



Cartographie du risque d'inondation : réévaluation de la géomatique par rapport à l'hydraulique

Développement de processus automatiques
de cartographie à l'occasion de la mise en œuvre
de la directive Inondation

AMAURY VALORGE, GÉOMATICIEN, **PASCAL BILLY**, HYDRAULICIEN,
JULIEN LANGUMIER, CHERCHEUR ET PRATICIEN DE LA POLITIQUE DE PRÉVENTION DES RISQUES D'INONDATION

DREAL R.-A., SERVICE PRÉVENTION DES RISQUES, MISSION RHÔNE

La Directive 2007/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondations dite « directive Inondation », a pour objectif la mise en place d'un cadre pour atténuer les conséquences de ces phénomènes à la fois sur l'environnement, le patrimoine culturel, économique et surtout sur la santé humaine. Pour ce faire, la directive prévoit une étape de rapportage, entièrement dédiée à la cartographie du risque d'inondation. Ce travail constitue un élément de diagnostic qui justifie le ciblage de l'action publique sur certains secteurs prioritaires et, en même temps, délivre déjà des informations très fines sur les enjeux exposés, permettant de réfléchir aux réponses opérationnelles à mettre en œuvre. La cartographie du risque inondation doit donc permettre d'articuler l'évaluation et la gestion de ce risque.

Dans le contexte français, la directive Inondation a été transposée dans la loi portant engagement

national pour l'environnement du 12 juillet 2010. La première étape d'évaluation du risque a permis de sélectionner les territoires à risques importants (TRI) en 2011 et 2012. Le temps dédié au travail de cartographie s'est trouvé réduit à la portion congrue, avant le rapportage attendu pour fin 2013. Au cours de l'année 2012, les éléments de cadrage méthodologique ont été définis au niveau national sur la base d'expériences de quelques services déconcentrés, mais surtout de l'expertise du réseau scientifique et technique du Ministère. Une année complète pour produire la cartographie du risque inondation attendue sur l'ensemble des 120 TRI français apparaît comme une gageure si l'on ne considère pas que de nombreuses données et pratiques sont déjà constituées et mobilisables. L'histoire de la cartographie des inondations ne commence pas en effet avec la directive européenne.

Sans la rigueur de l'historien, rappelons rapidement la genèse

de la cartographie des inondations dans l'administration. On commencera par les atlas des zones inondables, d'abord dressés par l'administration des Ponts-et-Chaussées après chaque grande crue. En particulier, la crue de 1856 sur le Rhône ou la Loire, ou la crue de 1910 sur la Seine, font l'objet de relevés précis et de tracés méticuleux sur les cartes de l'époque. Cette connaissance, de nature empirique, servira de base à des documents réglementaires comme les *plans des surfaces submersibles* ou le *plan des zones inondables*, dont les objectifs visent à assurer le libre écoulement des eaux et la préservation des champs d'expansion des crues. Parallèlement au développement de l'informatique dans les années 1970-1980 apparaissent les modèles hydrauliques, dont les algorithmes permettent de traduire des débits en lignes d'eau sur la base des équations fondamentales de l'hydraulique, mais surtout d'éléments de calage sur des crues observées. Parallèlement à ces modèles

calculatoires, les approches hydrogéomorphologiques déterminent les enveloppes inondables à partir de l'analyse de la configuration du lit du fleuve et de ses évolutions historiques. Les cartes des zones inondables, pour l'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation, à l'échelle de la commune voire de sous-bassins versants, sont déterminées, dans les années 1990, sur la base de l'une ou l'autre méthode. Enfin, la nouvelle génération de cartographie de la directive Inondation, sur des étendues plus vastes, a coïncidé avec le développement technologique, à grande échelle spatiale, de bases de données topographiques très précises et notamment de modèles numériques de terrain grâce à des levés LiDAR (points relevés tous les mètres ou deux mètres avec 20 cm de précision en altimétrie).

Cette dernière révolution technologique, ou du moins sa traduction dans les données opérationnelles disponibles en matière de topographie, est le point de départ de cet article. Notre hypothèse est que le nouveau format de la donnée topographique questionne les pratiques de travail de cartographie ; en outre, les traitements des données géographiques plus complexes ont conduit à un repositionnement de la géomatique en tant que champ d'expertise, tout aussi déterminant que l'hydraulique qui était, jusqu'à présent, largement hégémonique.

Cette réévaluation de la géomatique par rapport à l'hydraulique résulte également de l'ampleur du travail cartographique attendu par la directive Inondation, à savoir la réalisation pour chaque TRI d'un jeu de cartes complets et complexes :

- La carte des surfaces inondables avec représentation des hauteurs d'eau pour trois scénarios de crue : fréquent, moyen et extrême ;

- La carte de synthèse des surfaces inondables qui correspondent à l'emprise de chaque scénario ;

- La carte des risques d'inondation qui superpose les enjeux exposés (bâtiments, activités économiques, établissements polluants, sensibles ou utiles à la gestion de crise, patrimoine culturel...);

- Corollaire de ce travail d'ampleur, le rapportage européen est attendu sous la forme de flux (MMS, WFS) de données SIG et non pas de cartes classiques.

Les délais contraints et la production « industrielle » demandée ont nécessité d'automatiser les traitements pour générer les cartes, et de renoncer définitivement à des pratiques plus artisanales de rédaction reposant principalement sur du dessin réalisé sous des interfaces SIG type *Mapinfo*, peu adapté à traiter des Modèles Numériques (MN) à très haute résolution.

Au-delà de la directive Inondation, de nouvelles missions, comme celles du référent départemental inondation, qui vise à faire le lien entre les niveaux de vigilance de la prévision de crues et les conséquences des débordements sur le terrain, suppose également une production cartographique importante, du fait de la détermination des zones inondables pour des scénarios de crues progressifs.

Enfin, la directive Inondation demande la réalisation de cartes de risque et non plus seulement de cartes d'aléa hydraulique. La représentation des enjeux exposés renvoie à une connaissance des bases de données *ad hoc* et à des

manipulations des données SIG en les croisant avec les données hydrauliques. La géomatique prend à nouveau toute son importance sur ce dernier point.

Basé sur le retour d'expérience de la production cartographique en régie par les services de l'État sur le fleuve Rhône, et un suivi du travail sur l'ensemble du bassin, le présent article défend l'hypothèse d'une réévaluation de l'expertise géomatique par rapport au champ de l'hydraulique, en raison de trois révolutions techniques qui s'avèrent convergentes dans cette dynamique :

- La nouvelle nature de la donnée topographique ;

- Les traitements automatiques nécessaires à une production cartographique industrielle ;

- L'importance des cartes de risques et des bases de données relatives aux enjeux.

Sur chacun de ces trois points, l'article présente les traitements, outils et routines automatisés développés. Il s'agit d'apporter des réponses opérationnelles à des difficultés souvent rencontrées dans les rendus des études hydrauliques, qui répondent à l'objectif de représentation de zones inondables, mais dont les données SIG livrées restent la plupart du temps difficilement exploitables du fait d'une topologie défectueuse, du poids rédhibitoire des données, de l'absence de travail de post-traitement et de structuration de la donnée après les *runs* des modèles hydrauliques.

En préalable, le terrain d'étude que constitue la cartographie des débordements du Rhône sera présenté au regard des données utilisées, des méthodes et des pratiques professionnelles.

Préalable : les inondations du Rhône, une expertise et des outils développés en régie

Sur le fleuve Rhône, six Territoires à Risque d'Inondation (Lyon, Vienne, Valence, Montélimar, Avignon et le Delta du Rhône) ont été définis et doivent faire l'objet d'une cartographie au 1:25 000 (Fig. N°1). Sur un linéaire total de 280 km, 752 cartes ont été produites au format A3.

La cartographie de zones inondables sur le Rhône a la particularité d'avoir été produite entièrement en régie par les services de l'État, compte-tenu des données et des outils disponibles : base de Données Topographique Rhône mise à disposition par l'IGN, modèle hydraulique Rhône de la Compagnie Nationale du Rhône en utilisation partagée avec l'État, données hydrologiques sur le Rhône. Cependant, les compétences hydrauliques ne pouvaient pas être les seules mobilisées dans ce projet, les rendus cartographiques comprenant, outre les zones inondables proprement dites, des croisements avec les enjeux et des analyses thématiques, ainsi qu'une sémiologie à caler rigoureusement. La DREAL Rhône-Alpes s'est donc assurée le concours d'un géomaticien confirmé, de manière à développer une méthodologie répondant à la fois aux critères de production des données hydrauliques et des données géographiques et statistiques.

La réflexion a permis, en premier lieu, d'organiser le traitement de données hydrauliques spécifiques, élaborées pour représenter le fonctionnement particulier de certaines plaines inondables du

Rhône. La méthode générale consiste à projeter à l'horizontale l'élévation du fleuve (la ligne d'eau en lit mineur qui est déterminée par un modèle hydraulique) dans la vallée (lit majeur). Cette méthode simple, mais robuste, est satisfaisante dans les secteurs où le lit majeur est relativement étroit et encaissé. Elle ne permet pas de reproduire les inondations connues dans les secteurs où le lit majeur est très large, ou quand le lit du fleuve est perché par rapport à la plaine (configuration dite de « lit en toit »). La méthode est alors affinée, comme le montre à titre d'illustration les cartes suivantes (figure 2) qui schématisent la nature de la donnée hydraulique : les profils en travers sont adaptés pour prendre en compte la configuration spécifique d'un lit majeur très large, avec des abaisssements de niveaux d'eau correspondant aux pertes de charge transversales au passage des éléments topographiques.

À partir de ces données hydrauliques, l'objectif est de pouvoir générer les couches des hauteurs d'eau, les enveloppes, mais aussi les zones soustraites à l'inondation (secteurs potentiellement inondés en cas de rupture des ouvrages de protection). Même si le principe du traitement est très simple, consistant à faire la différence entre le niveau d'eau des profils et le relief issu d'un MNT, de nombreuses difficultés doivent être résolues (figure 3).

Répondre à une production industrielle par des routines automatisées

Pour répondre aux enjeux d'une production importante et d'itérations nombreuses,

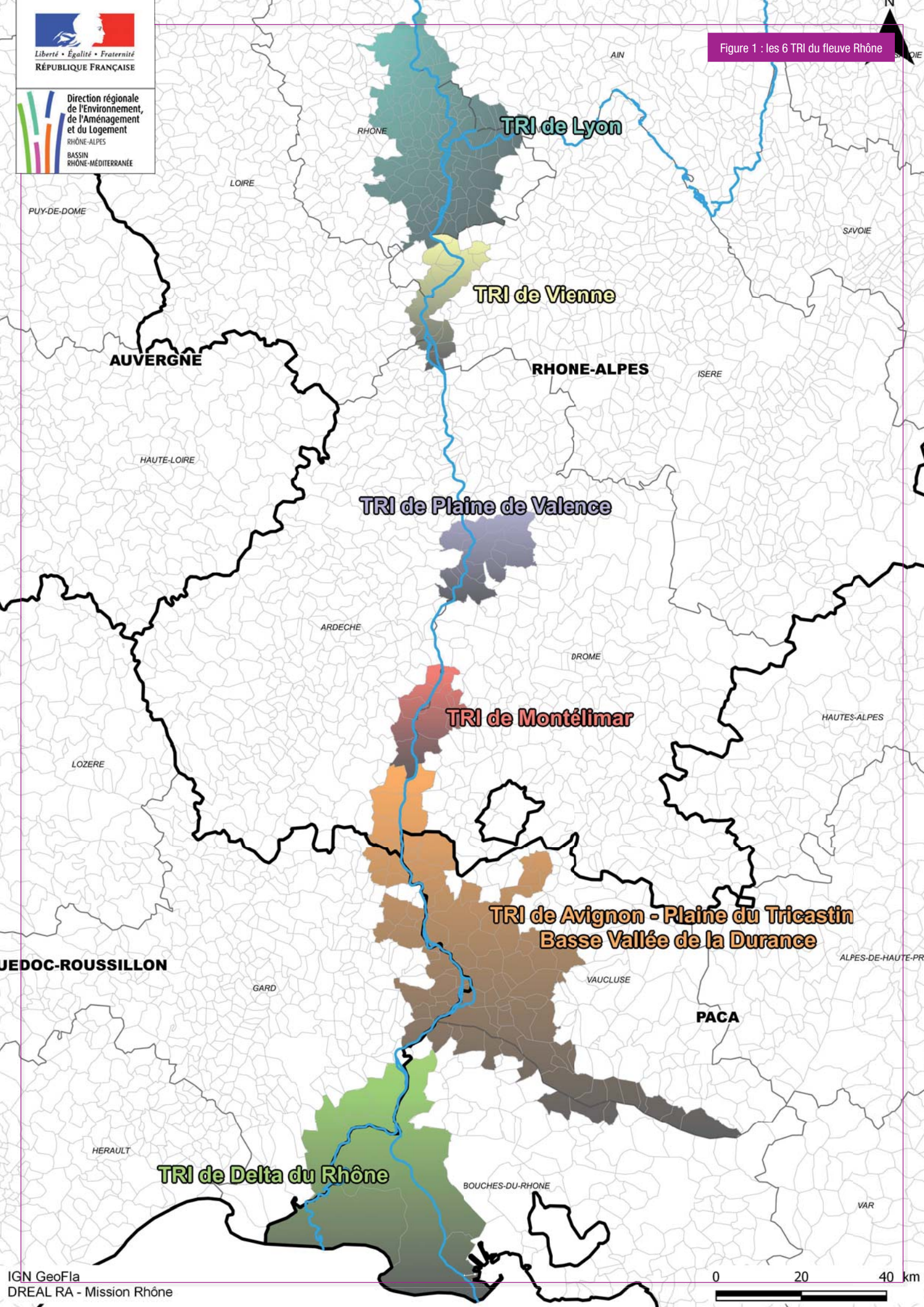
un module *GRASS*, *CartAlln* pour *CARTographie de l'ALéa Inondation*, a été développé. *GRASS* (version 4.2.3), un outil SIG Libre et *Open Source*, est très performant dans sa capacité à traiter de la donnée *raster*. Il propose également un environnement permettant la production de données vecteur topologiquement correctes, assurant leur qualité et leur réutilisation pour d'autres analyses. Enfin, il offre un cadre relativement simple pour le développement de *scripts* sous différents langages de programmation, en l'occurrence *Python*, et permet ainsi d'automatiser un ensemble de processus.

Peu à peu, le module *CartAlln* est devenu un outil générique. Initialement développé dans le cadre de la directive Inondation et structuré pour générer des données au format *Covadis*, il a été réadapté afin d'être utilisable sur n'importe quel cours d'eau, sous réserve d'avoir les données de base, c'est-à-dire, au minimum :

- Un Modèle Numérique de Surfaces en Eau (MNSE, *raster* dont chaque pixel a la valeur de l'altitude du plan d'eau) ou un Modèle Numérique d'Aléa (MNA, *raster* renseigné directement avec les hauteurs d'eau) ;
- Un Modèle Numérique de Terrain (MNT, *raster* des données altimétriques).

Afin de décrire simplement la méthodologie mise au point et le fonctionnement du module, le logigramme (figure 4) présente l'ensemble du processus permettant l'élaboration d'une donnée d'aléa clefs en main. Cet outil utilise un grand nombre de fonctions de *GRASS* qui ont été organisées de manière à permettre la création d'une donnée finalisée.

Figure 1 : les 6 TRI du fleuve Rhône



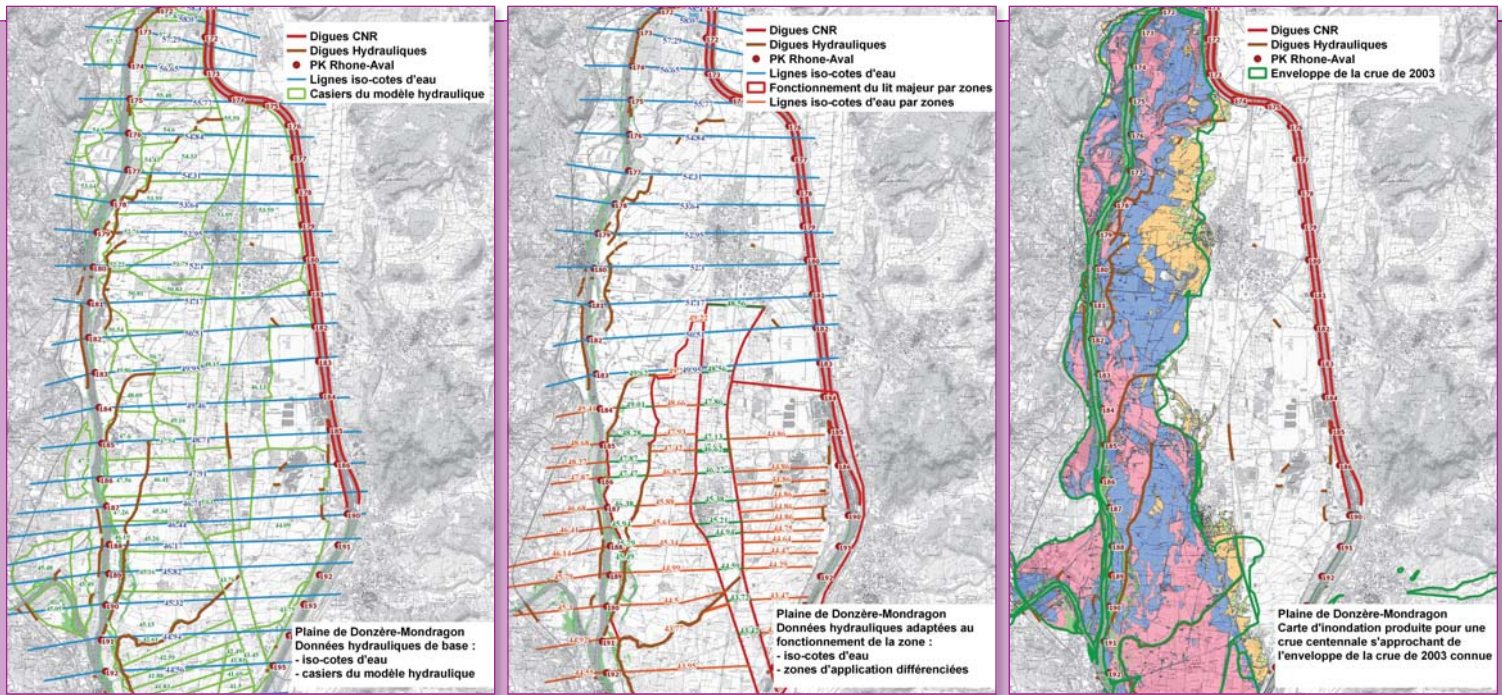


Figure 2 : Un cas spécifique : la plaine de Donzère Mondragon.

L'idée générale de ce processus se place dans le contexte de nouvelles exigences, notamment en terme de simplification de données par rapport au poids important des données MNT produites actuellement. L'objectif est d'utiliser une donnée topographique le plus aisément possible sans dégrader, au préalable, sa précision et s'inscrit donc dans une démarche pyramidale inversée.

Outre l'automatisation, une des spécificités de *CartAlln* est sa capacité à gérer plusieurs sources en entrée, qui vont permettre d'affiner très tôt la donnée hydraulique. Ainsi, il est possible de prendre en compte, outre les données hydrauliques et topographiques proprement dites :

- ▶ Les zones toujours en eau (le lit mineur) ;
- ▶ Les zones définies comme non inondables (peut servir de couche de nettoyage pour les zones non connectées à l'inondation à condition d'en avoir connaissance) ;
- ▶ Les zones soustraites à l'inondation (zones potentiellement inondables en cas de rupture des ouvrages) ;

- ▶ Le périmètre d'étude pour ne traiter qu'un secteur donné. Par défaut, le périmètre correspond à l'emprise du MNSE ;
- ▶ Une couche vecteur aléa complémentaire qui sera recollée dans la phase finale du traitement.

Le cœur de *CartAlln* se compose d'une boucle principale qui s'articule sur la donnée MNT pour la soustraire au MNSE. Elle s'enchaîne tant que toutes les dalles MNT n'ont pas été traitées. En amont de cette boucle, la première phase consiste à traiter le MNSE. Cette couche est créée à partir des données hydrauliques, qui livrent un MNSE brut duquel on déduit un MNSE net après quelques opérations de nettoyage, le cas échéant ; ce MNSE net pourra être exporté et/ou injecté dans la boucle pour le calcul du MNA.

Une fois la soustraction effectuée pour calculer un MNA, une vérification des valeurs de ce dernier est effectuée afin de contrôler si la dalle obtenue possède ou non des valeurs. Si cette dernière se compose uniquement de valeurs *NULL*, sous-entendant l'absence de l'aléa, elle sera supprimée. La boucle enchaîne ensuite sur la dalle MNT suivante, si présente.

Si le contrôle des valeurs est positif (présence de l'aléa), le traitement passe au reclassement jusqu'à la vectorisation de la dalle MNA. Le reclassement consiste à regrouper les valeurs des pixels du MNA (issus de la soustraction) en un certain nombre de classes de hauteur d'eau que l'utilisateur aura préalablement définies. Par exemple, en spécifiant une classe de hauteur d'eau de 0 à 0,5 m, on affectera une valeur unique à tous les *pixels* du MNA ayant une valeur comprise entre 0 et 0,5. *CartAlln* est capable d'intégrer la valeur des *pixels* (valeur qui sera unique) du *raster* du lit mineur sur le MNA. Cet ajout intervient juste avant la vectorisation, et surtout après la phase de simplification *raster*, afin d'éviter que cette dernière élargisse l'emprise du cours d'eau. Ensuite, la dalle MNA reclassée et simplifiée est vectorisée.

Cette simplification *raster*, après le reclassement du MNA, répond à plusieurs objectifs. Elle est une première étape dans le processus de simplification de la donnée hydraulique. Elle va réorganiser les pixels afin d'en réduire le mitage en créant des ensembles homogènes, visuellement plus pertinents et plus en accord avec l'incertitude des données.