

Direction  
générale de la  
prévention des  
risques

Service des  
risques naturels  
et hydrauliques

DGPR/SRNH/BRM

Juillet 2012

# Mise en œuvre de la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations

## Recommandations techniques pour l'élaboration de la cartographie des surfaces inondables et des risques



Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergies et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir

## Sommaire

I. Introduction.....	3
II. Élaboration des cartes de surfaces inondables.....	3
II.1 L'exploitation des cartographies existantes.....	3
II.1.1 Évaluation des cartes existantes.....	3
II.1.2 La transposition des cartographies non conformes aux normes SIG .....	4
II.1.3 Question de la topographie de base et de la validité des modèles si un nouvel MNT est disponible.....	4
II.1.4 Aspects juridiques .....	5
II.2 Les inondations par débordement de cours d'eau.....	5
II.2.1 Déroulement général des études.....	5
II.2.2 Les méthodologies disponibles.....	6
II.2.3 La détermination des scénarios et des méthodes.....	10
II.3 Les inondations par ruissellement .....	10
II.4 Les inondations par submersion marine et dans les estuaires.....	11
II.4.1 Démarche générale de l'étude d'aléa .....	11
II.4.2 Détermination du scénario de référence.....	12
II.4.3 Les méthodes de cartographie.....	13
II.5 Les inondations par remontée de nappes.....	14
II.5.1 La définition et la typologie des inondations par remontées de nappe.....	14
II.5.2 La méthodologie de cartographie de l'aléa « eaux souterraines » ou « remontée de nappes ».....	14
II.6 Aspects techniques communs.....	16
II.6.1 Le traitement de données issues de Modèle Numérique de Terrain « LIDAR ».....	16
II.6.2 La commande de modèles hydrauliques.....	16
III. Élaboration des cartes de risque.....	18
III.1 Généralités.....	18
III.2 Bases de données et méthodologie de représentation minimale des enjeux.....	18
III.3 Améliorations envisageables selon les contextes.....	20
III.4 Recommandations sur la sémiologie des cartes et la construction du SIG.....	20
Documentation de référence.....	21

## I. INTRODUCTION

Le présent document détaille des recommandations techniques pour l'élaboration des cartes. Ces recommandations sont non obligatoires. Ces dernières peuvent être complétées et enrichies par les rapports des 5 missions thématiques sur la méthodologie (inondations par débordements de cours d'eau et ruissellement ; remontées de nappes ; inondations par submersions marines et tsunamis ; format de diffusion, rapportage, présentation et sémiologie ; enjeux et paramètres), mis en ligne sur le site web collaboratif dédié à la mise en œuvre de la directive inondation (cf. Annexe 4).

En dépit de son caractère nouveau, notamment par la représentation de 3 niveaux de crues avec les enjeux, la cartographie pour la directive inondation se situe dans la continuité des préconisations techniques et stratégiques faites pour les cartographies des inondations (circulaire du 14 octobre 2003 portant sur les atlas de zones inondables) ou sur la concertation pour les PPR (circulaire du 3 juillet 2007).

La réalisation des cartes des surfaces inondables et des cartes des risques d'inondation s'appuiera en particulier sur la valorisation des données et cartographies déjà existantes, dans la mesure où elles sont techniquement et juridiquement réutilisables.

Bien que les rédactions qui suivent soient distinctes, à part pour l'exploitation des cartes existantes, la trame méthodologique est assez proche pour les différents aléas. La méthodologie générale sur les débordements de cours d'eau (II.1.2) peut en grande partie s'appliquer aux autres aléas.

Les chapitres qui suivent donnent des préconisations sur les méthodes à utiliser pour répondre aux objectifs de production fixés dans les spécifications, notamment pour la valorisation des données existantes.

Ils constituent une synthèse validée des conclusions et recommandations des missions ayant travaillé de septembre 2011 à début 2012, les rapports de ces dernières pouvant apporter des éléments de réflexion complémentaires

Ces préconisations sont bien entendu à adapter aux cas particuliers.

## II. ÉLABORATION DES CARTES DE SURFACES INONDABLES

### II.1 L'exploitation des cartographies existantes

#### II.1.1 *Évaluation des cartes existantes*

La reprise des cartographies existantes reposera sur l'évaluation de ces cartographies en fonction de leur pertinence par rapport aux critères retenus. En effet, ces cartographies existantes sont très disparates selon leur méthodologie d'élaboration et selon les caractéristiques retenues pour leur élaboration.

Au-delà de la qualité, la traçabilité des données et des méthodes est essentielle.

De manière générale, les cartes recensées conviennent si :

- les événements de référence sont bien compris dans la fourchette des périodes de retour et les hypothèses concernant la description de ces événements sont adaptées,
- les hypothèses concernant la prise en compte des ouvrages, des cordons naturels ou des remblais ne sont pas remises en causes,
- la méthode de cartographie retenue n'est pas à remettre en cause,
- le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est de qualité suffisante,
- l'extension de l'inondation et les hauteurs ou cotes d'eau sont disponibles et exploitables,

- des informations sur les incertitudes des données et méthodes sont disponibles, ou cette analyse des incertitudes peut être réalisée a posteriori,
- les choix méthodologiques et des données d'entrée retenues sont traçables,
- la réutilisation est autorisée juridiquement.

Plusieurs critères d'évaluation plus précis de leur qualité sont listés ci-dessous :

#### **Les données de base**

- l'hydrologie doit être récente ou encore valable, établie conformément aux règles de l'art sur le tronçon de cours d'eau,
- pour assurer la traçabilité des modèles hydrauliques, il est souhaité de pouvoir renseigner sur le modèle hydraulique, le pas spatial de modélisation, le type d'interpolation, les crues de calage...,
- la qualité (précision, résolution) de la topographie et l'identification des référentiels en plan et en altitude.

#### **Critères particuliers aux cartographies basées sur des relevés de crues historiques :**

- identification et caractérisation du type de relevés à l'origine des enveloppes : laisses de crues (densité, fiabilité), lignes d'eau et densité de points, photos aériennes,
- identification du processus de restitution : qualité des supports, problèmes de digitalisation et numérisation (déformations des plans d'origine), qualité globale de la restitution,
- possibilité de rattacher clairement un débit (mesuré ou reconstitué) et une probabilité d'aléa à chacune des surfaces d'inondation cartographiées,
- validité des cartes en situation actuelle : être en mesure de qualifier les évolutions importantes en lit mineur et/ou lit majeur.

#### **Critères particuliers aux cartographies issues de modélisations hydrauliques classiques :**

- pertinence de la technologie utilisée selon les caractéristiques du lit majeur,
- données de calage ( finesse et fiabilité des données, gamme des crues de calage),
- représentativité du scénario correspondant aux conditions aux limites dans le cas d'un tronçon recevant des apports significatifs,
- représentativité de la méthode de détermination des surfaces inondables et de ses paramètres (hauteur...) à partir des résultats hydrauliques,
- possibilité de réutiliser ces modèles pour compléter la cartographie des TRI.

### **II.1.2 La transposition des cartographies non conformes aux normes SIG**

Les cartographies des inondations historiques peuvent se présenter sous un format de données numériques (vecteurs) non géo-référencées ; il s'agit de cartes d'aléa réalisées à partir de fonds de plan scannés (assemblage cadastral, fond de cartes à diverses échelles).

La transposition demande de procéder au géo-référencement des données et éventuellement à leur recalage par exemple pour passer d'un fond de plan cadastral raster (papier scanné) à un fond issu des BD-SIG.

Les cartographies peuvent exister sous un format uniquement papier. Ces données doivent être numérisées si elles doivent être utilisées pour la cartographie des TRI. Cette numérisation peut être réalisée de manière automatisée (techniques d'analyse d'images) ou de manière manuelle. La complexité de l'opération est proportionnelle à la lisibilité des documents sources.

### **II.1.3 Question de la topographie de base et de la validité des modèles si un nouvel MNT est disponible**

Quand les modèles et les enveloppes produites ont été construits à partir d'un levé ancien, la question de la validité des modèles existants liée à la disponibilité d'un MNT récent se pose. Elle est à examiner à partir des considérations suivantes :

- les modèles existant ont été calés sur des niveaux (lignes d'eau, laisses) de crues observées et ces crues observées bien documentées sont relativement rares,
- les nouveaux modèles seront dans la plupart des cas calés sur les mêmes crues observées, de sorte que les différences sont très faibles lorsqu'on est proche des crues de calage,
- les résultats obtenus avec les nouveaux modèles seront a priori très proches de ceux obtenus par les modèles plus anciens (sauf modèles très sommaires), les différences tiendront à la résolution intrinsèque des différents modèles et probablement compatibles avec les incertitudes à considérer.

La disponibilité d'un MNT récent ne remet pas systématiquement en cause les résultats issus d'un modèle construit à partir d'une topographie plus ancienne.

### **II.1.4 Aspects juridiques**

En général, les cartes sont réalisées dans le cadre de prestations confiées aux bureaux d'études sous le régime de l'option A du CCAG-PI: le maître d'ouvrage conserve la propriété intellectuelle des données fournies, des résultats élaborés et des outils construits.

Sur le plan juridique, les résultats élaborés peuvent uniquement être réutilisés dans le cadre de l'objet de la prestation selon l'article 25 du CCAG-PI de 2009, la version antérieure donnant plus de liberté au maître d'ouvrage (article A.20.1). En toute rigueur, sauf mention contraire du marché signé, pour une utilisation dans le cadre d'un autre objet, un accord du prestataire serait alors nécessaire. On peut néanmoins imaginer que cet accord sera rarement refusé par les bureaux d'étude.

Sur un plan plus large, l'utilisation de données appartenant à un maître d'ouvrage est évidemment conditionnée à la mise en œuvre de conventions.

Par ailleurs, pour la mise en œuvre de modèles hydrauliques, la licence d'utilisation du code de modélisation n'est en général pas traitée dans le cadre des prestations. Les maîtres d'ouvrage ont donc rarement la possibilité d'exploiter eux-mêmes les modèles. Pour exploiter ces modèles afin de produire de nouveaux résultats, il est donc en général nécessaire de passer commande aux prestataires initiaux avec l'accord des maîtres d'ouvrage initiaux.

## **II.2 Les inondations par débordement de cours d'eau**

### **II.2.1 Déroulement général des études**

Le déroulement des études techniques permettant de produire les cartes des surfaces inondables sera identique à celui recommandé par la documentation méthodologique de référence des Atlas des Zones Inondables (AZI) ou des cartes d'aléas des PPR Inondation (PPRI) (voir liste de la documentation en annexe). Les considérations qui suivent peuvent être en partie transposées aux autres types d'inondation.

Pour la détermination des 3 niveaux de crues, on peut faire le rapprochement avec les niveaux décrits dans l'annexe de la circulaire sur les AZI du 14 octobre 2003 :

- crue fréquente ou crue historique plus banale,
- crue historique ou « PHEC »,
- maximum vraisemblable en référence à la limite du lit majeur hydrogéomorphologique.

Le déroulement des études recommandé pour chaque TRI repose sur la suite progressive d'analyses, d'expertises et d'études complémentaires suivantes :

- identifier le périmètre d'étude et le bassin de risque :
  - le périmètre d'étude : zones à cartographier à l'intérieur du périmètre du TRI, constituées de tronçons de plaine alluviale de cours d'eau,
  - le bassin de risque : bassins versants hydrologiques à l'origine des eaux de débordement ou de ruissellement dans le TRI et pour les inondations estuariennes de la partie du littoral influençant ces inondations.

- recenser et recueillir les données (morphologiques, topographiques, historiques, hydrométéorologiques, photographiques, CATNAT...) et les résultats d'études existants et disponibles,
  - analyser ces données et ces résultats d'études, en priorité la réutilisation des cartes existantes au 1/25.000,
  - établir les scénarios à prendre en compte : prise en compte des ouvrages, crues historiques et hydrologie,
  - définir les données complémentaires à acquérir telles que des données topographiques et bathymétriques,
  - définir les expertises ou études complémentaires nécessaires pour établir, compléter ou vérifier :
    - o la cartographie des AZI, basée sur une analyse hydro-géomorphologique complétée par la cartographie des inondations historiques (extensions, repères de crue),
    - o la cartographie des aléas, basée sur l'analyse hydrologique et la modélisation hydraulique.
- en distinguant :
- o les prestations nécessaires pour réaliser la cartographie DI avec une première phase garantissant la production des cartes pour fin 2013,
  - o les prestations utiles au-delà pour les PGRI et stratégies locales, les PPR, la prévision des crues, les missions des référents « inondations » notamment.
- Réaliser les études définies, qui devront toujours s'appuyer sur une analyse hydrologique des données et scénarios retenus.

## **II.2.2 Les méthodologies disponibles**

- **L'analyse hydrologique**

L'analyse hydrologique permet d'évaluer les débits de crue associés aux différentes probabilités de dépassement le long des tronçons de cours d'eau à l'origine des inondations dans le TRI. Elles seront basées sur les données hydrométriques issues de la banque Hydro et dans certains cas sur les données Shyreg. Elle est indispensable dans tous les cas de figure.

Les préconisations suivantes peuvent être formulées :

- faire une analyse critique des résultats des études hydrologiques recensées,
- faire l'analyse probabiliste des débits de crues évalués aux stations hydrométriques, en affichant clairement les débits maxima jaugés,
- rechercher des informations sur les crues historiques antérieures aux mesures hydrométriques continues et incorporer ces informations et les évaluations des débits associées dans l'analyse,
- rechercher des informations disponibles sur des événements historiques extrêmes ayant touché les bassins proches et de caractéristiques comparables et analyser leur impact potentiel,
- compléter par des méthodes d'analyse qui prennent en compte les observations pluviométriques :
  - Gradex et variantes, Schadex, Shypre ... ,
  - pour les bassins versants non jaugés d'une superficie comprise entre 10 et 1000 km<sup>2</sup>, par les résultats Shyreg qui seront fournis par la DGPR accompagnés d'une notice d'utilisation, en et vérifiant au niveau local la qualité des estimations Shyreg pour des probabilités fortes sur des bassins jaugés dans le secteur.

- **La modélisation hydraulique**

Les modélisations hydrauliques pourront être utilisées dans le cas de modélisation d'événement historique ou dans le cas d'utilisation d'une crue artificielle, par exemple de probabilité de dépassement annuel de 1/10 ou de période de retour probable centennale.

Le modèle géométrique utilisé pour la modélisation sera issu d'un pré-traitement des données topographiques et bathymétriques disponibles (Modèle Numérique de Terrain LIDAR, RADAR ou SONAR, plans photogrammétriques, levés de profils en travers et d'ouvrages, BD Topo, bathymétrie des fonds ...).

La détermination de l'étendue de l'inondation simulée et des hauteurs d'eau ou côtes d'eau NGF calculées nécessite un post-traitement topographique des résultats du modèle hydraulique avec des données topographiques et bathymétriques disponibles qui devront être cohérentes avec les données topographiques et bathymétriques utilisées dans la modélisation hydraulique.

Les principales recommandations suivantes peuvent être formulées :

- sur des tronçons courts de cours d'eau sans grandes zones d'expansion des crues, préférer une modélisation (1D filaire) en régime permanent,
- sur des tronçons longs de cours d'eau à cinétique lente (plus de 20 km) avec de grandes zones d'expansion des crues, préférer une modélisation (1D à casiers ponctué éventuellement de 2D locaux d'étendues limitées) en régime transitoire sauf pour le scénario d'aléa de faible probabilité si le lit majeur est complètement noyé et les effets d'écrêtement sont négligeables (l'objectif est d'obtenir des hauteurs d'eau ou cotes NGF maximales réalistes, le 1D à casiers est parfois considéré comme plus réaliste et plus fréquemment utilisé, car le 2D est lourd à mettre en œuvre sur de grandes surfaces),
- adapter la précision et la densité des données topographiques et bathymétriques utilisées pour la modélisation hydraulique notamment aux effets des ouvrages sur les hauteurs d'eau ou les côtes d'eau et les écoulements en crue (crête de digues, ouvertures des ponts ...),
- prendre des hypothèses simplificatrices sur le comportement des ouvrages hydrauliques (fonctionnement normal, rupture ou effacement suivant les scénarios), notamment pour le scénario de faible probabilité ou d'événements extrêmes,
- faire des tests de sensibilité des résultats de la modélisation (hauteurs d'eau ou les côtes d'eau) en fonction des conditions aux limites (intervalles de débits, scénarios hydrologiques, conditions aval) et des paramètres hydrauliques (coefficients de rugosité, pertes de charges singulières...).

- **L'hydrogéomorphologie et la cartographie sans modélisation**

Dans la méthode hydrogéomorphologique (HGM), la cartographie des zones inondables s'appuie sur le croisement de données géomorphologiques et des informations historiques inscrites dans la mémoire collective ou disponibles dans des documents.

L'analyse « HGM » des plaines alluviales fonctionnelles consiste à délimiter les différentes unités géomorphologiques de la plaine alluviale et l'enveloppe maximale des inondations, identifier les spécificités de l'encaissant, les traces hydrodynamiques afin de comprendre le mode de fonctionnement et l'évolution des cours d'eau. Elle permet ainsi de cartographier des enveloppes inondables calées sur l'identification des lits mineur, moyen et majeur. En revanche, elle ne permet pas de déterminer directement la probabilité des crues ainsi délimitées ni leurs paramètres physiques (hauteurs d'eau, vitesses, etc.).

Diverses études ont montré que, quand ils existent, le lit moyen correspond à une crue fréquente de période de retour de l'ordre de 5 à 15 ans, et le lit majeur à une gamme assez large de moins de 100 ans à plusieurs fois 100 ans. Il faut donc croiser la connaissance hydrogéomorphologique et les données historiques, hydrologiques et hydrauliques disponibles (limites des zones inondées, hauteurs, vitesses, débits) pour estimer la période de retour de l'enveloppe HGM couvrant l'encaissant.

*Intensité, fréquence, extension et dynamique* des inondations sont analysées à différents stades de l'étude, et plus ou moins précisément selon la richesse de l'information disponible. Ces paramètres se recoupent, se

chevauchent, se complètent et se vérifient, pour finalement s'ordonner lors de l'établissement de la cartographie.

Les **cartes hydrogéomorphologiques existantes** peuvent être utilisées comme suit :

- la crue de probabilité forte correspondant au lit moyen peut être tracée sans difficulté si les talus de ce lit sont bien marqués. Mais sans ce niveau géomorphologique, la délimitation devient plus approximative. Il est impératif de compléter cette analyse en intégrant les données historiques disponibles,
- la crue de probabilité moyenne peut être inférieure ou correspondre à l'enveloppe HGM,
- la crue de probabilité faible peut aussi être obtenue à partir de l'enveloppe HGM délimitée par l'encaissant. Il faudra cependant évaluer si la plaine alluviale est encore fonctionnelle pour le scénario d'aléa de faible probabilité compte tenu de l'anthropisation.

Si la plus haute crue connue (PHEC) ou crue centennale correspondant à la crue moyenne est trop proche de l'enveloppe hydrogéomorphologique, l'extension spatiale sera quasi similaire entre les crues moyenne et extrême.

Il faudra alors tracer une crue plus forte que celle représentée par l'encaissant hydrogéomorphologique. Si l'encaissant est bien marqué, la différence sera uniquement calculée en hauteur d'eau par une démarche hydraulique simple. Sinon, il faudra tracer une nouvelle limite spatiale qui se caractérisera en planimétrie et en altimétrie. La limite de la crue extrême pourra correspondre dans certaines configurations au lit majeur exceptionnel (se référer à l'ouvrage de référence), voire, selon la morphologie et l'anthropisation de la vallée, à la limite d'une terrasse alluviale.

Il convient donc suivant les cas de:

- définir le débit et la hauteur d'eau de faible probabilité, en déduire la différence de hauteur d'eau par rapport à la crue PHEC ou centennale (dont on connaît a priori le débit),
- rechercher des éléments géomorphologiques significatifs situés au-delà de l'encaissant, comme une terrasse, par exemple,
- tracer l'enveloppe de la crue extrême correspondante, soit par extrapolation de la ligne d'eau PHEC ou centennale puis croisement avec un MNT soit par modélisation hydraulique simplifiée.

Pour la **réalisation de nouvelles cartes hydrogéomorphologiques**, la démarche a mis en évidence quelques points forts ou d'attention :

- elle est particulièrement adaptée aux vallées présentant une morphologie bien marquée,
- le délai de production des cartes est relativement court par rapport aux modélisations,
- l'information disponible est riche (données, études, documents...),
- la validation par des visites détaillées de terrain est nécessaire,
- l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes est indispensable à l'étude des formations contenues par l'encaissant (plaine alluviale fonctionnelle, colluvions et terrasses) qui doit être confrontée aux données historiques reconnues,
- l'échelle du 1/25 000 sur fonds de carte IGN s'impose eu égard à la qualité d'élaboration et à l'objectif de lisibilité et de grande diffusion, mais pour des vallées étroites, il faudra recourir au 1/10 000,
- un travail par bassin versant sur l'ensemble de la région et un cahier des charges très détaillé permettent une qualité homogène des études et des représentations cartographiques,
- les travaux sont à réaliser en étroite collaboration avec les services techniques départementaux favorisant une appropriation des cartes au niveau local.

En revanche, elle comporte également certaines limites :

- elle peut être maximisante par rapport aux crues historiques dans le cas de vallées à fonds vastes et plats,
- les modifications anthropiques (recalibrages, suppressions ou ajouts d'obstacles à l'écoulement...) ne sont pas prises en compte, ce qui est d'ailleurs préférable si elles sont réversibles,

- la méthode ne permet pas de tracer les différents lits actuels d'une plaine alluviale fortement urbanisée, qui a donc été fortement remaniée. Cependant, la morphologie ancienne peut être retrouvée en analysant des photographies aériennes anciennes, montrant les dysfonctionnements potentiels engendrés par les aménagements récents qui n'ont pas toujours tenu compte des spécificités de la vallée.

- **La prise en compte des ouvrages de protection**

Pour l'événement fréquent la non défaillance des digues sera retenue lorsque cette hypothèse est la plus vraisemblable. A titre d'exemple, pour une crue de temps de retour proche de 20 ans, il suffit de considérer que la digue a moins de 1 chance sur 5 de connaître une défaillance, ce qui peut être raisonnablement admis si la digue ne présente pas de motifs particuliers d'inquiétude, pour estimer que la défaillance relève d'un événement de probabilité moyenne. Cette évaluation peut s'appuyer sur le comportement lors des crues passées, sur un diagnostic de sûreté ou une sur visite technique approfondie que le responsable de toute digue classée est tenu de réaliser.

Pour l'événement moyen, on se trouve dans une démarche « de prudence » qu'on peut comparer à celles des PPRI. La résistance éventuelle des digues est l'exception, et la très faible probabilité des ruptures, qui amènerait à considérer la rupture comme relevant du scénario extrême, doit être démontrée en se basant sur une connaissance parfaite de la structure de l'ouvrage et de ses conditions de gestion et d'entretien. Cette connaissance est ou sera normalement acquise à l'aide d'une étude de danger et d'une revue de sûreté de l'ouvrage dont les réalisations sont à la charge du responsable de l'ouvrage pour les ouvrages les plus importants, et qui doivent être validées par le service de contrôle.

Dans la plupart des cas, il sera probablement retenu un scénario de défaillance, analogue aux hypothèses prises pour le PPR s'il existe. En effet, cela permet de réutiliser des études existantes et d'être cohérent avec une position déjà prise par l'Etat sur le comportement des digues. Il faut alors vérifier que les hypothèses prises dans ce contexte soient valides.

Si on prend en compte des ruptures de digues, il sera possible dans certains cas de s'appuyer sur des enveloppes historiques intégrant des ruptures, des cartes ou modélisations existantes issues des PPRI ou des études de danger.

En l'absence de ces possibilités, il peut être fait appel aux méthodes suivantes :

- projection horizontale du niveau d'eau dans le lit mineur vers le lit majeur : méthode la plus simple, mais pas toujours réaliste,
- modélisation de brèches (méthode lourde)
- utilisation de la bande de  $100 \cdot H$  pour la zone de sur-aléa (méthode fréquemment utilisée en l'absence de données plus précises, H étant la hauteur entre le pied et la crête de la digue côté terrain protégé),
- modélisation hydraulique ou méthode hydrogéomorphologique de l'effacement complet (retour au cas sans digues)

Une évaluation raisonnablement précise de la zone inondée est généralement obtenue par projection de la hauteur d'eau sur la partie inondée (en rivière : hauteur en lit mineur projetée sur tout sur le lit majeur) quel que soit le mode de défaillance. S'il n'existe pas de cartographie ou d'événement historique disponible, et si la méthode citée ci-dessus n'est pas valide, il sera nécessaire d'utiliser une des méthodes plus complexes citées ci-dessus (modélisation), ou de rechercher une méthode simplifiée spécifique au cas étudié.

- **La méthode intégrée**

Cette méthode propose une vision intégrée et complète des méthodologies proposées ci-dessus. Elle identifie une hiérarchisation des études et investigations possibles, permettant d'aller du plus simple au plus complexe, chacune, à l'exception de l'analyse hydrologique, permettant de produire une carte d'aléa, plus ou moins précise selon la méthode adoptée :

- l'approche hydrogéomorphologique,
- le traitement des données historiques,
- l'analyse hydrologique,
- la modélisation hydraulique.

Les études doivent toujours être menées dans cet ordre logique, quel que soit le niveau final de précision attendu du document.

### **II.2.3 La détermination des scénarios et des méthodes**

La réalisation préalable d'une approche hydrogéomorphologique est toujours conseillée quelle que soit la méthode privilégiée pour la suite des études, sauf dans de rares cas où elle est manifestement inadaptée. En effet, elle permet une meilleure compréhension du fonctionnement de la vallée.

Pour les crues de probabilités forte et moyenne, il est conseillé de recourir à des crues historiques en réutilisant si possible les cartographies disponibles et en s'appuyant sur les événements CATNAT (il y a 96% de chance qu'une crue décennale se soit produite de 1982 à 2012).

Dans le cas contraire, la méthode de cartographie basée sur l'analyse hydrogéomorphologique croisée avec les données historiques est conseillée. Si cette dernière n'est pas adaptée, une modélisation hydraulique sera nécessaire en adaptant son niveau de complexité au contexte.

Pour la crue de faible probabilité ou extrême une modélisation hydraulique pourrait s'avérer nécessaire d'une part pour vérifier que la plaine alluviale est encore fonctionnelle et d'autre part pour fournir des hauteurs d'eau ou des cotes NGF. Cette modélisation hydraulique réutilisera, si elle est disponible, la modélisation du scénario d'aléa de moyenne probabilité.

Compte tenu du manque de données historiques dans ce dernier cas, la modélisation hydraulique à construire si nécessaire pourra être « simplifiée » par :

- une modélisation en régime permanent qui majore les hauteurs d'eau ou cotes d'eau NGF,
- une description géométrique du modèle hydraulique allégée des ouvrages hydrauliques en partie ou en totalité (digues, ponts ...), des lits d'étiage pour les rivières torrentielles,
- lorsqu'il n'existe pas d'effets de seuils, une extrapolation des résultats (courbe hauteurs-débits) de la modélisation hydraulique du scénario d'aléa de probabilité moyenne peut être utilisée.

## **II.3 Les inondations par ruissellement**

Ce risque concerne les zones amont des bassins versants avec très peu d'informations, ou des crues soudaines en milieu urbain. Dans le cadre de cette approche, les crues fréquentes ne sont pas traitées, sauf éventuellement si la collectivité territoriale dispose et met à disposition des cartographies en accord avec les principes de la cartographie directive inondation.

La détermination de l'hydrologie se fait soit par des connaissances locales historiques, soit par des calculs hydrologiques classiques soit par l'utilisation des résultats Shyreg. Un des points clés est de savoir à partir de quelle taille de bassin versant on devra cartographier l'aléa (10 ha, 1 km<sup>2</sup>, 10 km<sup>2</sup>...). Plus cette taille sera basse, plus les temps de calcul seront importants et plus l'incertitude sur l'hydrologie sera grande, car les données disponibles de calage seront de plus en plus faibles. Cette contrainte est à adapter, dans chaque cas et en fonction de la méthode utilisée, à la présence d'enjeux importants sur les petits bassins versants.

Plusieurs particularités sont à noter :

- les grilles classiques d'aléas n'ont parfois aucun sens pour déterminer le risques en particulier dans les zones à fortes pentes, des résultats en débit linéique (Hauteur\*Vitesse) ou en charge seront alors à privilégier,
- les données topographiques disponibles sur ces secteurs sont moins complètes ou précises,
- en milieu urbain dense, les phénomènes d'embâcles ou des modifications courantes de la micro-topographie peuvent constituer des éléments majeurs qui modifient radicalement les aléas à intégrer dans les éléments cartographiques à l'instar de la prise en compte des ouvrages hydrauliques,
- la projection de l'aléa des rues dans les îlots bâtis constitue aussi un enjeu de la cartographie de l'aléa en milieu urbain dense.

Les méthodes adaptées proviendront d'analyses spécifiques.

Cependant quelques méthodes, en général expérimentées ou appliquées un petit nombre de fois dans le sud de la France, peuvent être citées à titre d'exemple :

- Approches topographiques avec des concepts d'Exzeco (méthode automatique de traitement de la topographie utilisée dans le cadre de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation), qui ne permet que d'approcher des emprises de zones inondables,
- Approche 1D simplifiée : un calcul hydrologique est réalisé pour fournir un débit en chaque rue,
- Approche 1D simplifiée couplé à l'analyse hydrogéomorphologique : un débit linéique est calculé par relation entre la largeur de l'emprise et le débit hydrologique,
- Approche 1D casier, chaque rue et chaque carrefour étant un casier,
- Approche 1D simplifiée automatisée : sur les parties amont, un calcul automatisé avec l'utilisation de la formule de Strickler est conduit. Cette approche cherche à être généralisée avec le projet CARTINO,
- Approches 2D : Les modèles 2D classiques peuvent être mis en place de manière opérationnelle sur des secteurs urbains denses. Ils sont pour la plupart du temps très consommateurs en temps de réalisation ainsi qu'en temps de calcul.

## **II.4 Les inondations par submersion marine et dans les estuaires**

### **II.4.1 Démarche générale de l'étude d'aléa**

Les méthodologies proposées sont cohérentes avec celles qui ont été retenues pour l'élaboration des cartes d'aléa submersion marine pour les PPRL.

L'étude des submersions marines nécessite des méthodologies d'élaboration des cartes d'aléa adaptées aux spécificités liées au milieu littoral :

- impact des vagues (franchissements par paquets de mer en plus des entrées d'eau par débordement ou brèches, surcote du niveau marin),
- variation du niveau d'eau liée à la marée et au passage de la dépression météorologique,
- fortes interactions entre l'aléa submersion marine et l'évolution du trait de côte,
- impact du changement climatique sur le niveau moyen de la mer.

Les études des aléas littoraux sont réalisées en deux phases successives :

- l'analyse du fonctionnement du littoral qui devra permettre de déterminer :
  - o les paramètres à prendre en compte dans la description de l'événement naturel de référence (impact des vagues, impact d'un ou plusieurs cours d'eau...),
  - o la méthode de cartographie la plus appropriée.
- la caractérisation de l'aléa qui se divise en deux sous-parties :
  - o le choix des scénarios, c'est-à-dire le choix de l'événement maritime naturel de référence ainsi que les hypothèses de prise en compte des structures de protection,
  - o la caractérisation de l'aléa sur la zone d'étude, c'est-à-dire la propagation à terre de la submersion et ses conséquences hydrauliques.

Afin d'estimer si les hypothèses retenues dans les études d'aléas existantes conviennent ou s'il faut réaliser des études complémentaires, la démarche de travail suivante pourra être mise en œuvre :

- recherche des cartes existantes respectant les contraintes imposées a priori,
- lancement en parallèle de la phase « Analyse du fonctionnement du littoral » définie ci-dessus,
- analyse des cartes recensées afin de voir si elles conviennent, identification des cartes manquantes.

On distinguera :

- o les prestations nécessaires pour réaliser la cartographie DI avec une première phase garantissant la production de cartes des surfaces inondables pour fin 2013,

- les prestations utiles au-delà pour les PGRI et stratégies locales, les PPR, la prévision des crues, les missions des référents « inondations »...

## **II.4.2 Détermination du scénario de référence**

L'événement de référence doit prendre en compte les éventuelles origines multiples de l'inondation et être décrit par deux paramètres, **vagues** et **niveau d'eau** et prendre ainsi en compte la surcote liée à la houle dans le niveau marin. Les volumes entrants par débordement, franchissement par paquets de mer et éventuellement rupture doivent être étudiés.

Les dommages peuvent être causés uniquement par des franchissements par paquets de mer, le niveau marin étant sous la cote de débordement.

L'impact du changement climatique est à étudier seulement sur l'événement moyen à échéance 100 ans. Il est non négligeable, du fait de l'importance du niveau moyen de la mer dans sa définition. L'hypothèse d'élévation du niveau de la mer à privilégier sera basée sur le scénario pessimiste de l'ONERC (0,6 m à échéance 2100). Cette élévation est rajoutée au niveau marin retenu pour l'événement moyen.

### Prise en compte des ouvrages et scénarios à étudier

Le système de protection peut être composé de structures artificielles (digues, remblais...) et/ou de structures naturelles (cordons naturels).

Alors que les règles de prise en compte des ouvrages de protection sont définies de manière générale pour tous les types d'inondation, le choix des hypothèses concernant les cordons naturels est liée à l'évolution du trait de côte et doit s'appuyer notamment sur une approche géomorphologique.

Plusieurs hypothèses sont envisageables pour le comportement des ouvrages de protection artificielles :

- les ouvrages sont fonctionnels ou non défaillants,
- défaillance généralisée de l'ouvrage (arasement ou ruine généralisée),
- défaillance partielle (brèches).

Il est proposé de manière générale de retenir les hypothèses principales suivantes, à condition de les justifier au regard de l'analyse hydraulique du système de protection et des éléments connus sur les ouvrages :

- événement fréquent : système de protection fonctionnel,
- événement moyen : brèches dans les ouvrages,
- événement extrême : ruine généralisée.

Dans le cas où un événement historique est retenu, les hypothèses concernant les structures de protection ne sont pas nécessairement celles observées lors de l'événement.

Le choix entre les 3 scénarios de comportement des ouvrages s'appuiera sur l'analyse fonctionnelle externe des ouvrages hydrauliques et sur l'analyse structurelle des ouvrages à partir des éléments transmis par le gestionnaire.

La méthode simple de détermination de la zone d'aléa par superposition du niveau marin à la topographie ne permet le choix que de l'hypothèse ruine généralisée. Cependant, pour des surfaces inondables de faibles superficies ou des marnages faibles, entraînant une tenue de plusieurs heures ou jours des niveaux marins hauts, le débordement ou la rupture d'ouvrage peut conduire à des conséquences similaires en terme d'inondation (extension et hauteurs d'eau maximum constatées).

Le choix des hypothèses du scénario brèches (localisation des brèches, dimensions...) s'appuie sur les mêmes éléments d'analyse ainsi que sur les recommandations pour la réalisation des PPRL

- une brèche par tronçon d'ouvrage (segment homogène d'un ouvrage en termes de nature, de structure, de matériaux, de caractéristiques géométriques) ;
- largeur des brèches de 100 m, sauf si l'analyse historique fait état de brèches plus larges par le passé ou si des études spécifiques démontrent que la largeur de brèche serait entre 50 et 100 m.

Cas des estuaires : une approche spécifique doit être mise en œuvre.

Pour les submersions fréquentes et moyennes, des simulations numériques des niveaux d'eau permettent de connaître le niveau d'eau à retenir en chaque point de l'estuaire. Pour cela, plusieurs événements doivent être testés. Les événements historiques ou théoriques, sont alors caractérisés par différents couples niveau marin/débit ( $Z, Q$ ) dont la période de retour globale doit être comprise dans les fourchettes de chaque type d'événement (fréquent, moyen, extrême). Les niveaux le long de l'estuaire sont ensuite déterminés par la courbe enveloppe des niveaux d'eau produits sur l'estuaire par chaque événement. A l'aval, où l'influence fluviale est négligeable, le niveau retenu est le niveau marin ( $Z$ ). A l'amont, où l'influence maritime est négligeable, le niveau retenu est celui généré par le débit ( $Q$ ) de l'événement retenu.

Cette méthode ne sera pas appliquée pour les événements extrêmes qui demandent des méthodes bien distinctes (voir plus loin). Dans ce cas, on cherchera à remplir la totalité des plaines alluviales et littorales, en retenant des événements extrêmes concomitants pour les niveaux maritime et fluvial..

### **II.4.3 Les méthodes de cartographie**

Pour les événements fréquent et moyen, la méthode de cartographie la plus simple possible est à privilégier, en lien avec les objectifs de résultats à cartographier au 1/25 000, en étudiant successivement :

- la superposition niveau marin/topographie qui peut être réalisée avec des outils simples types SIG, une méthodologie est fournie sur wikhydro ;
- une répartition simple des volumes d'eau entrant préalablement estimés, sur la topographie par un outil SIG adapté (plan d'eau horizontal et zones les plus basses inondées en premier) ;
- une modélisation numérique pourra être envisagée si ces méthodes ne conviennent pas.

La première méthode, superposition du niveau marin à la topographie, sera systématiquement à mettre en œuvre. Le résultat obtenu devra être contrôlé, notamment par comparaison de la cartographie obtenue avec les événements historiques, l'analyse du rôle des obstacles à l'écoulement, le calcul approché du volume d'eau entrant potentiel...

Si cette première méthode simple ne convient pas, une estimation des volumes entrants peut être réalisée et comparée aux apports d'eau sur l'ensemble du linéaire. Le volume compris entre le niveau du plan d'eau inondé et la topographie est égal aux volumes d'eau entrants.

Cette seconde méthode convient pour tous les modes de submersions (débordements, franchissements par paquets de mer et rupture) dès lors que la topographie arrière-littorale n'est pas trop complexe, c'est-à-dire s'il n'y a qu'une seule dépression, et que les surfaces inondables n'ont pas une emprise trop importante. La modélisation numérique est donc à privilégier dans les autres cas.

Pour l'événement extrême, la difficulté de définir les caractéristiques d'un événement naturel de période de retour proche de 1000 ans conduit à retenir une méthode différente des événements fréquent et moyen. La carte d'aléa de l'événement extrême est à réaliser par la confrontation de différentes approches :

- approche historique : synthèse des connaissances d'événements historiques de période de retour proche ou supérieure à 1000 ans, même très anciens,
- approche géologique (secteurs de dépôts, alluvions, graviers, limons, sables, vases, etc.),
- approche hydro-géomorphologique : appui sur l'analyse des ruptures de pente des MNT en particulier visualisables sur de grandes surfaces avec les données LIDAR ou LITTO3D),
- approche topographique avec un niveau marin extrême ou de probabilité faible.

Pour l'approche topographique, le niveau marin réellement de probabilité de dépassement de 1/1000 ne paraissant pas utilisable étant donné les trop fortes incertitudes, il est proposé de retenir une approche de type Règles Fondamentales de Sûreté pour déterminer un niveau extrême de référence. Le niveau marin extrême retenu pour la réalisation de l'approche topographique, inspiré de ces règles est défini par l'addition du niveau de pleine mer astronomique (PHMA – Plus Hautes Mers Astronomiques), de l'estimation de la surcote météorologique de probabilité de dépassement de 1/1000 et d'une marge de sécurité (valeur à définir pour prise en compte d'autres phénomènes – horsain, surcotes liées aux vagues...).

Les niveaux extrêmes à retenir en métropole seront donnés au niveau national.

Lorsque ces 4 approches auront été mises en œuvre, il conviendra de vérifier que les zones sous le niveau marin extrême sont cohérentes avec les approches hydrogéomorphologique et géologique, et que les extensions des événements historiques recensés sont bien inférieures aux limites obtenues.

En outre-mer, les modélisations de passage de cyclones peuvent donner des informations sur les surcotes. Le choix de l'événement de référence (niveaux marins et vagues) sera vraisemblablement à faire à dire d'experts sur la base d'une analyse bibliographique dans un contexte cyclonique où les analyses statistiques des extrêmes sont moins appropriées.

## **II.5 Les inondations par remontée de nappes**

### **II.5.1 *La définition et la typologie des inondations par remontées de nappe***

Les inondations par remontée de nappe se produisent lorsque le niveau d'une nappe phréatique libre dépasse le niveau topographique des terrains qui la renferme.

Les nappes phréatiques libres - dont la surface est à la pression atmosphérique et susceptible de varier sans autre contrainte physique- ne sont pas isolées du niveau topographique du sol par des horizons imperméables. Une partie des précipitations s'infiltré dans le sous-sol et alimente la nappe, dont le niveau présente, en général, un cycle annuel. La différence entre les niveaux minimal et maximal de la nappe détermine l'amplitude du « *battement de la nappe* ».

La typologie des remontées de nappe dépend du contexte hydrogéologique des aquifères concernés et comprend essentiellement en métropole :

- la *remontée des nappes alluviales* générées soit par la transmission au milieu aquifère d'une onde d'inondation générée par la crue du cours d'eau, soit par des précipitations abondantes sur une longue durée provoquant un écoulement du trop plein de la nappe vers le cours d'eau.
- la *remontée des grands aquifères libres régionaux*, à forte capacité et écoulement lent, générée par des pluies excédentaires sur plusieurs années conduisant à une recharge plus importante que la décharge naturelle par les rivières, jusqu'à aboutir au débordement de la nappe lors des hautes eaux.

Les remontées de nappe se rencontrent aussi en présence d'aquifères de plus petites dimensions ou à caractéristiques hydrodynamiques particulières, tels que les aquifères karstiques, littoraux...

### **II.5.2 *La méthodologie de cartographie de l'aléa « eaux souterraines » ou « remontée de nappes »***

Il est préconisé que la cartographie soit menée pour chaque nappe phréatique libre, susceptible de générer des inondations par remontée de son niveau et en s'appuyant sur l'étude des aquifères. Elle reposera sur l'établissement d'une carte piézométrique de l'aléa extrême et sa comparaison avec la topographie fine du secteur d'étude.

Les quatre étapes principales suivantes sont identifiées:

Étape 1 : la définition du contexte hydrogéologique, le recensement et le catalogage des données disponibles

Cette première étape vise à collecter et à organiser le maximum d'informations et de données factuelles concernant l'aquifère à étudier. Elle s'attachera en particulier à :

- caractériser le contexte hydrogéologique par la nature et les limites géométriques du réservoir de l'aquifère, la détermination des modes d'écoulement et des relations avec le réseau hydrographique et/ou les autres aquifères présents dans son environnement,
- recenser et cataloguer les données ponctuelles (niveaux et chroniques de puits, forages, piézomètres, sources...) ou cartographiques (cartes piézométriques) disponibles, ainsi que tout autre élément utile.

Étape 2 : l'établissement la carte piézométrique des plus hautes eaux de la nappe

L'établissement de la carte piézométrique des plus hautes eaux de la nappe peut théoriquement être réalisée par 4 approches différentes :

- l'approche numérique utilise la modélisation pour simuler les conditions extrêmes de la nappe (difficilement réalisable au stade actuel de connaissance des aquifères),
- l'approche classique repose sur une cartographie piézométrique établie à partir de données collectées en période de plus hautes eaux. La comparaison de différentes piézométries de hauts et bas niveaux permet d'évaluer le battement de la nappe,
- l'approche BRGM repose sur une analyse statistique des mesures de niveau de la nappe, disponibles dans les bases de données nationales combinée aux cartes piézométriques existantes,
- l'approche hydromorphologique (DREAL Haute Normandie) conduit à établir une esquisse de la piézométrie des hautes eaux de la nappe à l'échelle du secteur d'étude, à partir d'une sélection et d'une interpolation guidée des informations géolocalisées sur les niveaux extrêmes de la nappe.

Les deux dernières approches apparaissent complémentaires et leurs mises en œuvre conjointes sont conseillées dans le cadre du premier cycle de cartographie de la directive inondation.

### Étape 3 : la définition et l'établissement du niveau et de la carte piézométrique de l'aléa extrême

La cartographie de l'aléa extrême par interpolation directe de données ponctuelles de niveaux extrêmes, sur la base d'analyses statistiques, nécessiterait d'abondantes chroniques piézométriques et apparaît peu réaliste particulièrement au regard de la densité des mesures disponibles sur le milieu souterrain.

C'est pourquoi, il est plutôt préconisé l'application d'une surcote à la carte des plus hautes eaux (PHE). Cette surcote est forfaitairement définie comme le demi-battement de la nappe. Ce demi-battement régionalisé est établi par une analyse statistique des niveaux d'eau et/ou des chroniques existantes.

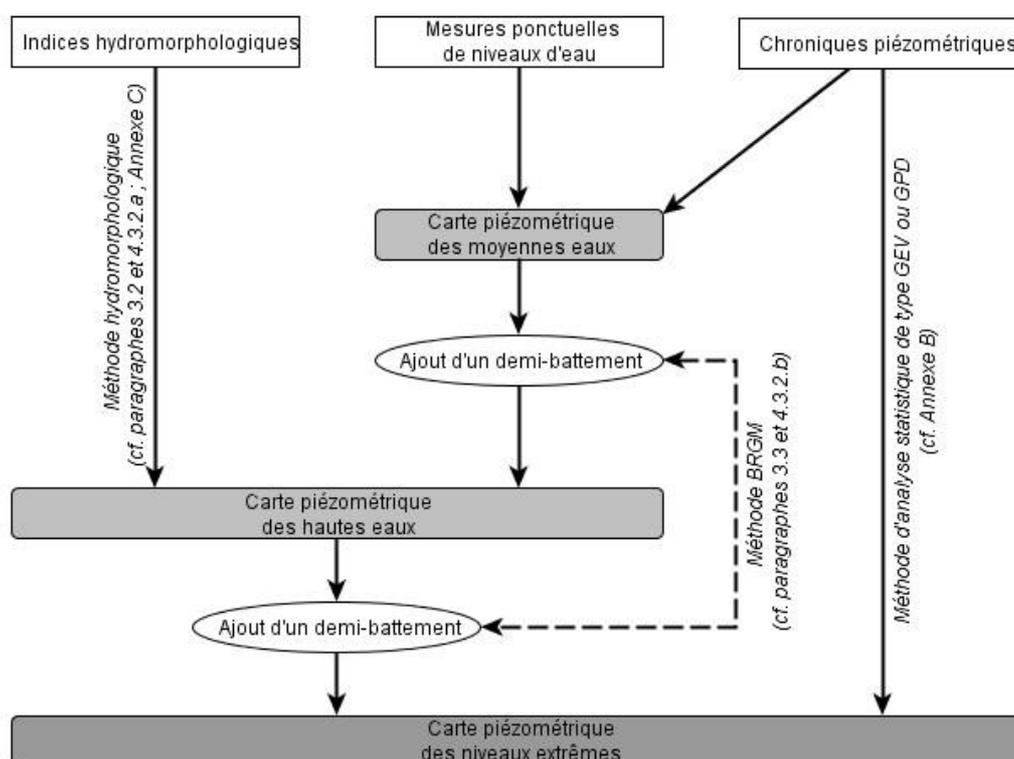


Illustration: Méthode de détermination de l'aléa extrême

### Étape 4 : l'établissement de la carte des zones inondables par remontées de nappe

La cartographie des zones inondables s'effectue par comparaison entre la topographie fine de la surface et la carte piézométrique de l'aléa extrême.

Les dommages occasionnés aux infrastructures enterrées (réseaux, caves, garages...) par les remontées de nappes sont bien souvent les plus coûteux. C'est pourquoi, la cartographie repose sur une courbe enveloppe

issue de la comparaison de la topographie abaissée de 2,5 mètres, valeur correspondant à un étage d'habitation, et de la carte piézométrique de l'aléa extrême.

Les secteurs susceptibles d'être affectés par les remontées de nappe sont ainsi définis. En revanche, les hauteurs et durées de submersion ne sont pas quantifiables par cette simple analyse, parce qu'elles dépendent trop des conditions d'écoulement et drainage en surface.

## **II.6 Aspects techniques communs**

### **II.6.1 Le traitement de données issues de Modèle Numérique de Terrain « LIDAR »**

Ces données représentent une masse d'information importante ce qui nécessitera une attention particulière pour la visualisation et l'exploitation.

La constitution du *Modèle Numérique de Terrain de Référence* (MNTR) peut amener à enrichir le MNT initial (données Lidar par exemple) de lignes géométriques en 3 dimensions (polylignes 3D) afin de préciser certains secteurs tels que les berges des cours d'eau ou encore les crêtes de digues. Cette partie est la plus pertinente en entrée de modélisation numérique et moins pour la production de la carte d'inondation.

La constitution du *Modèle Numérique de Surface en Eau* (MNSE) nécessite une analyse hydraulique de l'information disponible (critiques des PHE, analyse des modélisations hydrauliques l'origine des résultats à utiliser), préalablement au croisement.

Ainsi la carte d'inondation sera obtenue par comparaison/croisement entre deux surfaces (l'une topographique : MNTR et l'autre d'inondation : MNSE) pouvant être sous deux formats : grille, aussi appelé *raster* (fichiers de type ASCII, ou grid par exemple) et/ou le format natif sous forme de semis de points ensuite triangularisés (MNT TIN fichiers texte, ou de type XYZ notamment).

Lorsque le MNTR est constitué uniquement des données Lidar, le croisement sera très simple à mettre en oeuvre au format grille. Lorsqu'un allègement des données Lidar aura été nécessaire, ce qui n'est pas forcément indispensable, le résultat de cet allègement étant un TIN, le format de croisement pourra être réalisé au format TIN ou raster. Des méthodes libres de croisement du LIDAR sont disponibles sur wikhydro

Dans les services du MEDDE, plusieurs systèmes d'information géographiques sont utilisées, les principaux étant MAPInfo et ARCMAP. L'expérience d'utilisation de ces outils montre que le volume de données à utiliser peut être un paramètre important à prendre en compte pour le choix du logiciel comme du format de données.

Chaque DREAL peut utiliser les outils dont elle a déjà la maîtrise. Toutefois, des méthodologies avec l'outil libre Qgis-GRASS, commencent à être déployées au niveau du MEDDE et disponibles sur wikhydro. Les méthodes suivantes sont envisagées :

- classement en iso-valeurs en particulier pour la cartographie des zones basses littorales,
- création de profils en travers, en long de cours d'eau, de crête de digues...
- détection de lignes de ruptures de pente pour l'intégration de ces données dans les modèles hydrauliques ou la réalisation de cartes hydrogéomorphologiques,
- réalisation de cartes de hauteur d'eau à partir de données historiques (PHE, limites de zones inondables), de résultats de modélisations hydrauliques ou d'emprises hydrogéomorphologiques.

### **II.6.2 La commande de modèles hydrauliques**

Il convient de garantir la possibilité par le maître d'ouvrage de réutiliser le modèle y compris si cela paraît utile la possibilité de le faire évoluer ;

- si le type de modélisation le permet, préconiser les outils gratuits « Mascaret » pour le 1D et « Telemac » pour le 2D mais pas au détriment des objectifs de qualité (avis d'expert RST/Schapi à demander au cas par cas) au moins en variante. A défaut, il convient de préférer des codes répandus et reconnus,
- si une réutilisation est envisagée, acquérir les licences des codes s'ils ne sont pas gratuits,

- dans tous les cas demander la fourniture de l'ensemble des fichiers de données et résultats avec une documentation et un rapport afin d'en assurer la traçabilité et la compréhension, sous une présentation homogène,
- préconiser que les nouvelles modélisations soient les plus polyvalentes possible en envisageant d'emblée la réponse aux autres fonctions utiles telles que la prévision des crues (ou au moins la construction d'un tronc commun multi fonctions).

## III. ÉLABORATION DES CARTES DE RISQUE

### III.1 Généralités

La mise en œuvre des cartes de risque s'appuiera sur le SIG à constituer en respectant le modèle de données établi par l'IGN, quel que soit l'outil géomatique retenu.

Des données seront produites au niveau national par un opérateur : calcul de la population et d'une fourchette du nombre d'emplois sur un semis de points, fourniture des données rapportées dans le cadre de la directive cadre sur l'eau.

D'autres données devront être localement extraites de différentes bases de données, puis vérifiées et complétées.

Enfin des données locales peuvent éventuellement permettre de compléter les informations.

La structuration des données sera conforme au modèle de données élaboré à cette fin et validé par la CODAVIS.

### III.2 Bases de données et méthodologie de représentation minimale des enjeux

Les bases de données permettant le calcul des paramètres ou la représentation des enjeux peuvent être constituées, a minima, à partir des bases nationales disponibles. Dans un seul cas, celui des installations IPPC, les données devront être vérifiées et parfois modifiées.

Une **base de donnée par TRI** sera fournie par un opérateur national ; elle comportera des points auxquels seront associés un nombre approximatif d'habitants ainsi qu'une fourchette d'emplois ; les services élaboreront le maillage de calcul (découpage des surfaces inondables par scénario / communes). Si cela est pertinent un découpage infra communal pourra être retenu, par exemple dans les cas suivants : commune très étendue, existence d'arrondissements, surfaces inondables disjointes dans la même commune. Un outil permettra ensuite d'obtenir le nombre approximatif d'habitants et une fourchette du nombre d'emplois sur les communes et sur le TRI.

La **BD Topo v2** de l'IGN permet :

- **la représentation minimale des zones d'activité** par une surface, par l'intermédiaire de la classe « SURFACE\_ACTIVITE », dont l'attribut « CATEGORIE » vaut :
  - o « Industriel ou commercial » (la classe PAI\_INDUSTRIEL\_COMMERCIAL permet ensuite de distinguer industriel et commercial),
  - o « Culture et loisirs » (la zone comportant un point de la classe PAI\_CULTURE\_LOISIRS dont la valeur de l'attribut « NATURE » est « camping »),
  - o « Transport » (la zone comportant un point de la classe PAI\_TRANSPORT dont la valeur de l'attribut « NATURE » est « Aérodrome non militaire / Aéroport international / Aéroport quelconque / Port »)

L'identification du type, demandée par le décret « DI », sera réalisée conformément à la nomenclature COVADIS élaborée pour les PPR (espaces économiques) : 301-activité industrielle, 302-activité commerciale, 303-activité future, 304-agricole ou assimilée, 305-camping, 306-ports et aéroports, 307-carrières. D'autres données locales (CCI, DREAL, registre graphique parcellaire...) peuvent également être utilisées pour délimiter les zones d'activités ou les qualifier.

- **la représentation minimale des établissements, infrastructures ou installations sensibles dont l'inondation peut aggraver ou compliquer la gestion de crise** : les données du SIG seront constituées dans un premier temps à partir des données suivantes :

Thème	Classe	Valeurs de l'attribut « Nature » à sélectionner
Réseau routier	ROUTE	Attribut « Importance » valant 1, 2 ou 3
Voies ferrées	PAI_TRANSPORT	Gare voyageur uniquement, Gare voyageurs et fret
	TRONCON_VOIE_FERREE	Principale
Transport aérien	PAI_TRANSPORT	Aérodrome non militaire, Aéroport international, Aéroport quelconque
Énergie	POSTE_TRANSFORMATION	
Eau	RESERVOIR_EAU	
Établissements difficilement évacuables	PAI_ADMINISTRATIF_MILIT AIRE	Etablissement pénitentiaire
	PAI_CULTURE_LOISIRS	Camping, Village de vacances
	PAI_SCIENCE_ENSEIGNEMENT	Enseignement primaire
	PAI_SANTE	Etablissement hospitalier, Hôpital
Établissements utiles à la gestion de crise	PAI_ADMINISTRATIF_MILIT AIRE	Caserne de pompiers, Gendarmerie, Poste ou hôtel de police, Préfecture, Préfecture de région

Les casernes de pompiers, les hôpitaux, les prisons sont des établissements jugés prioritaires et devant être systématiquement représentés. Les autres enjeux ne seront représentés que si cela est jugé utile, en évitant de surcharger inutilement les cartes.

La **base GIDIC** (Gestion Informatique des Données des Installations Classées), renseignée par les DREAL depuis le 1/4/1999 comporte les coordonnées X,Y des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Les installations dites « IPPC » sont les ICPE les plus polluantes, et sont visées par l'annexe I de la directive 2010/75/UE.

Une liste des installations IPPC susceptibles d'impacter des zones protégées sera déterminée à partir de la liste des communes appartenant au TRI et jusqu'à 30 km à l'amont de celui-ci. Chaque installation IPPC de cette liste sera géoréférencée par un point à l'aide de ces coordonnées, puis vérifiée par le service en charge de la cartographie (le déplacement du point peut être nécessaire parce que non référencé ou représentant une partie de l'installation hors de la surface inondable).

Les installations classées présentant les plus grands risques accidentels, soumis à la directive Seveso, sont aussi recensés dans GIDIC.

La **Base de Données sur les Eaux Résiduaires Urbaines (BDERU)** répertorie les stations de traitement des eaux usées (STEU). Il est possible d'extraire les stations actives de plus de 2000 EH (équivalents habitants). Une liste des STEU susceptibles d'impacter des zones protégées sera déterminée à partir de la liste des communes appartenant au TRI et jusqu'à 30 km à l'amont de celui-ci. Chaque installation sera géoréférencée à partir de ses coordonnées dans cette base.

Les **données issues du rapportage de la directive cadre sur l'eau** seront fournies aux services pour qu'ils puissent constituer le SIG et indiquer la présence de zones protégées pouvant être impactées par des installations polluantes (IPPC ou STEU) situées dans une limite de 30 km à l'amont : captages d'eau potables, masses d'eau destinées aux futurs captages, eaux de baignade, zones de protection des habitats et espèces.

### **III.3 Améliorations envisageables selon les contextes**

Au-delà du travail minimal de représentation évoqué dans le paragraphe précédent, les services qui le souhaitent, notamment parce que les enjeux le justifient ou parce que des démarches pré-existaient, ont la possibilité de compléter l'identification et la représentation des enjeux.

La **population saisonnière** peut être renseignée si elle est connue (on entend par population saisonnière le surplus de population par rapport à la population permanente). Une évaluation de cette population devra être réalisée dans les TRI littoraux (se situant sur le littoral quel que soit le type d'aléa) selon une méthode qui sera proposée par le niveau national.

Les « **Établissements, infrastructures ou installations sensibles dont l'inondation peut aggraver ou compliquer la gestion de crise** » peuvent être complétés par les recensements disponibles localement (services de secours, bases de données locales, ...) en respectant les formats prévus, et avec le souci de ne pas surcharger inutilement les cartes lorsqu'il est décidé de représenter ces informations.

Enfin, dans quelques cas, lorsque cela est jugé pertinent, il est possible d'ajouter des éléments sur le **patrimoine culturel** impacté (points, lignes, surfaces). La vulnérabilité de ces objets mobiliers ou immobiliers étant très variable, on réservera cette possibilité aux objets dont la vulnérabilité est acquise.

### **III.4 Recommandations sur la sémiologie des cartes et la construction du SIG**

A définir ultérieurement, si nécessaire, dans la mesure où un gabarit SIG sera établi et validé au niveau national en septembre 2012.

## DOCUMENTATION DE RÉFÉRENCE

Pour l'étude des inondations par « débordement de cours d'eau », les guides méthodologiques nationaux de référence sont les suivants :

- Cartographie des zones inondables par approche hydrogéomorphologique (1996), révision en cours ([http://catalogue.prim.net/147\\_cartographie-des-zones-inondables-approche-hydrogeomorphologique.html](http://catalogue.prim.net/147_cartographie-des-zones-inondables-approche-hydrogeomorphologique.html))
- PPR inondation (1999) [http://catalogue.prim.net/143\\_plans-de-prevention-des-risques-naturels-ppr-risques-d-inondation-guide-methodologique.html](http://catalogue.prim.net/143_plans-de-prevention-des-risques-naturels-ppr-risques-d-inondation-guide-methodologique.html)
- PPR inondation - Note complémentaire sur le ruissellement pluvial péri-urbain (2003) [http://catalogue.prim.net/121\\_plan-de-prevention-des-risques-naturels-risques-d-inondation-ruissellement-peri-urbain.html](http://catalogue.prim.net/121_plan-de-prevention-des-risques-naturels-risques-d-inondation-ruissellement-peri-urbain.html)
- Estimation de la crue centennale pour les PPR inondation (2007) <http://www.quae.com/fr/r1300-estimation-de-la-crue-centennale.html>
- Pilotage des études hydrauliques (2007) <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/guide-methodologique-pour-le-a521.html>
- PPR littoraux (1997), révision en cours [http://catalogue.prim.net/144\\_plans-de-prevention-des-risques-littoraux-ppr-guide-methodologique.html](http://catalogue.prim.net/144_plans-de-prevention-des-risques-littoraux-ppr-guide-methodologique.html)
- Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages, CFBR, révision en cours (une version provisoire de l'extrait de la [partie sur l'hydrologie des crues extrêmes](#) est diffusable en 2012) <https://travail-collaboratif.developpement-durable.gouv.fr/share/page/site/MOeDirectiveInondationCTMed/document-details?nodeRef=workspace://SpacesStore/9611d2a7-0015-4ee6-a625-85e8ae9b9af5>
- Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes, révision en cours
- PPR crues torrentielles, en projet
- Premiers éléments méthodologiques pour l'élaboration des PPRL (DGPR-CETMEF 2012)
- Urbanisme de prévention des risques naturels : méthode intégrée pour l'étude et la cartographie des zones inondables, à paraître aux éditions du ministère
- circulaire du 14 octobre 2003 sur les atlas de zones inondables (annexe)

Il existe également des documents méthodologiques ou doctrines (inter) régionaux adaptés aux spécificités géographiques des inondations, à titre d'exemples :

### Midi-Pyrénées :

- De la cartographie informative à la cartographie des aléas (2000) [http://www.midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/de\\_la\\_Carto\\_informative\\_a\\_la\\_Carto\\_des\\_aleas\\_cle51fba9.pdf](http://www.midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/de_la_Carto_informative_a_la_Carto_des_aleas_cle51fba9.pdf)

### PACA :

- Comprendre les méthodes d'élaboration des PRR inondation en PACA (2010) [http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dreal-ppri-bassedef-liens\\_cle29f72f.pdf](http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dreal-ppri-bassedef-liens_cle29f72f.pdf)
- L'approche hydrogéomorphologique en milieux méditerranéens : une méthode de déterminations des zones inondables (2007) [http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/L\\_approche\\_hydrogeomorphologique\\_cle71a4d9.pdf](http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/L_approche_hydrogeomorphologique_cle71a4d9.pdf)

### Rhône :

- Les PPR inondation du fleuve Rhône et de ses affluents à crue lente (2006) <http://www.planrhone.fr/front/index.php?lvlid=338&dsgtypid=252&pos=0>
- Languedoc-Roussillon : Guide d'élaboration des PPR inondation en Languedoc-Roussillon (2003) [http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide\\_Regional\\_PPR\\_cle58748c-1.pdf](http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Regional_PPR_cle58748c-1.pdf)

pour d'autres thèmes

- PPR crues torrentielles, en projet
- Premiers éléments méthodologiques pour l'élaboration des PPRL (DGPR-CETMEF 2012)