



# Comparatif des méthodes de cartographie des risques de dommage dans le bassin de la Meuse

---

Commission internationale de la Meuse

07/12/2007

*Ce document s'inscrit dans la suite du mandat du groupe de travail "hydrologie – inondation" et plus généralement dans le cadre du plan "Inondations Meuse". L'objectif de cette analyse est de comparer les méthodes de cartographie des risques de dommages pour la Région wallonne, la Région flamande, la France, l'Allemagne et les Pays-Bas, sur base des documents transmis par les différents partenaires du groupe de travail.*

*Tout d'abord, il semble important de définir les différents types de dommages:*

- *Les dégâts internes sont ceux intervenus dans la zone inondée;*
- *Les dégâts externes sont localisés hors de la zone atteinte et correspondent par exemple à une rupture de lien entre un fournisseur et ses clients;*
- *Les dégâts directs sont ceux occasionnés aux bâtiments, aux cultures, aux installations, aux stocks;*
- *Les dégâts indirects aux frais de nettoyage et de déblaiement mais aussi les pertes de production.*

*L'aléa est défini comme étant la probabilité d'occurrence d'un phénomène. L'enjeu représente les personnes, biens, activités, moyens etc susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. La vulnérabilité est définie comme le niveau de conséquences prévisibles subi par l'enjeu. Le risque est issu de la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité.*

## ***La méthode allemande***

### ***(par l'exemple du logiciel HWSCalc)***

Tout d'abord il semble important de signaler que la délégation allemande distingue deux cas dans la cartographie des dégâts causés par les inondations:

- *Les cartographies de dégâts après qu'une inondation se soit produite:*

Les dommages dus au phénomène d'inondation sont directement relevés sur place. De manière générale, ce relevé est établi soit au moyen d'un constat détaillé des dégâts individuels puis de leur somme totale; soit par des estimations globales le plus souvent après que les personnes concernées aient pu déclarer les dégâts.

Il est à noter qu'aucun relevé systématique ni de cartographie des dégâts pour les inondations ne semble avoir été établie par le passé.

- *La détermination et la cartographie des dégâts potentiels:*

Cette méthode se base principalement sur l'utilisation du logiciel allemand HWSCalc.

Initié au cours des années 1989 / 1990, à la demande du ministère de l'environnement et de l'agriculture de la région de Rhénanie du nord - Westphalie, le système de programme HWS a été développé dans le but de permettre une estimation des dommages potentiels dus à une inondation. En 1996 le bureau d'ingénieurs spécialisé en technique de l'eau et de l'environnement est chargé de remanier et de développer le programme.

La fonction principale du logiciel HWSCalc est donc de procéder au calcul des dommages dus aux inondations et ce en terme de dégâts quantitatifs et monétairement chiffrable ainsi que de valeurs potentielles de dommages annuels sur la base de l'utilisation de fonction de dommages et du niveau d'eau pour une période de retour donnée.

L'objectif du développement de ce type d'outil est motivé par le désir:

- de fournir une information aussi complète que possible sur les risques d'inondations potentiels aux politiques et au public,
- de donner à l'administration publique des critères d'évaluation transparents afin de mieux appréhender les mesures de protection au niveau de la gestion des zones d'expansion des crues ou des plans de développement urbain,
- pouvoir proposer les clefs d'une meilleure planification (ingénieurs, économistes, urbanistes) par le recours à l'utilisation de méthodes standardisées pour quantifier les effets des mesures de lutte contre les inondations permettant ainsi leur évaluation.

Les différents types de mesures de protection contre les inondations envisagés à travers HWSCalc sont:

- une meilleure répartition spatiale des crues:
  - zone de rétention
  - sites d'infiltration
- des mesures "hydrauliques":
  - construction de digues
  - agrandissement de la section transversale du cours d'eau
- une meilleure répartition spatiale de l'occupation du sol dans les zones à risque:
  - zonage des plaines d'inondation
  - mesures restrictives pour le développement urbain dans les zones inondables
  - des prévisions plus précoces des inondations

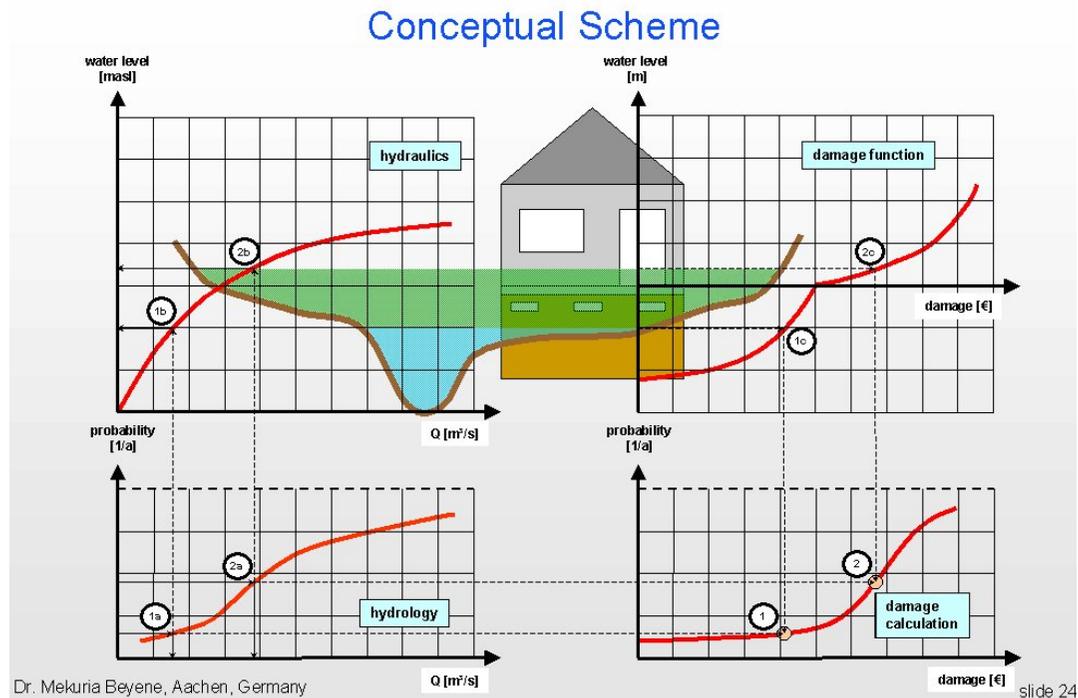
Le principe de la méthode allemande peut être schématisé de la façon suivante:

Système hydrologique	<p><b><u>Identifier les causes physiques des dommages</u></b></p> <p>Probabilité d'inondation dans la zone de projet Localisation des zones inondables Niveau d'eau</p>	<b>Comprendre</b>
	<p><b><u>Quantifier les effets</u></b></p> <p>Période de retour (années) Zones inondées (m<sup>2</sup>) Niveau d'eau (m)</p>	<b>Quantifier</b>
Système socio-économique	<p><b><u>Identifier et quantifier les dommages potentiels</u></b></p> <p>Identifier les différents types d'occupation du sol Evaluer les valeurs de capital (€) Examiner la répartition des types d'occupation du sol (% , m<sup>2</sup>) Examiner la distribution des indicateurs socio-économiques (% , m<sup>2</sup>)</p>	
	<p><b><u>Transformer les valeurs quantifiables en valeurs monétaires</u></b></p> <p>Compiler les fonctions de dommages pour les zones appropriées Calculer les valeurs des dommages attendus</p>	

L'utilisation est du logiciel HWSCalc nécessite certains pré requis, à savoir:

- les résultats d'un modèle hydrologique: simulation "pluie / débit", statistiques des crues
- les résultats d'un modèle hydraulique: simulation d'axes hydrauliques
- un modèle d'occupation du sol: avec des approches à différentes échelles (micro où les données ont une échelle très locale, un bâtiment par exemple; méso principalement basée sur l'utilisation de cartes topographiques; macro basée sur de larges échelles comme des centres ou des districts)
- la collecte et l'analyse d'informations géographiques (données spatiales): topographie, cartes municipales, modèle numérique de terrain (MNT)
- la collecte et l'analyse d'indicateurs économiques: estimation, valeur de capital, stocks de toutes les activités économiques. Ces données sont fournies soit par des analyses de marché, soit par les compagnies d'assurance, soit par des références historiques ou soit par les statistiques des autorités, la chambre de commerce ou encore des enquêtes de terrain.

Ce modèle est basé sur le schéma conceptuel suivant :



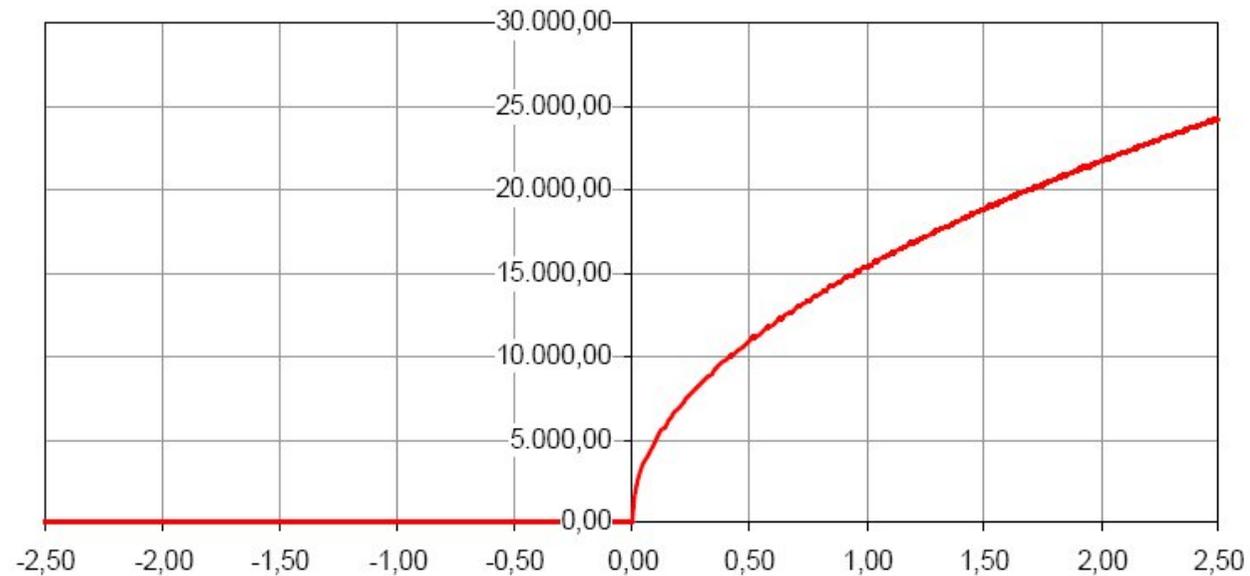
De l'étude des données économiques dérive les fonctions de dégâts. Elles sont développées pour chaque catégorie d'occupation du sol (bâtiment domestique ou infrastructure publique). Plusieurs paramètres sont pris en compte: niveau d'eau, surface inondée, vitesse d'écoulement et temps de submersion. Il est à noter que l'Administration de la gestion de l'eau de Bavière archive et exploite (notamment sous forme de statistiques) toutes les demandes d'indemnisation de dommages.

## Schadensfunktionen

## Anhang 11

Hochwasserschadenspotenziale im Rahmen des Hochwasseraktionsplans der Ruhr (Flusslänge 217 km)

<b>Kennung</b>	RUHR_1011
<b>Beschreibung</b>	Eine Familie pro Hausobjekt, älter als 81 Jahre, kein Keller
<b>Anmerkung</b>	Vermögensschaden: Eine Familie pro Hausobjekt, älter als 81 Jahre, kein Keller
<b>Schadensart</b>	Vermögensschaden
<b>x-Achse</b>	Überstauhöhe (m)
<b>y-Achse</b>	absoluter Schaden (EUR)



Le logiciel HWSCalc offre aussi la possibilité de procéder à des analyses coût / bénéfice suivant les aménagements envisagés: bénéfice annuel = coût annuel estimé (scénario de référence) - coût annuel estimé (scénario d'aménagement). Il devient alors possible de comparer ce bénéfice annuel au coût des mesures envisagées.

Une des particularités de la méthode allemande (toujours basée sur le logiciel HWSCalc) est qu'elle tient compte de certains autres impacts comme:

- les pertes de temps et de production dus à une interruption
- les dégâts sur les voies de transport et de communication

L'échelle de sensibilité du logiciel est fonction:

- de la période de retour de la crue (hydrologie)
- de la relation entre le niveau d'eau et la crue (hydraulique)
- du modèle numérique de terrain
- du modèle d'occupation du sol: cartes, données des communes, statistiques sur les propriétés socio-économiques, l'acquisition des données sur le site
- des fonctions de dégâts (relation entre hauteur d'eau et dégâts)

#### *Discussion sur les données de base*

Les profils en travers doivent couvrir un maximum de zones inondables. La couverture spatiale des MNT n'étant pas complète et leur précision n'étant pas suffisante parfois, il convient de réaliser des mesures (dépendant de l'échelle du projet) pour les compléter.

Il faut avoir recours à des experts pour interpoler les fonctions de dommage à partir des indicateurs socio-économiques. Les fonctions de dommage standard ne représentent pas les caractéristiques régionales.

Cette approche se limite aux dommages causés par des débordements de rivières et ne prend pas en compte d'autre type d'inondations comme les remontées d'égouts ou d'eau souterraine. Par ailleurs plusieurs types de dommages intangibles ne sont pas pris en compte (risques pour les vies humaines par exemple), ni ceux générés par une éventuelle pollution des eaux.

## ***La méthode néerlandaise***

Le contexte particulier des Pays-Bas et notamment l'importance de l'endiguement, les a poussés à développer une méthode valable uniquement pour les zones endiguées avec risque de rupture et invasion massive d'eau. Cette démarche est basée sur le Module Dégâts et Victimes version 2.0. Les données de base nécessaires à son fonctionnement sont les résultats du module inondation (hauteur d'inondation maximale et vitesse d'écoulement maximale). Il est à noter que cette méthode a été approuvée par la commission consultative technique des barrages.

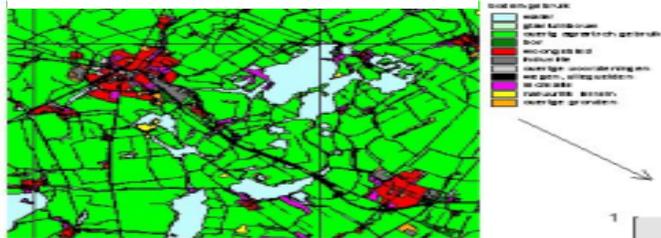
### **Principe de la méthode**

Le préjudice maximum possible est déterminé sur la base du type d'occupation du sol. Le recours à l'utilisation de fonctions de dégâts permet ensuite de relier le niveau d'eau aux dommages subis. Les résultats peuvent être présentés soit sous formes de tableaux soit par l'intermédiaire de cartes à travers un Système d'Information Géographique (SIG). Il est à noter que l'évacuation n'est pas prise en compte dans cette méthode mais que celle-ci intervient surtout au niveau des victimes mais pratiquement pas en termes de dégâts. Le Module Dégâts et Victimes fonctionne comme suit: les données relatives à la zone de projet et concernant l'occupation du sol sont schématisées en grille carrée puis combinées avec les données hydrauliques.

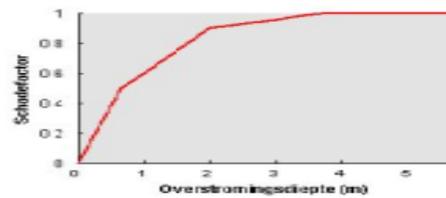
Le principe de calcul peut être résumé par le schéma suivant:

## Module Dégâts

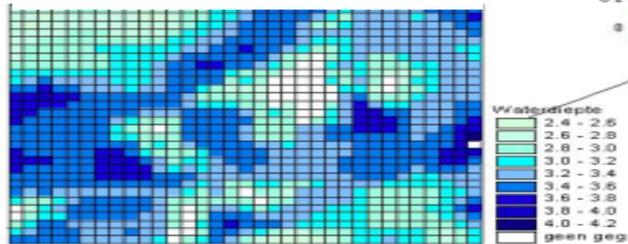
Occupation du sol



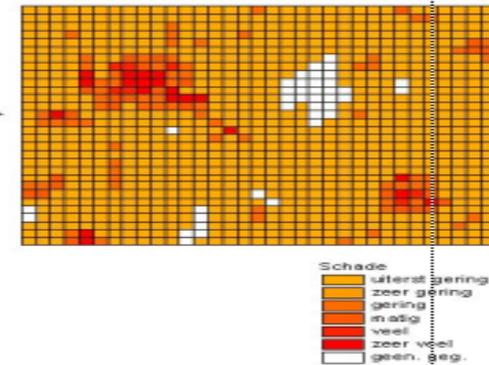
Fonction de dégâts



Hauteur d'eau



Dégâts



Les données hydrauliques sont caractérisées par les paramètres suivants:

- provenant du module d'inondation HIS
  - hauteur de l'inondation ou niveau d'eau par rapport au niveau du sol
  - vitesse du courant
  - vitesse de montée des eaux
- données propres:
  - le facteur de protection (plus ce facteur est grand et plus le risque d'effondrement des habitations à cause de la tempête est élevé) dont le standard est fixé à 0
  - la vitesse critique du courant entraînant un effondrement (le standard est de 8 m/s)
  - la présence ou non d'une tempête

## Evaluation des dégâts

L'ensemble de ces données introduites permet alors, après calcul par point de la grille, de déterminer la valeur du facteur de dégâts et ce pour chaque catégorie de dommages. L'équation de base régissant le calcul est la suivante:

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot n_i \cdot S_i$$

où  $\alpha_i$  : facteur de dégâts de la catégorie i  
 $n_i$  : nombre d'unités de la catégorie i  
 $S_i$  : dégât maximal par unité dans la catégorie i

On constate à travers cette formule que la représentation graphique de  $\alpha_i$  en fonction de la hauteur d'eau nous donne la courbe de dommage relative à la catégorie i. Outre le niveau d'eau il est cependant nécessaire de signaler que le facteur de dégâts dépend aussi de la vitesse du courant et de la vitesse de montée des eaux. Par ailleurs ce facteur de dégâts est spécifique à chaque catégorie.

Les dégâts maximaux retenus pour cette méthode sont basés sur des valeurs de remplacement. Une des particularités de cette méthode est qu'elle considère aussi bien les dégâts internes qu'externes et directs qu'indirects. Les cases colorées tableau suivant présente les différents types de dégâts considérés par la méthodologie néerlandaise:

	Evaluable financièrement	Non évaluable financièrement
<b>Dégâts directs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biens d'équipement : biens immobiliers et mobiliers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Victimes (nombre de morts, de blessés et d'animaux morts)</li> <li>Ecosystèmes</li> <li>Pollution des eaux de surface</li> <li>Monuments historiques et valeurs culturelles</li> </ul>
<b>Dégâts directs (interruption d'activité)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de production et de revenus</li> <li>Frais de nettoyage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bien-être et déstabilisation sociale</li> <li>Préjudice subi suite à des dégâts à des 'hot-spots'</li> </ul>
<b>Dégâts indirects</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perturbation du processus de production en dehors de la zone inondée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dégâts pour les pouvoirs publics</li> </ul>
<b>Dégâts induits</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aide (d'urgence)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déstabilisation suite à une évacuation</li> </ul>

## ***La méthode flamande***

La cartographie des dommages s'inscrit dans le cadre du projet "Analyse de Risque", réalisé par le Centre d'Information Hydrologique (HIC). Un des objectifs de ce projet était d'élaborer une méthode de calcul des dégâts causés par une inondation afin de pouvoir procéder à des analyses coût - bénéfice et risque de manière objective et comparable.

La méthodologie flamande, appliquée aux voies navigables et à la zone côtière s'articule autour de trois étapes, la première étant de définir l'occurrence et l'importance de l'inondation et de la profondeur de l'eau, la deuxième correspondant à la détermination des dégâts potentiels (maximaux), enfin la dernière chiffre les dommages économiques.

### **Etape 1: Détermination de la fréquence d'inondation et de l'échéance**

L'objectif de cette étape est de déterminer la fréquence d'inondation et son étendue. Le calcul de la fréquence est réalisé sur la base des hauteurs d'eau et des débits passés (pour la côte : caractéristiques des vagues). L'étendue de la zone d'inondation est quant à elle le résultat d'une simulation hydraulique.

Le calcul des périodes de retour est effectué à partir de la banque de données HYDRA du HIC (concernant les voies navigables mais aussi le grands cours d'eau non navigables). Celle-ci regroupe des chroniques souvent supérieures à 30 ans et contient des mesures de hauteur d'eau et de débit effectuées en continue et consultable sur internet mais aussi:

- des informations sur les crues (niveaux d'eau et débits)
- les précipitations ainsi que les prévisions de précipitations
- l'état des barrages, écluses et stations de pompage
- la turbidité de l'eau pur les voies navigables.

Une analyse statistique de ces données permet la détermination d'une période retour moyenne. La connaissance du niveau des plus hautes eaux pour une période de retour donnée permet grâce au modèle de calcul d'obtenir trois types de cartes:

- Une carte d'inondation avec une hauteur d'eau maximale permettant de visualiser les zones touchées
- Une carte donnant la vitesse de montée des eaux concernant plus la problématique de l'évacuation et de l'intervention des secours.
- Une carte indiquant la vitesse du courant et axée sur les dégâts supplémentaires à proximité des brèches

## Etape 2: Détermination des dommages

Il semble important de préciser que la détermination des dégâts fait intervenir des valeurs moyennes par zone homogène et ne découle pas de la prise en considération de chaque objet (maison, voiture...) apprécié isolément.

Cette méthode passe tout d'abord par la définition de l'utilisation du sol et la prise en compte de différentes catégories; zones bâties, zones agricoles, forêts... Cette catégorisation s'effectue à partir d'images satellites analysées à l'ordinateur. Une des principales difficultés consiste à différencier certains types d'occupation du sol situés côte à côte ou imbriqués. Deux sources de données de base sont utilisées:

- Celles provenant du projet européen CORINE LAND COVER avec une définition de 10 ha minimum mais pouvant aller jusqu'à 5 ha voir 1 ha pour de nombreux endroits en Belgique
- La situation, à petite échelle, de l'utilisation des sols en Flandre et à Bruxelles (taille du pixel 20 m \* 20 m) mais avec le problème que la classification adoptée ne correspond pas à celle utilisée par CORINE
- Les cartes topographiques vectorielles (sommet50v\_SIG)

Pour le projet flamand "Analyse de Risque" les différentes classes retenues sont:

- Zones bâties: - bâti dispersé  
- bâti péri-urbain  
- bâti centre urbain
- Industrie: - bâti industriel même (industriel I)  
- annexes, hangars, parkings (industriel II)
- Deux classes "infrastructure" comprenant les grands parkings et d'autres installations telles que les salles de sport, les hangars...
- Aéroport: - aéroport I (bâtiments du champ d'aviation, pistes d'envol et d'atterrissage, ...)  
- aéroport II (terrains environnant appartenant à l'aéroport)  
- grand aéroports (Zaventem, Deurne et Oostende) seront considérés isolément
- Zones récréatives: parcs, terrains de jeux, de sport (pas les bâtiments de ces zones car repris dans l'infrastructure)
- Zone agricole: Cultures, prairies, (horticulture)
- Nature: prairie, forêts, zone naturelles
- Infrastructure linéaire: routes, autoroutes, lignes de chemin de fer

- Elément ponctuels: bâtiments historiques, zone de captage d'eau, émetteurs, entrées de métro, hôpitaux, ... (au total, 22 éléments ponctuels différents)

### Etape 3: Calcul des dégâts économiques

La méthode flamande se rapproche nettement de la méthode néerlandaise, faisant intervenir des courbes de dommages et s'articulant autour de l'équation:

$$S_w = \sum \alpha.n.S_{max}$$

- où
- $S_w$  : dégât réel dans une zone
  - $S_{max}$  : dégâts maximaux pour une certaine occupation du sol
  - $\alpha$  : coefficient exprimant la relation entre la hauteur d'eau et les dégâts
  - $n$  : nombre d'unités linéaires ou de surface

Ces courbes sont complétées par des formules pour la vitesse de montée des eaux et la vitesse du courant afin de calculer les dommages supplémentaires survenus à proximité d'une brèche.

Dans un premier temps, le calcul des dégâts économiques ne s'effectue que pour les coûts directs et internes. Les coûts indirects sont aussi estimés mais seulement pour les catégories "zones bâties", "zones industrielles" et "zones agricoles".

En principe, seule la valeur de remplacement de l'objet est considérée et non sa valeur d'acquisition. Le dégât maximal est calculé séparément pour chaque utilisation du sol. et se détaille de la façon suivante:

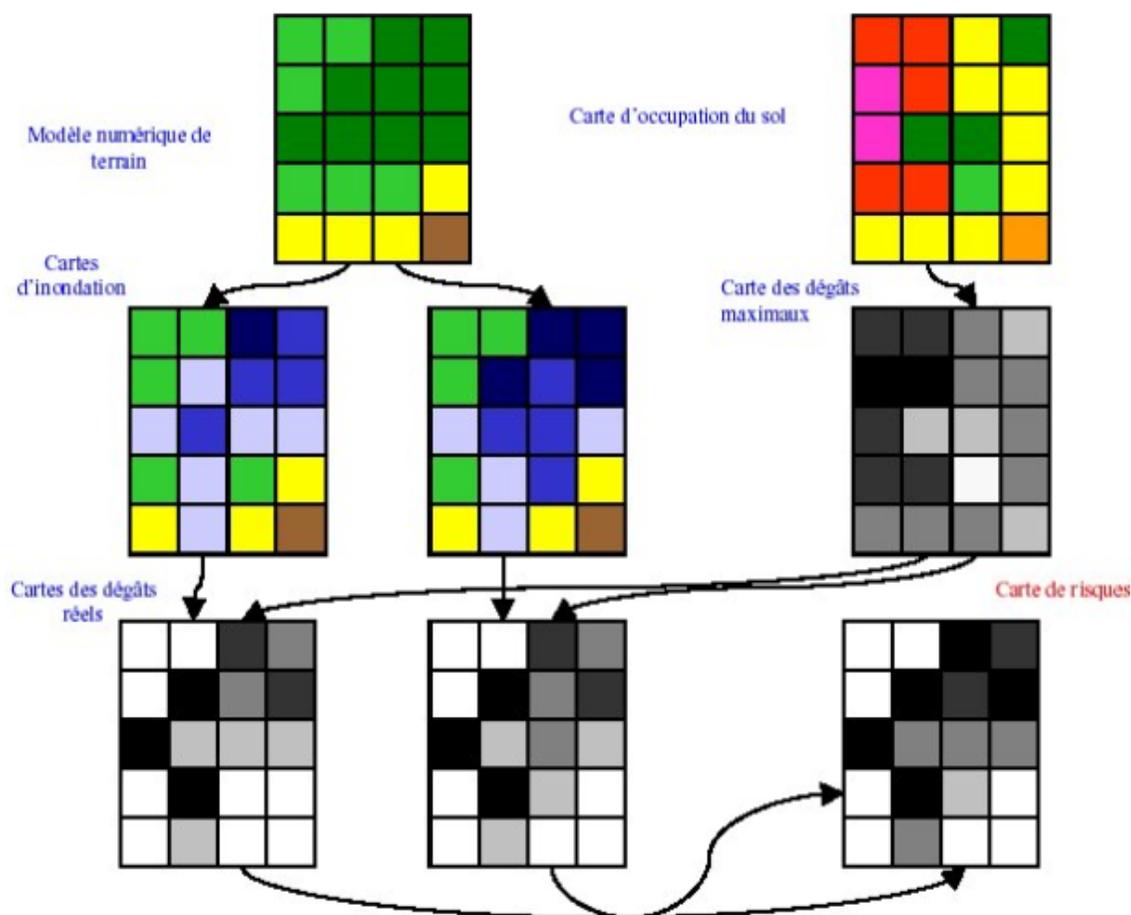
- Dégâts aux habitations: différenciation de la structure et du mobilier (coût direct); La valeur attribuée à la structure est fonction de la valeur moyenne de toutes les habitations de la zone alors que celle du mobilier est définie sur la base des chiffres des compagnies d'assurance. Les coûts indirects correspondent majoritairement aux frais de nettoyage
- Zone agricole: utilisation d'une valeur moyenne de culture (déterminée suivant la part et la valeur de chaque culture dans l'ensemble)
- Dégâts aux terrains industriels:
  - méthode basée sur la surface
  - méthode basée sur le nombre de travailleurs (sans considération de victimes humaines potentielles)
- Pâtures et zones de loisir: niveau de dégâts beaucoup plus bas. Par exemple la classe nature (y compris les forêts) possède un dommage économique nul mais dans une prochaine étape intégrant le poids social, la place de cette catégorie sera nettement plus forte.

- Véhicules: c'est un cas particulier puisque les dégâts aux véhicules sont à cheval sur plusieurs classes (zones d'habitations, industrielles...). Les dommages sont calculés en fonction de l'âge des véhicules. Il y a un coefficient d'évacuation qui est introduit eu égard au fait qu'un certain nombre de véhicules aura quitté la zone inondée.

Enfin, il convient de préciser que la méthode flamande ne prend en compte que de façon limitée la pollution de l'eau et la durée de l'inondation, facteurs tendant à augmenter les dégâts. Actuellement, des études sont en cours pour tenir compte de manière (plus) détaillée de ces éléments.

Pour pouvoir travailler plus aisément, le logiciel de risques Latis tourne actuellement en phase expérimentale. Tous les éléments décrits ci-dessus peuvent être vérifiés pas à pas de manière simple et les données sources sont gérées de manière centralisée.

Le principe de la méthode flamande pour la détermination du risque peut se synthétiser de la manière suivante:



## ***La méthode française***

En France la notion de cartographie des risques de dommage est abordée à travers le Plan de Prévention des Risques d'inondation (PPRI). Elle donne lieu non pas à l'élaboration d'une carte de risques de dommages mais à deux cartes: l'une présentant l'aléa, l'autre représentant les enjeux. L'établissement d'un PPRI est de la responsabilité de l'Etat, et de compétence départementale : c'est le préfet de département qui met en œuvre la procédure.

La première étape de la démarche consiste à cartographier l'aléa d'inondation dans la zone de projet. Cette cartographie est réalisée en préalable à la procédure PPRI proprement dit : c'est une fois la carte de l'aléa validée en concertation avec les acteurs locaux que le préfet de département prescrit l'établissement d'un PPRI., Pour établir la carte des aléas, il est d'abord nécessaire de procéder à la qualification de l'aléa:

- sur base documentaire
- par analyse hydro géomorphologique et caractérisation des ouvrages et aménagements.
- Recensement / traitement des données historiques (détermination de la période de retour)
- Caractérisation d'une crue de référence (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, durée de submersion)

## **Cadre d'études des risques**

Le témoignage de la population constitue de prime abord une information très importante, c'est pourquoi une concertation précoce est recommandée. Les récentes évolutions législatives en la matière, et notamment la loi relative à la prévention des risques du 30 juillet 2003 renforcent l'information, la participation du public et la concertation institutionnelle dans ce domaine.

Cette analyse débute par la détermination d'un bassin de risque défini comme étant "un bassin homogène correspondant à une entité géographique cohérente au regard de critères topographiques, géologiques, morphologiques et hydrodynamiques dont l'occupation conduit à exposer les hommes, les biens ou les activités aux aléas d'inondations. Le périmètre d'étude lui, est défini sur la base des données de chaque bassin. Les aménagements pouvant aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux sont aussi pris en compte. La démarche est replacée dans un cadre transversal, qui peut prendre en compte d'autres risques naturels, voire des risques technologiques, dans une démarche globale de prévention en lien avec l'aménagement du territoire.

## **La conduite des études d'aléa**

L'analyse de l'aléa se base sur plusieurs critères et a pour but final de répondre à plusieurs objectifs:

- Information préventive
- Aménagement et développement durable du territoire
- Réglementation de l'occupation des sols

- La prévention par la réduction de la vulnérabilité
- Gestion de crise

La base documentaire nécessaire à cette démarche se présente sous forme de deux types de données:

- Données générales:
  - climatologie (caractéristiques des pluies...)
  - facteurs conditionnant le ruissellement (lithologie, pédologie, occupation du sol)
  - caractéristiques géométriques principales des bassins versants (surface totale, pentes...)
  - évolution historique du bassin versant
- Données hydrométéorologiques et hydrauliques:
  - Etudes existantes portant sur le bassin versant
  - Réseaux de mesures:
    - Stations pluviométriques et débitmétriques
  - Données historiques
    - Repères de crues avec les indications des plus hautes eaux connues
    - Laisses des crues précédentes,
    - cartographie de crues historiques récentes,
    - photographies aériennes prises au cours de crises précédentes.
  - En cas d'absence de réseau: comparaison avec des bassins versants proche et comparables

### **Qualification et cartographie de l'aléa**

La qualification de l'aléa passe tout d'abord par la définition d'un aléa de référence correspondant au choix d'une période de retour. Le plus souvent on prend la plus grosse crue connue ou alors la crue centennale si la plus grosse crue lui est inférieure, l'objectif étant de privilégier la mise en sécurité de la population. Les niveaux d'aléa sont principalement (faible, moyen et fort) et sont surtout caractérisés par la hauteur d'eau, la vitesse d'écoulement et la durée de submersion.

Sur la Meuse en France et à l'aval de l'agglomération de Neufchâteau, toutes les cartes d'aléa ont été produites à partir d'une modélisation hydraulique de la vallée (pseudo 2D) prenant en compte la complète topographie du lit majeur, la bathymétrie du lit mineur, la géométrie des obstacles. La même méthode est utilisée sur la Chiers, affluent principal de la Meuse en amont de Sedan, depuis le secteur amont de l'agglomération de Longwy.

En cas d'absence ou d'insuffisance des données historiques, c'est-à-dire dans les hauts bassins versants et les affluents vraiment secondaires, la seule donnée directement exploitable est l'analyse hydro géomorphologique, complétée par:

- Débits de crue rare (obtenus à partir des données pluviométriques) ou débit spécifique régionalisé
- Hauteur d'eau et vitesse à partir du débit de référence calculé, de la pente et de la rugosité évaluée sur le terrain
- Quelques points de levés topographiques positionnés sur section transversale

Cette analyse hydro géomorphologique est suffisante pour les secteurs peu ou pas urbanisés. Pour les secteurs un peu plus urbains, il est indispensable de la compléter par une approche hydraulique classique localisée.

Dans le cas de l'exploitation d'une crue historique de référence, le paramètre le plus utilisé est la hauteur d'eau.

Si on dispose de chronique de longue durée (supérieure à 30 ans) mais pas de crue historique de référence, on détermine la hauteur d'eau et le débit de référence au moyen de procédés statistiques. On peut alors estimer la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement dans un tronçon en plaine alluviale entre deux stations de mesures.

La carte des aléas doit présenter:

- Un aléa hiérarchisé en fonction de l'intensité, et on utilise donc souvent les hauteurs d'eau avec des seuils cartographiés à 50 cm, 100 cm et 200 cm. La principale difficulté est alors relative à la précision des levés topographiques, qui, réalisés par des méthodes de levés sur un semi de point classique, entraîne des incertitudes importantes sur les hauteurs réelles.
- La situation des ouvrages de protection et des équipements
- Le report des zones pouvant aggraver les risques ou en créer de nouveaux
- La localisation des zones inondables et les centres urbains

Ces cartographies d'aléas font l'objet d'une concertation avec les municipalités concernées. Le préfet de département présente le résultat des études, le diffuse largement et engage alors un dialogue avec les élus locaux. Le recueil des remarques fait l'objet d'un processus écrit, qui laisse un délai suffisant pour la réflexion. Le préfet est libre de sa décision en ce qui concerne le contenu de la cartographie validée, mais en pratique, les remarques des élus sont toujours suivies d'une prise en compte et d'ajustements de la cartographie. La doctrine administrative entraînerait d'ailleurs qu'une décision de ne pas tenir compte de certains avis devrait être motivée par le préfet, et que cet échange non concluant soit joint au dossier d'enquête publique.

## **L'évaluation des enjeux**

L'évaluation des enjeux est une phase qui est engagée dès lors que le Plan de prévention des Risques inondation (PPRI) est prescrit par le préfet de département.

Une bonne connaissance du terrain est requise puisque par exemple, les friches industrielles et urbaines sont, sauf exception, qualifiées de zones d'expansion des crues. De plus les centres urbains constituent un enjeu majeur. Les zones d'expansion de crue "à préserver" sont les secteurs "non urbanisés ou peu urbanisés et peu aménagés où le volume d'eau stocker est important. Les zones d'extension potentielle de la

crue, mais situées derrière les digues et non urbanisées, sont préservées d'extension d'urbanisation. La méthode ne prend pas en compte l'effet particulier de chaque zone d'expansion de crue car c'est le cumul qui finit par avoir un impact significatif.

D'autres types d'enjeu sont définis par la nécessité d'identifier tout ce qui contribue à la sécurité des personnes, à la production des biens et à la gestion de la crise:

- Importance des populations exposées
- Etablissement recevant du public (à évacuer si inondés, possibilité d'accueil des sinistrés dans le cas contraire)
- Equipements sensibles ou stratégiques (téléphone, eau potable, électricité, centre de secours et de décision...)
- Etablissements industriels et commerciaux affectés
- Voies de circulation (acheminement des secours)
- Zones pouvant offrir des possibilités d'aménagement

La démarche de détermination de l'enjeu est la suivante:

- Superposition des cartes d'aléas et de la carte d'occupation des sols, en utilisant en particulier la couverture du territoire par la photographie aérienne redressée (orthophotoplans)
- Analyse des documents d'urbanisme
- Enquêtes de terrain systématiques
- Connaissance des structures d'aménagement des ou de gestion des eaux existantes ou envisagées
- Concertation avec l'ensemble des acteurs, qui prend un caractère « continu » pendant cette phase de la démarche.

Cette concertation avec les acteurs locaux et notamment les élus, a un caractère obligatoire. Elle porte sur la cartographie de la vulnérabilité, et également sur la partie réglementaire du PPRi qui est établie de manière simultanée, et qui a vocation à spécifier toutes les dispositions pour éviter de générer de la vulnérabilité dans les zones dont il est envisagé de poursuivre l'urbanisation, ou réduire la vulnérabilité existante des zones déjà construites, en particulier dans les zones urbaines.

### **L'enquête publique sur le projet de PPR inondation.**

Après établissement des cartographies et de la partie réglementaire, le projet de PPR est soumis à enquête publique (dernière phase de la concertation) selon une procédure applicable à tous les projets ayant un impact sur l'environnement. Le préfet doit impérativement remettre au commissaire enquêteur, désigné par le président du tribunal administratif, un bilan de toutes les étapes de concertation antérieures. Ce bilan retracera l'ensemble des actions d'information, de participation et de concertation qui auront été menées jusqu'ici.

**La portée juridique du PPR inondation et donc de la cartographie associée :**

La cartographie " atlas des zones inondables " établie au cours de la première phase, même après la validation par la concertation avec les élus, constitue un inventaire qui n'a pas de valeur réglementaire. Par contre, le plan de prévention des risques d'inondations, constitué d'un règlement et d'une cartographie associée, une fois approuvé et annexé aux Plans d'Occupation des Sols ou Plans Locaux d'Urbanisme, est opposable au tiers.

## ***La méthode wallonne***

En considération de la récurrence des inondations ces dernières années et l'importance des dommages qu'elles provoquent, le gouvernement wallon a décidé en janvier 2003 la mise en œuvre d'un plan global de prévention et de lutte contre les inondations appelé "Plan PLUIES". Un des objectifs de ce projet est la détermination de l'ensemble des zones inondables sur le territoire wallon avec le désir de valoriser les travaux préparatoires déjà réalisés (levés topographiques des lits mineurs et majeurs des cours d'eau, inventaire des zones inondées dans le passé...).

Concrètement cette démarche vise l'établissement de deux types de cartes:

- la carte de l'aléa inondation qui localise les territoires susceptible d'être inondés par débordement de cours d'eau.
- la carte du risque de dommages représentant les dommages potentiels des éléments vulnérables.

Les objectifs de cette cartographie sont multiples:

- faciliter le traitement des demandes de permis en zone de risque majeur d'inondation,
- permettre une meilleure planification régionale (par les plans de secteur) ou communale (par es plans communaux d'aménagement),
- favoriser l'étude, par les services gestionnaires de cours d'eau, de mesures d'aménagement,
- faciliter la planification et l'intervention des services de secours et de la protection civile, en cas d'inondation,
- fournir aux compagnies d'assurance des informations objectives, leur permettant d'élaborer leur politique de dédommagement en conformité avec les dispositions légales en la matière.

La carte de risques de dommages résultant de la combinaison de la vulnérabilité et la carte d'aléa d'inondation, il convient de fournir quelques précisions sur cette dernière.

### **La carte d'aléa d'inondation**

Cette carte localise les zones susceptibles de connaître une inondation, de manière plus ou moins étendue et fréquente et pour cause de débordement de cours d'eau (les remontées d'égouts ou de nappes ne sont pas pris en compte). L'aléa repose sur la considération de deux facteurs: la récurrence de l'inondation et la submersion.

- La récurrence

Elle est caractérisée par la période de retour de débits de crues. Celle-ci est obtenue par calculs statistiques en se basant soit sur des données historiques; soit sur des séries synthétiques obtenues à partir de mesures de précipitations au moyen d'un modèle hydrologique intégré; soit par observations et enquêtes de terrain de l'occurrence d'inondations.

On distingue trois types de récurrence suivant la période de retour (T):

- Récurrence faible pour  $50 \text{ ans} < T < 100 \text{ ans}$
- Récurrence moyenne pour  $25 \text{ ans} < T < 50 \text{ ans}$
- Récurrence forte pour  $T < 25 \text{ ans}$

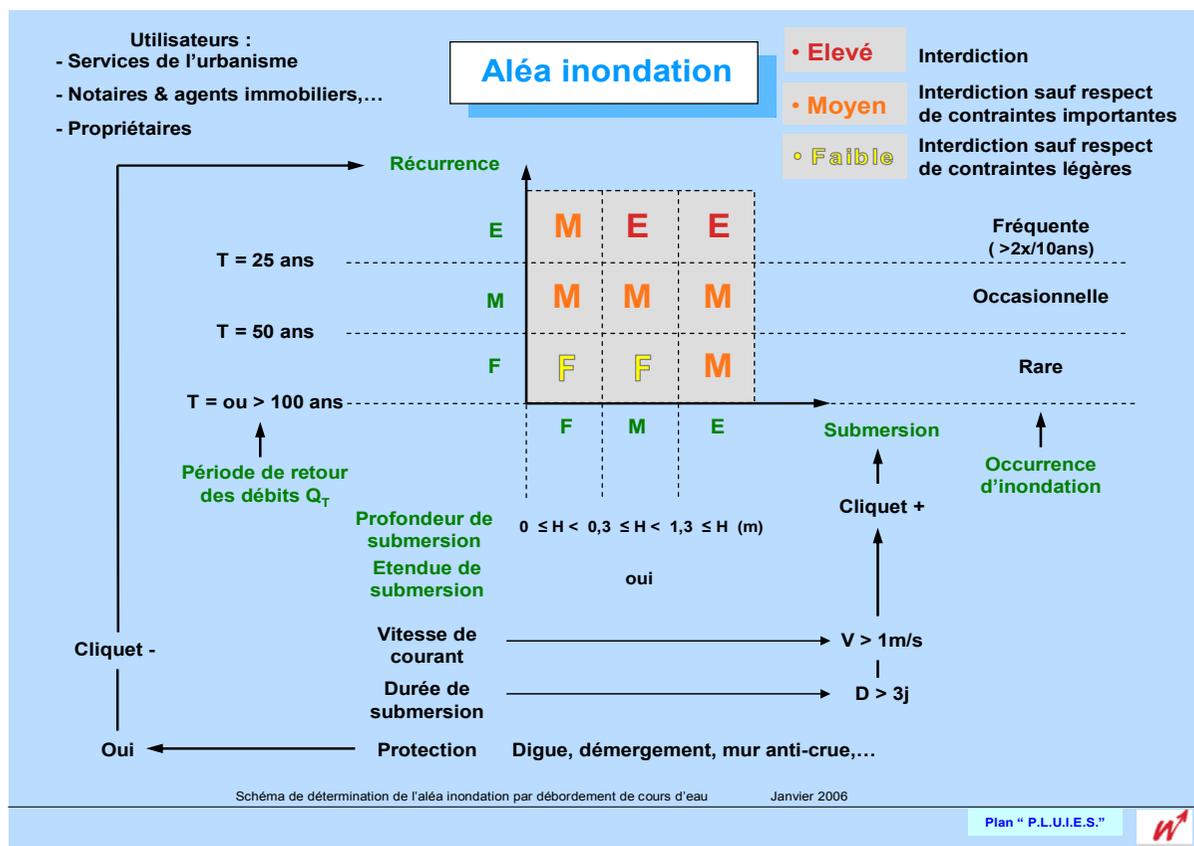
- La submersion

Elle est principalement déterminée par l'étendue et la hauteur d'eau de l'inondation. On la caractérise au moyen de modèles hydrauliques où la topographie est des lits mineurs et majeurs est numérisée. En cas d'indisponibilité des données nécessaires à la mise en œuvre de modèles hydrauliques, on caractérise la submersion par la méthode des "courbes enveloppes" basée sur l'utilisation d'informations pédologiques numérisées.

La submersion est caractérisée par trois intensités:

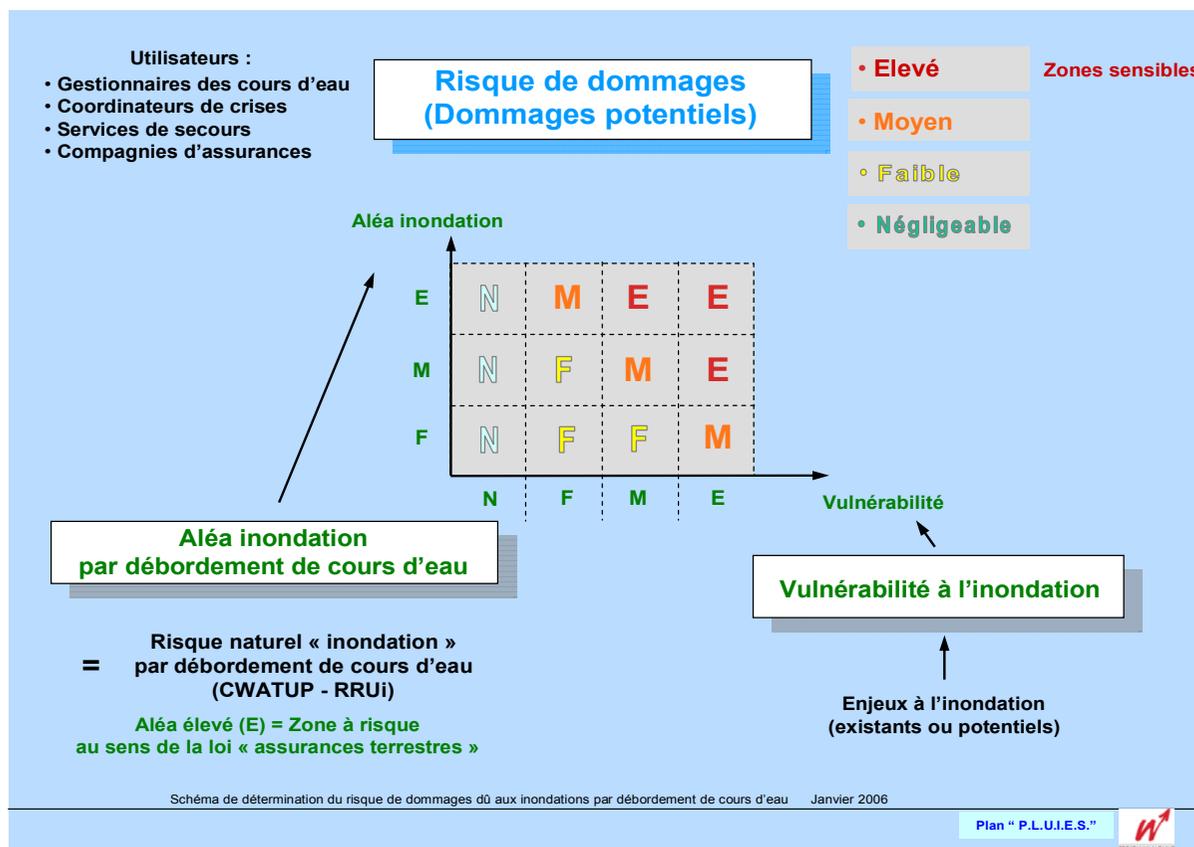
- Submersion faible pour profondeur  $< 0.3 \text{ m}$
- Submersion moyenne pour  $0.3 \text{ m} < \text{profondeur} < 1.3 \text{ m}$
- Submersion forte pour profondeur  $> 1.3 \text{ m}$

L'aléa inondation est classé en trois niveaux d'intensité suivant la combinaison des valeurs de récurrence et de submersion, cette étape peut être schématisée de la façon suivante:



## La carte du risque de dommages

Cette carte ne tient compte que des risques de dommages dus aux inondations par débordement de cours d'eau. Elle représente les dégâts potentiels sur des éléments vulnérables, c'est à dire sensible à l'inondation, et implantés dans des zones soumises à un aléa d'inondation. Pour rappel: l'aléa est défini comme étant la probabilité d'occurrence d'un phénomène. L'enjeu est des personnes, biens, activités, moyens etc susceptibles d'être affecté par un phénomène naturel. La vulnérabilité est le niveau de conséquences prévisibles subi par l'enjeu. L'élaboration de cette carte repose sur la combinaison de l'aléa inondation avec la vulnérabilité suivant une méthode schématisée ci-dessous:



La cartographie des risques dommages résultant de la méthode adoptée par le gouvernement wallon fournit donc trois classes de risques. La méthode actuelle ne permet donc pas au stade actuel de calculer l'impact monétaire des inondations et le rapport coût/bénéfice des mesures de protection envisagées.

## Comparaison des objectifs

Méthode allemande	Méthode néerlandaise	Méthode flamande	Méthode française	Méthode wallonne
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fournir une information complète sur les risques d'inondations potentiels aux politiques et au public</li> <li>▪ Donner à l'administration publique des critères d'évaluation transparents afin de mieux appréhender les mesures de protection au niveau de la gestion des zones d'expansion des crues ou des plans de développement urbain</li> <li>▪ Pouvoir proposer les clefs d'une meilleure planification (ingénieurs, économistes, urbanistes) par le recours à l'utilisation de méthodes standardisées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déterminer d'une manière standardisée les conséquences d'une inondation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaborer une méthode de calcul des dégâts causés par une inondation afin de pouvoir procéder à des analyses coût - bénéfice</li> <li>▪ Apprécier de manière standardisée les suites d'une inondation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prendre en compte le risque dans les projets d'aménagement du territoire et l'ensemble des documents d'urbanisme et les projets.</li> <li>▪ Sauvegarder les vies humaines dans les secteurs les plus exposés</li> <li>▪ diminuer la vulnérabilité des hommes et des biens, atténuer les conséquences humaines, sociales et économiques</li> <li>▪ Préserver les zones inondables de l'extension de l'urbanisation</li> <li>▪ Diminuer l'intensité de l'aléa tout en améliorant la gestion de l'eau</li> <li>▪ A l'issue de la procédure complète les cartographies établies ont une portée juridique forte et sont opposables aux tiers.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faciliter le traitement des demandes de permis en zone de risque majeur d'inondation</li> <li>▪ Permettre une meilleure planification régionale ou communale</li> <li>▪ Favoriser l'étude, par les services gestionnaires de cours d'eau, de mesures d'aménagement,</li> <li>▪ Faciliter la planification et l'intervention des services de secours et de la protection civile, en cas d'inondation,</li> <li>▪ Fournir aux compagnies d'assurance des informations objectives, leur permettant d'élaborer leur politique de dédommagement en conformité avec les dispositions légales en la matière.</li> </ul>

### **Comparaison des types de dommages économiques retenus**

<b>Méthode allemande</b>	<b>Méthode néerlandaise</b>	<b>Méthode flamande</b>	<b>Méthode française</b>	<b>Méthode wallonne</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dégâts internes directs</li> <li>▪ Dégâts internes indirects (pertes de temps et de production dus à une interruption, les dégâts sur les voies de transport et de communication)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dégâts internes</li> <li>▪ dégâts externes</li> <li>▪ dégâts directs</li> <li>▪ dégâts indirects</li> <li>▪ Pas de prise en compte des dégâts non évaluables financièrement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Premier temps: calcul des dégâts économiques pour les coûts directs et internes.</li> <li>▪ Estimation coûts indirects mais seulement pour les catégories "zones bâties", "zones industrielles" et "zones agricoles".</li> <li>▪ Il n'est pas tenu compte des dégâts qui ne sont pas financièrement estimables (ce point est toutefois abordé dans l'analyse coût/bénéfice sociale (MKBA) réalisée pour des projets tels que le Plan Sigma et le GKVP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas de calcul des dégâts économiques potentiels</li> <li>▪ Analyse qualitative de la vulnérabilité selon une typologie simple appliquée à des dégâts directs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas de calcul des dégâts économiques potentiels</li> </ul>

## Comparaison des méthodes utilisées

Méthode allemande	Méthode néerlandaise	Méthode flamande	Méthode française	Méthode wallonne
<p><b>Cartographie des dommages après qu'une inondation se soit produite</b></p> <p><b>Cartographie des dommages potentiels:</b></p> <p>Identifier les causes physiques des dommages</p> <p>Quantifier les effets: période de retour, étendue, hauteur d'eau</p> <p>Identifier et quantifier les dommages potentiels: type d'occupation du sol, valeurs monétaires...</p> <p>Transformer les valeurs quantifiables en valeurs monétaires: valeurs des dommages potentiels...</p>	<p>Schématisation des données relative à l'occupation du sol sous forme de grilles carrées</p> <p>Combinaison avec les données hydrauliques (hauteur d'eau, étendue...)</p> <p>Carte des risques de dommages potentiels:</p> $S = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot n_i \cdot S_i$ <p><math>\alpha_i</math> : facteur de dégâts de la catégorie i  <math>n_i</math> : nombre d'unités de la catégorie i  <math>S_i</math> : dégât maximal par unité dans la catégorie i</p>	<p><b>Système hydraulique:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation d'un modèle numérique de terrain</li> <li>- Elaboration de la carte d'inondation</li> </ul> <p><b>Système économique:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration de la carte d'occupation du sol</li> <li>- Elaboration de la carte des dégâts (maximaux) potentiels</li> </ul> <p>Combinaison des données des 2 systèmes: carte des dégâts potentiels puis cartes des risques de dommages</p> $S_w = \sum \alpha \cdot n \cdot S_{\max}$ <p><math>S_w</math> : dégât réel dans une zone  <math>S_{\max}</math> : dégâts maximaux  <math>\alpha</math> : coefficient exprimant la relation entre la hauteur d'eau et les dégâts  <math>n</math> : nombre d'unités linéaires ou de surface</p>	<p>Définition d'un bassin de risque</p> <p>Définition d'une zone de projet</p> <p>Analyse de l'aléa</p> <p>Qualification, quantification et cartographie de l'aléa sur la base de la crue centennale ou de la plus importante crue connue.</p> <p>Evaluation qualitative des enjeux</p> <p>Concertation « continue » avec les acteurs locaux à toute les étapes du processus</p> <p>Finalisation du processus dans le cadre d'une procédure d'enquête publique</p>	<p>Détermination de trois niveaux de récurrence</p> <p>Détermination de trois niveaux de submersion</p> <p>Détermination de l'aléa d'inondation en fonction de la récurrence et de la submersion</p> <p>Détermination qualitative du risque en fonction de l'aléa et de la vulnérabilité</p> <p>Les cartes ont une valeur officielle car approuvée par le Gouvernement wallon</p>

		formules complémentaires pour la vitesse de montée des eaux et la vitesse du courant		
--	--	--	--	--

### Comparaison des types de données utilisées

Méthode allemande	Méthode néerlandaise	Méthode flamande	Méthode française	Méthode wallonne
Résultats d'une modélisation hydrologique, statistiques des crues	<b>Données hydrauliques:</b> <i>Provenant du module inondation HIS:</i> - hauteur de l'inondation ou niveau d'eau par rapport au niveau du sol - vitesse du courant - vitesse de montée des eaux	<b>Données hydrauliques:</b> Utilisation de la banque de données HYDRA: hauteur d'eau, débits, précipitations et prévision de précipitations...  Niveau des plus hautes eaux, vitesse de montée des eaux et du courant, propriétés des vagues (zone côtière) ( ?)	Témoignage de la population  Critères topographiques, géologiques, morphologiques, hydrodynamiques	Hauteur d'eau maximale et étendue de la zone d'inondation
Résultats d'un modèle hydraulique: hauteur d'eau, étendue...			Critères géométriques, géologiques, morphologiques, hydrodynamiques	Données pédologiques
Modèle d'occupation du sol			<b>Données générales:</b> climatologie (pluies...) lithologie, pédologie, occupation du sol caractéristiques géométriques principales des bassins versants (surface totale, pentes...) évolution historique du bassin versant	Données hydrologiques (Q25, Q50 et Q100)
Collecte et analyse d'informations géographiques: topographie, cartes municipales, MNT	<i>Données propres:</i> - Facteur de protection dont le standard est nul - Vitesse critique du courant entraînant un effondrement (standard: 8 m/s) - Présence ou non d'une tempête	<b>Données relatives à l'occupation du sol:</b> CORINE LAND COVER Données à petite échelle Situation de l'utilisation des sols en Flandre et à Bruxelles Top50v-gis (Carte topographique vectorisée) Multinet base Stastistiques agricoles et		Données topographiques des lits mineurs et majeurs des cours d'eau, inventaire des zones inondées dans le passé
Collecte et analyse d'indicateurs économiques: estimation, valeur de capital, stocks de toutes les activités économiques. (Sources: analyses de marché, compagnies	<b>Données économiques:</b> Utilisation de courbes de dommages		<b>Données hydrométéorologiques et hydrauliques:</b> Etudes existantes Réseaux	Cartes numériques des sols, données du PICC et de l'IGN,  Enquête de terrain

d'assurance, références historiques statistiques des autorités, le chambre de commerce ou encore enquêtes de terrain)		NIS  <b>Données économiques:</b> Utilisation de courbes de dommages	de mesures: Stations pluviométriques et débitmétriques Indicateurs des plus hautes eaux connues Laises d'anciennes crues	
---	--	--	---	--

### **Comparaison des limites de chaque méthode**

<b>Méthode allemande</b>	<b>Méthode néerlandaise</b>	<b>Méthode flamande</b>	<b>Méthode française</b>	<b>Méthode wallonne</b>
<p>Les fonctions de dommage standard ne représentent pas les caractéristiques régionales.</p> <p>Approche se limitée aux dommages causés par débordements de rivières sans prise en compte des autres types d'inondations comme les remontées d'égouts ou d'eau souterraine.</p> <p>Plusieurs types de dommages intangibles ne sont pas pris en compte (risques pour les vies humaines par exemple), ni ceux générés par une éventuelle pollution des eaux.</p>	<p>Pas de prise en compte des dégâts non évaluables financièrement</p> <p>Méthode valable uniquement pour les zones endiguées avec risque de rupture et invasion massive d'eau</p>	<p>Pas de prise en compte des dégâts non évaluables financièrement</p> <p>Méthode ne prend en compte que de façon limitée la pollution de l'eau ni la durée de l'inondation, facteurs tendant à augmenter les dégâts.</p> <p>Une différence entre les inondations d'eau salée ou douce sera faite.</p>	<p>Pas de calculs de dommages économiques potentiels directs et indirects.</p> <p>Délai de finalisation de la procédure complète (mais forte portée juridique)</p> <p>Cout de mise en œuvre de la méthode jugé trop élevé dans les secteurs ruraux ou les enjeux sont faibles</p> <p>Mise en œuvre départementalisée (cas des zones de risque étendue)</p>	<p>Pas de calculs de dommages économiques potentiels</p> <p>Pas de prise en compte des dommages d'ordre émotionnels ou culturels</p>