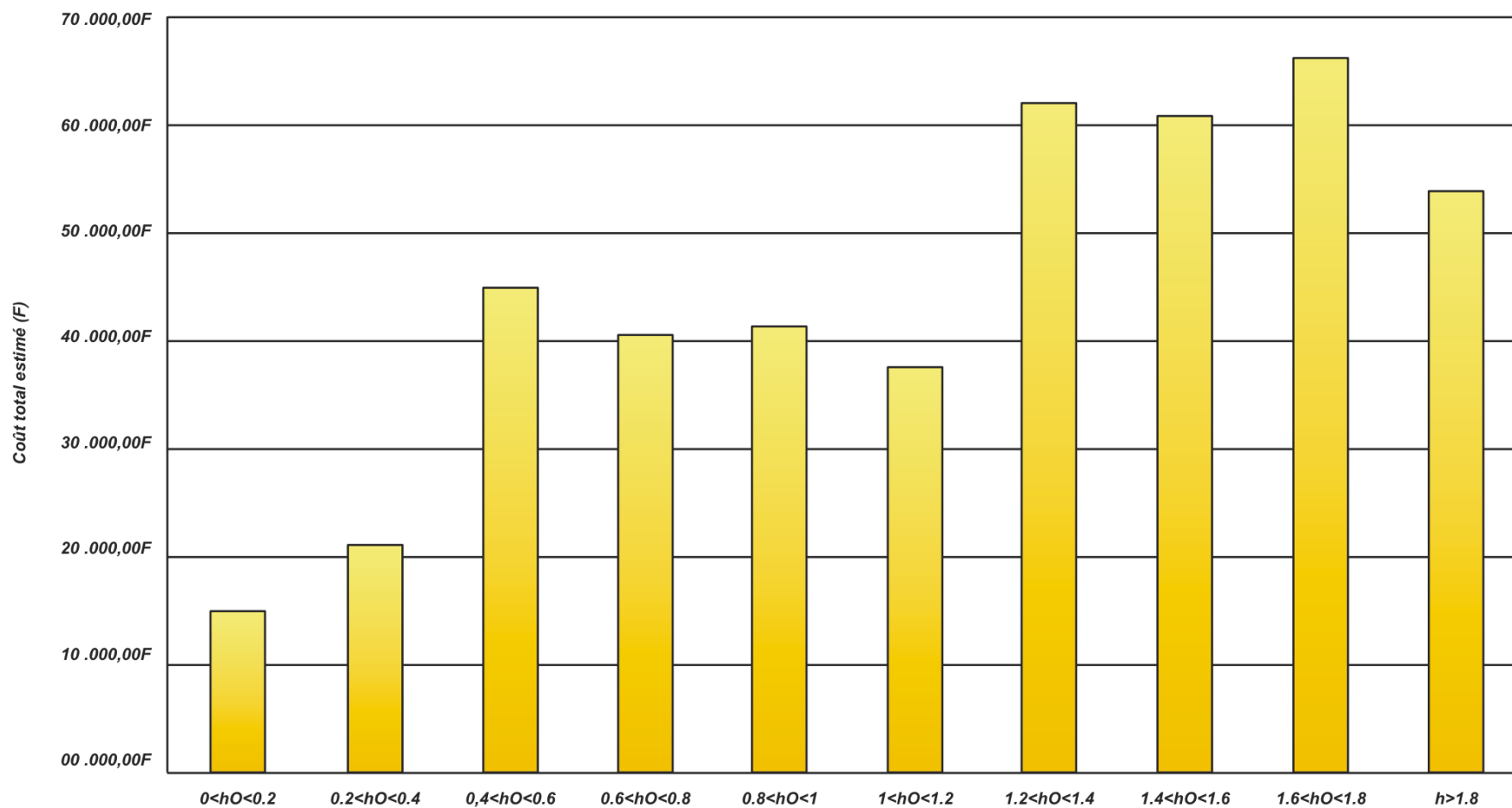
Catégorie	Crue de 1993 (MF)	Crue de 1995 (MF)
- particuliers (répartis sur les classes 1 et 2)	225	441
- entreprises (classe 3)	628	908
- agricole (classé 6)	5,1	4,5
TOTAL	858	1 353

- Département de la Meuse :

	Crue de 1993 (MF)	Crue de 1995 (MF)
TOTAL	30,2	19,1

Commune		Charleville Mézières					
taux de pénétration de la MACIF		$t=(3136+1795)/28438= 17,33\%$					
	nbre	coût immobilier	immob	coût mobilier	mob	coût nettoyage	coût total
MRP1 où seul le ss-sol a été touché	23	87 943,00 F	23	112 967,00 F	23	49 109,28 F	250 019,28 F
MRP2 où seul le ss-sol a été touché	15	- F	0	163 622,00 F	15	10 684,00 F	174 306,00 F
MRP1 où le RdC a été touché	23	885 732,71 F	23	584 509,13 F	23	105 841,00 F	1 576 082,84 F
MRP2 où le RdC a été touché	18	14 600,00 F	0	219 067,00 F	18	86 399,00 F	320 066,00 F
sinistres affectant un risque MRP	79	988 275,71 F	46	1 080 165,13 F	79	252 033,28 F	2 320 474,12 F
MRS où le RdC a été touché	2	46 395,00 F	2	26 459,00 F	2	10 502,00 F	83 356,00 F
MRS où seul le ss-sol a été touché	1	400,00 F	1	2 260,00 F	1	800,00 F	3 460,00 F
sinistres affectant un risque MRS	3	46 795,00 F	3	28 719,00 F	3	11 302,00 F	86 816,00 F
SNO où la partie habitable a été touchée	9	290 746,00 F	9	- F	0	13 190,00 F	303 936,00 F
SNO où seule la cave a été touchée	2	125,00 F	2	- F	0	1 000,00 F	1 125,00 F
sinistres affectant un risque SNO	11	290 871,00 F	11	- F	0	14 190,00 F	305 061,00 F
Tous contrats	93	1 325 941,71 F	60	1 108 884,13 F	82	277 525,28 F	2 712 351,12 F
RdC	52	1 237 478,71 F	53	627 015,13 F	52	116 322,00 F	1 980 815,84 F
cout moyen		36 396,29 F		19 303,14 F		5 021,67 F	43 912,32 F
ss-sol	23	88 468,00 F	23	277 725,00 F	23	61 399,28 F	289 592,28 F
cout moyen		3 402,62 F		10 724,96 F		1 579,31 F	10 461,23 F
sinistres MVP et SNO	93	1 325 941,71 F	60	1 108 884,13 F	82	277 525,28 F	2 712 351,12 F
cout moyen		22 099,03 F		13 522,98 F		3 384,45 F	29 165,07 F

Coûts totaux estimés moyen pour les habitations touchées au rdc



Coûts surfaciques par classes de hauteurs calés sur la vallée de la Meuse

Classes de hauteurs		Coût surfacique (F/m ²)					
		1.centre ville	2.habitat hors centre ville	3.zone industrielle/commerciale	4.équipements collectifs	5.réseau routier	6.zone agricole
< 0.5 m	1	200	50	200	2.0	50	0.05
0.5 à 1 m	2	400	90	400	2.5	70	0.10
1 à 2 m	3	550	105	600	3.5	100	0.20
> 2 m	4	600	110	800	20.0	250	0.30

Calage du modèle économique

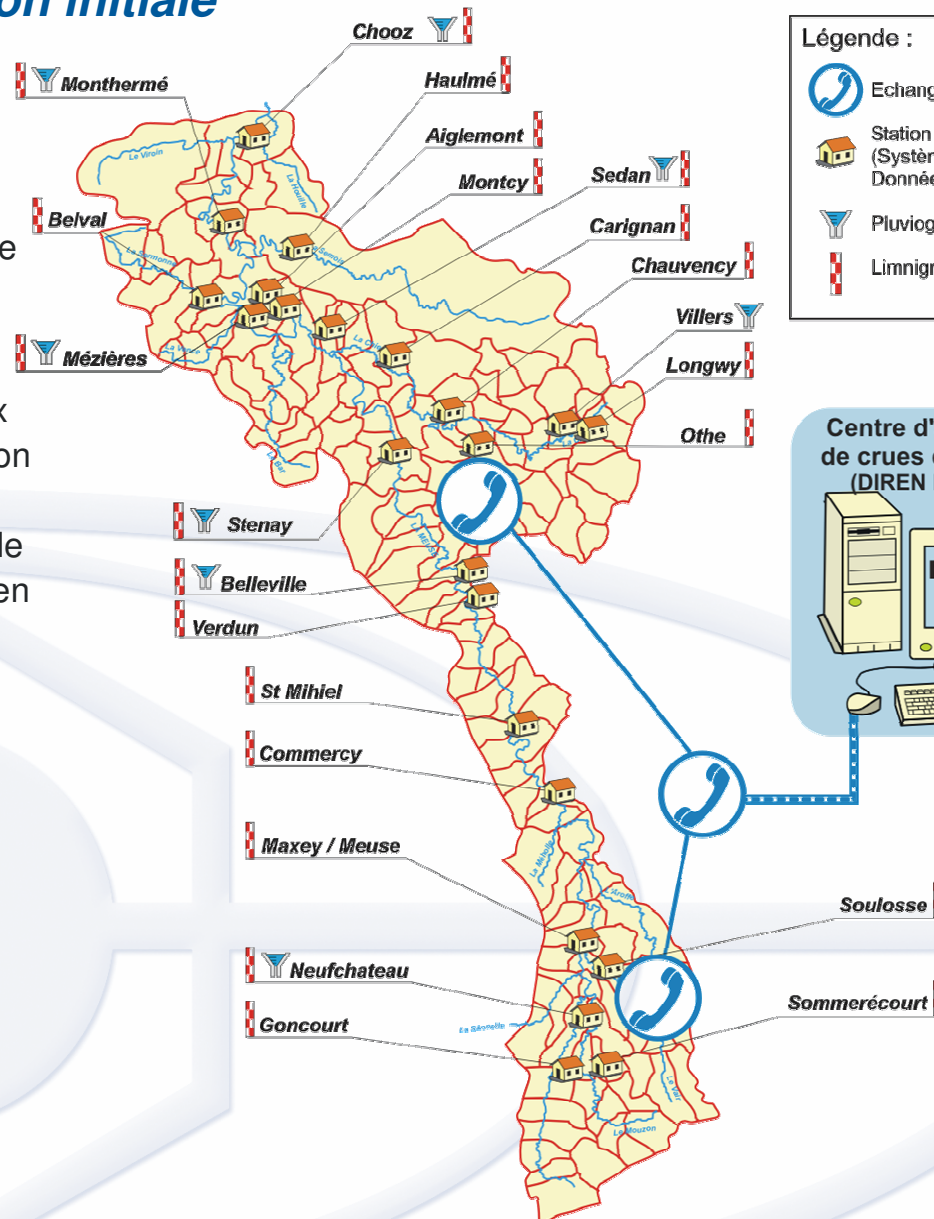
Classes de vulnérabilité 1 2 3 4 5 6 Total

		Meuse (département des Ardennes)						
Avril 1983	Coût réel	-	-	-	-	-	-	-
	Modélisation	42	107	138	5,1	18	3,5	313
	<i>Ecart</i>	-	-	-	-	-	-	-
Décembre 1993	Coût réel	184	185	355	10	34	5	773
	Modélisation	196	224	411	11	37	4,5	884
	<i>Ecart</i>	+6 %	+22 %	+16 %	+7 %	+9 %	-9 %	+14 %
Janvier 1995	Coût réel	288	312	790	15	102	5	1 512
	Modélisation	285	293	763	14	51	5,2	1 411
	<i>Ecart</i>	-1 %	-6 %	-3 %	-6 %	-50 %	+4 %	-7 %

Prévision des crues en situation initiale

La prévision en situation initiale permettait:

- de calculer le débit aux échelles d'annonce de crue à 24 ou 48h
- de convertir ces débits en hauteurs d'eau aux échelles de crue pour les besoins d'information
- de prévoir les instants d'arrivée des pointes de crues en ces différentes stations et échelles en fonction des temps de propagation estimés.



Légende :

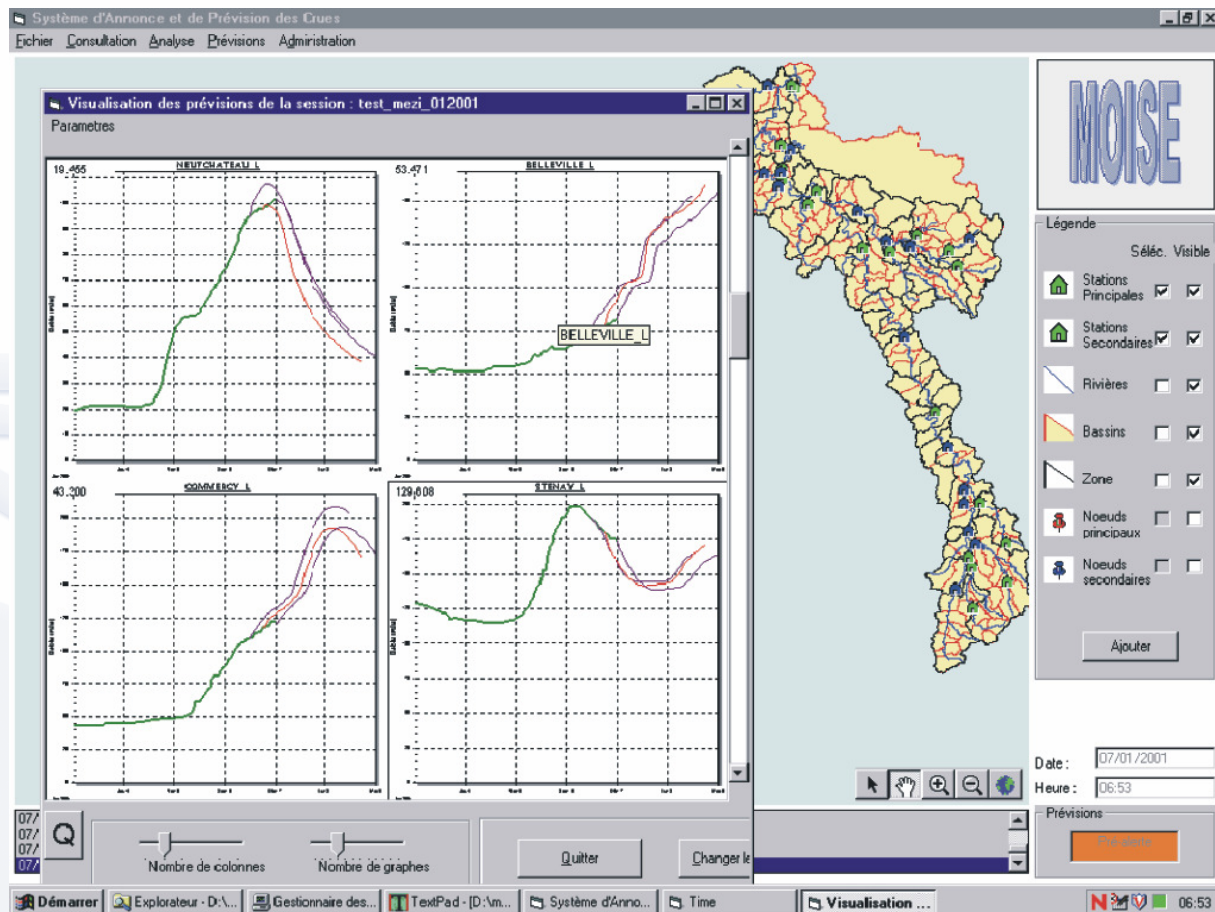
- Echanges téléphoniques
- Station du réseau SARDAC (Système Automatisé de Recueil de Données et d'Annonce de Crues)
- Pluviographes
- Limnigraphes

Centre d'annonces de crues de NANCY (DIREN Lorraine)

MOÏSE : un logiciel novateur de prévision des crues

Le logiciel MOÏSE de prévision des crues de la Meuse a été installé au Centre d'Annonce des crues de Nancy. Totalement novateur, MOÏSE permet en temps réel et dans un environnement souple et convivial :

- ➔ la récupération des données des 23 stations hydrométriques et pluviométriques du bassin (système NOE pré-existant) ;
- ➔ la visualisation et l'analyse de ces données ;
- ➔ la gestion des problèmes inévitables de défaillance de certaines stations en temps réel en proposant des solutions pour le fonctionnement en mode dégradé ;
- ➔ l'analyse des situations passées et la simulation d'événements hydrométéorologiques antérieurs ;
- ➔ le lancement de sessions de calcul des prévisions ;
- ➔ la visualisation des prévisions sous forme de graphes, tableaux, profils en long et cartes.



La prévision des crues avec MOÏSE et ses logiciels intégrés

Le logiciel MOÏSE intègre les modèles hydrologique AGYR et hydraulique STREAM et permet dorénavant de prévoir les crues en temps réel, de façon plus fiable.

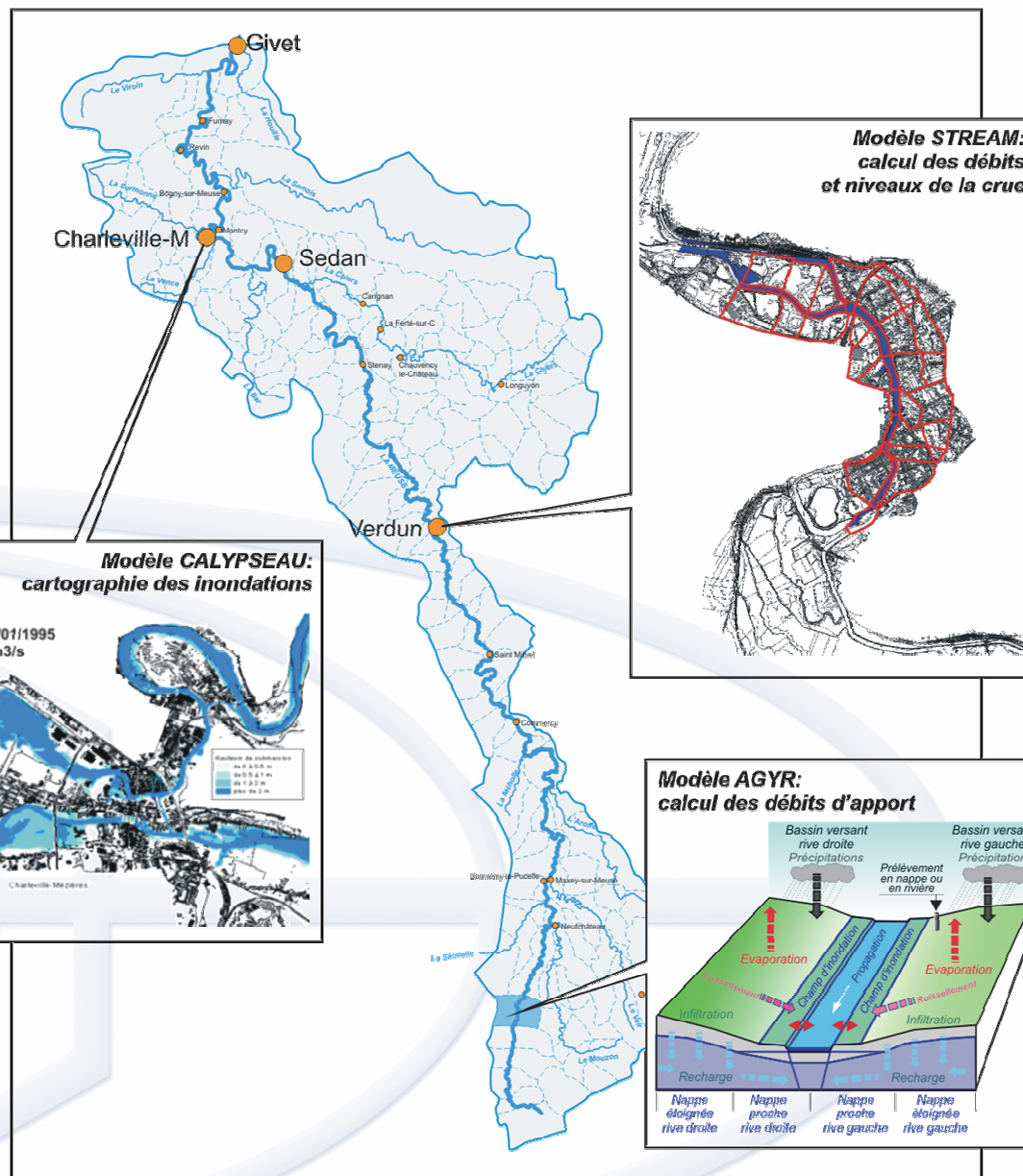
Le déroulement complet d'une prévision intègre 4 procédures :

1- Calcul des débits d'apport futurs par le modèle AGYR , qui transforme les pluies en débits à partir des pluies mesurées en temps réel et futures estimées par Météo France.

2- Calcul des écoulements et de l'aléa hydraulique futur par le modèle STREAM , en tout point de la vallée de la Meuse et de la Chiers.

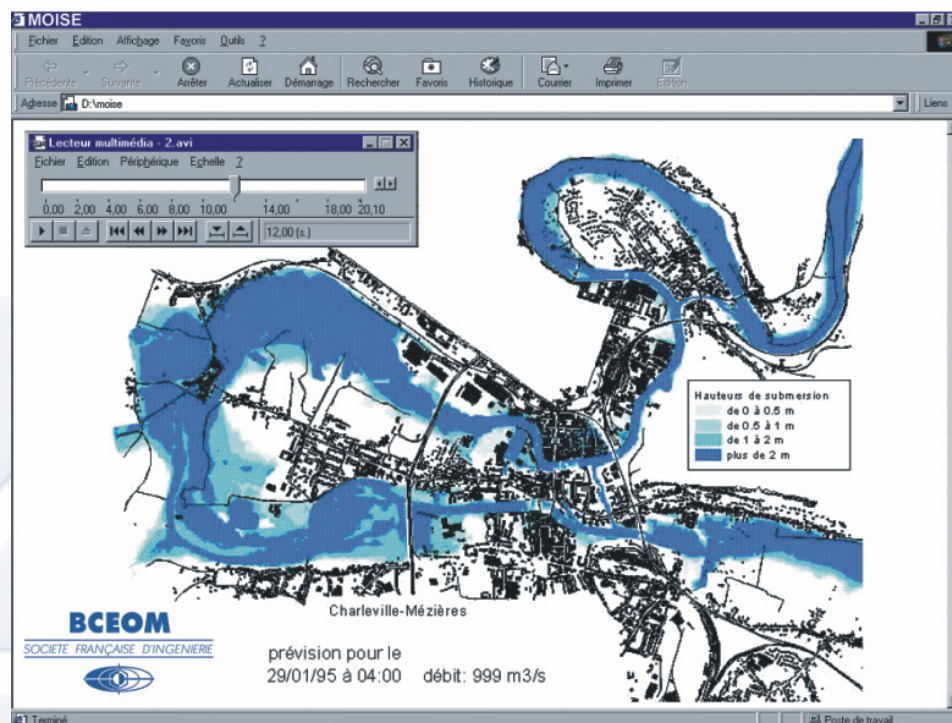
3- Recalage des modèles sur les observations hydrométriques en temps réel par une procédure spécifique.

4- Cartographie des inondations futures estimées sur l'ensemble des vallées modélisées par le modèle CALYPSEAU , qui traite les résultats de STREAM sous SIG (cette phase de cartographie n'a pas encore été intégrée au logiciel MOÏSE).

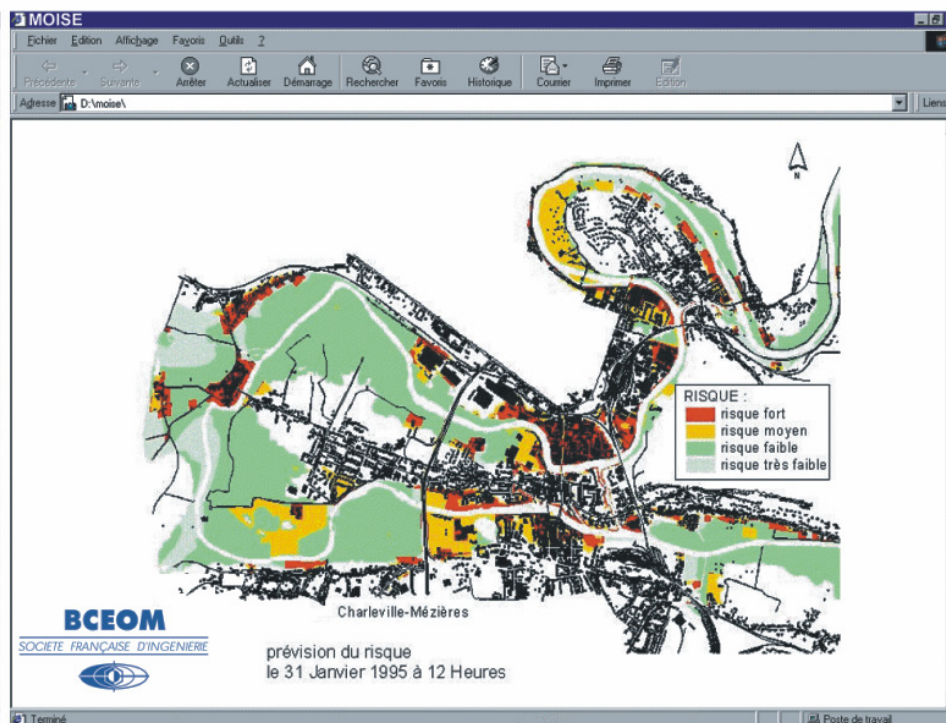


Exemple de prévision réalisable avec MOÏSE

Prévision en temps réel
de l'évolution des zones inondées



Croisement aléa / vulnérabilité
prévision en temps réel de l'évolution du risque



• Impact sur les conditions d'écoulement locales :

- Lit majeur barré sur 600 m, le lit mineur passe de 45 à 30 m.
- → Augmentation des vitesses d'écoulement.
- → Pour la crue centennale.
 - 6 m/s au droit de la digue.
 - 3 m/s à 70 m en aval de la digue
 - 2.5 m/s à 100 m en aval de la digue
 - 2 m/s à 250 m

→ Protection du lit et des berges
par enrochements libres
par techniques végétales

**Modélisation 2D des iso-vitesses
au droit de la digue**

