

*De la
Cartographie
Informative...*

*...à la
Cartographie
des Aléas*

UNE DEMARCHE
TECHNIQUE EN
MIDI-PYRENEES

SEPTEMBRE 2000
VERSION 2





Sommaire



5 **Avant-propos**

6 **Avertissement**

7 **I ère Partie :**
Méthodologie pour une
cartographie informative
des zones inondables en
Midi-Pyrénées

8 ■ Introduction

9 ■ L'appréciation du risque
d'inondation est une question
d'historien

10 ■ L'appréciation du risque
d'inondation est une question
de géographe

12 ■ La cartographie informative

15 **II ème Partie :**
De la cartographie
informative à la
cartographie des aléas

*Une démarche technique
en Midi-Pyrénées*

16 ■ Introduction

18 ■ Vers une cartographie
réglementaire :
la carte hydrogéomorphologique
au 1/10 000^{ème}

20 ■ La cartographie des aléas

24 ■ Quelques exemples concrets

29 ■ Conclusion

31 **Bibliographie**



Avant propos



Dans le cadre du XI^{ème} Contrat de Plan Etat Région, la DIREN conduit une opération de cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées sur 7 000 km de cours d'eau.

Ces travaux ont mis en évidence l'intérêt d'appliquer une démarche basée sur une analyse hydrogéomorphologique pour la détermination des zones inondables.

L'expérience acquise en Midi-Pyrénées nous a amené à réaliser un document technique visant deux objectifs :

- valoriser la connaissance acquise en définissant des compléments techniques permettant de passer d'une cartographie informative à une cartographie réglementaire,

- tester l'application d'une démarche hydrogéomorphologique pour l'établissement d'une cartographie réglementaire.

Document élaboré par la Direction Régionale de l'Environnement Midi-Pyrénées avec le concours des Directions Départementales de l'Équipement du Lot, du Tarn, du Tarn et Garonne et la Société GEOSPHAIR .



Avertissement

La méthodologie présentée dans cet ouvrage est le reflet d'une expérimentation qui a été menée dans la région Midi-Pyrénées à l'initiative de la DIREN.

Elle a permis de réaliser avec succès une cartographie informatique de 7 000 km de cours d'eau inondables et de conduire, dans plusieurs cas, à une cartographie des aléas.

Cependant, nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que les principes mis en œuvre pour établir cette cartographie s'appliquent à des cours d'eau bien renseignés, sur lesquels existent dans la plupart des cas de nombreuses données historiques. Par ailleurs, les essais de cartographie des champs de vitesses demandent à être poursuivis sur d'autres sites avant d'être validés.

Cette méthodologie trouve donc sa place dans un dispositif plus global qui doit prendre en compte d'autres configurations hydrauliques.

La Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques et la Direction de l'Eau du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ainsi que la Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement préparent un cahier des charges destiné à l'élaboration ou à la révision des atlas des zones inondables qui intégrera des éléments de cette méthode et de l'approche hydrogéomorphologique développée avec le concours du CETE Méditerranée.

Nous renvoyons le lecteur à ce document qui sera disponible à la fin de l'année 2000.

I ère Partie



***METHODOLOGIE
POUR UNE
CARTOGRAPHIE
INFORMATIVE
DES ZONES
INONDABLES
EN MIDI-PYRENEES***

*(Résumé de
la méthodologie
du professeur LAMBERT)*



Introduction

L'étude réalisée par l'Université de Toulouse-le-Mirail pour la DIREN Midi-Pyrénées a eu pour objet de concevoir une méthodologie pour une cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées.

Cette cartographie devant :

- fournir une information préventive
- faire la synthèse des documents existants,
- identifier les risques de débordements locaux et les aménagements récents
- faire l'objet d'une large diffusion et d'un enregistrement informatique (S.I.G.)

Cette cartographie sans être exhaustive ne doit pas s'arrêter à la production de quelques exemples locaux et isolés mais bien **couvrir 7 000 km de cours d'eau de Midi-Pyrénées et constituer un atlas des zones inondables**. La méthode d'étude doit être facile à mettre en œuvre, adaptable et évolutive car de nombreuses zones sont concernées. Certains choix techniques, cartographiques et formels ont été faits, pour apporter une bonne lisibilité à la cartographie informative.

Cette démarche est soutenue par un constat préliminaire de base : le bassin de la Garonne a connu depuis 1875, pour la seule région Midi-Pyrénées, 5 grandes crues catastrophiques :

- juin 1875, celle de la Garonne et de ses affluents pyrénéens
- mars 1927, celle du Lot
- mars 1930, celle du Tarn-Agoût
- janvier 1952, celle de la Garonne pyrénéenne
- juillet 1977, celle des rivières gasconnes

5 grandes crues en 120 ans, dans 5 bassins différents et à 5 mois différents ; ce constat brutal appelle 3 réflexions :

- L'analyse statistique est délicate et complexe à propos de ces catastrophes homicides et ravageuses, quelle que soit la méthode de calcul probabiliste proposée. En effet on dispose souvent d'informations difficiles à évaluer sur les crues anciennes.
- Une approche scientifique du problème est nécessaire face à l'extension de l'urbanisation dans les fonds de vallées.
- Quel sera le prochain secteur frappé ? Puisqu'il n'est pas possible de faire une telle prévision, l'étude porte sur les secteurs, les vallées qui ont été touchés dans le passé et qui sont susceptibles de l'être à nouveau.

Au-delà de sa fonction informative cette cartographie est un outil de prévention et de gestion du risque inondation.

L'appréciation du risque d'inondation est une question d'historien



Le géographe doit étudier le passé des cours d'eau et de leurs crues inondantes. C'est le problème du recensement des inondations connues par :

- les traits de crues, gravés dans la pierre des ponts et des maisons, indiquant le niveau atteint,
- les hauteurs de crue répertoriées dans les services compétents à différentes stations ou sites,
- les photographies et autres documents ponctuels renseignant sur la crue, localisés, datés, archivés.

De l'exhaustivité de cette étude, dépend la qualité du travail car, partout où des inondations ont déjà eu lieu historiquement, elles peuvent se reproduire. Il est donc nécessaire de réaliser l'inventaire complet de ces aléas survenus dans un passé plus ou moins lointain et plus ou moins connu. Nous devons tout d'abord ordonner cette première analyse, ce recensement systématique des données dans les services hydrométriques.

I. Recensement des traits de crues localisés et datés :

- le long des cours d'eau (ponts, échelles hydrométriques...)
- aux abords des cours d'eau (maisons, monuments...)

II. Recensement systématique des hauteurs de crues aux stations hydrométriques répertoriées dans les services :

- relevé des hauteurs de crues historiques,
- études, rapports, notes existant dans les services.

Mais ces documents n'existent pas toujours et, pour passer à l'étude probabiliste, il faut bien davantage.

III. Recensement de toutes les crues notables de la période hydrométriquement connue en continu

Ce recensement porte sur les hauteurs et non les débits, car la hauteur est une valeur concrète, brute. De plus, les archives des Services d'Annonce des Crues (S.A.C.) offrent parfois des relevés de hauteurs de crues portant sur 100, voire 150 ans, pour certaines échelles ; alors que les débits des crues fortes sont toujours extrapolés avec, la plupart du temps, une marge d'incertitude très grande.

Par ailleurs, il est préconisé de ne pas se limiter à une seule valeur par an, ni même par mois. Toutes les valeurs dépassant un certain niveau, proche du plein-bord sont utilisées.

Cette opération est synthétisée sous la forme d'un tableau présentant la série chronologique de toutes les crues supérieures au seuil retenu.

IV. Elaboration de la série chronologique des hauteurs de crues de la série classée par rang de taille et de série ordonnée en terme de fréquence apparente

Il est nécessaire ensuite d'analyser la corrélation hauteur/fréquence sur un graphe semi-logarithmique et injecter, lorsqu'elles existent, les crues historiques (hors période de suivi hydrométrique), pour disposer ainsi d'une image intégrant les plus grandes crues.

V. Reprise des documents hydrométriques archivés

(cartes et photographies) et proposer une valeur de probabilité au retour d'un fait similaire.

Ainsi, l'étude fréquentielle des crues permet de replacer les faits d'inondation observés dans l'ensemble des probabilités et de mieux cerner ce que pouvait être une inondation décennale ou centennale. Cette étude peut permettre une certaine différenciation spatiale des risques d'inondation entre le lit de plein-bord et la limite externe des Plus Hautes Eaux Connues (P.H.E.C.).

VI. Enquête auprès des riverains.

Cette opération indispensable peut se faire à différents stades de l'étude

Les témoignages recueillis seront toujours précieux au chargé d'étude, tant pour l'explication directe du phénomène vécu que pour son report dans la cartographie (lignes de courant, niveaux atteints...)

L'appréciation du risque d'inondation est une question de géographe

Cette démarche pose deux problèmes, car il s'agit de se pencher :

- sur la nature des espaces inondés, sites de biens et d'investissements plus ou moins importants et plus ou moins vulnérables,
- sur les rapports entre espaces inondés et dynamique fluviale sachant que :
 - c'est en crue que les rivières travaillent
 - ce travail des cours d'eau est complexe mais non anarchique et s'inscrit dans la géomorphologie de la vallée
 - une grande crue modèle le lit de la rivière pour les crues à venir de fréquence supérieure donc moins rares
 - il faut prendre en compte les travaux des hommes.

Le passage de l'étude historique ponctuelle (la station) à l'étude spatiale (la plaine inondable) ne peut se faire que par l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes (les couvertures de l'IGN les plus récentes) qui contiennent l'information géomorphologique et géographique recherchée.

L'ANALYSE DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES

L'analyse de ces photographies fournit 5 types d'informations :

I. L'extension de la zone inondable en grande crue historique

L'examen de la carte géologique permet une première approche des plaines alluviales, grandes ou moyennes, puisque celles-ci correspondent aux affleurements d'alluvions postglaciaires de la rivière notés az sur les cartes au 1/80 000 et Fz sur les cartes au 1/50 000. Malheureusement, ces cartes :

- ne sont qu'au 1/50 000,
- ne sont pas toutes d'une grande qualité,
- ne couvrent pas la totalité de Midi-Pyrénées.

C'est l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes qui permet de déceler les limites externes du fond alluvial inondable, inondé historiquement, c'est-à-dire les limites de l'encaissant dans lequel s'inscrit le fond inondable de la vallée.

II. La connaissance du modèle fluvial

L'étude stéréoscopique du modèle fluvial, organisé par la dernière grande crue et organisateur de la prochaine inondation, permet une distinction satisfaisante voire bonne à très bonne entre :

- les zones inondées quasiment chaque année, au modèle fait de bosses (bancs de graviers et de sables grossiers) et de creux linéaires (chenaux de crue), et couvertes d'une ripisylve.
- les zones inondables fréquemment (entre 5 et 15 ans), faites de bourrelets étirés, séparés les uns des autres par des talwegs-chenaux de crue, sur une largeur pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Bien sûr, l'essentiel du modèle de ces zones inondables «décennales» est un produit des grandes crues historiques, qui s'étalent encore plus loin de l'axe fluvial.
- les zones d'inondation exceptionnelle couvrent le reste de l'espace jusqu'à l'encaissant. C'est avant tout un secteur de sédimentation des sables fins, des limons et des argiles ; aussi, ces zones sont-elles remarquables par leur platitude.

Enfin, les photographies aériennes, mieux que la carte topographique, révèlent les rétrécissements et élargissements de la zone inondable. Les rétrécissements jouent le rôle de goulet et génèrent, face au débit de crue à évacuer, un exhaussement de la ligne d'eau à l'amont et une accélération du flux à l'aval. A l'inverse, les élargissements jouent le rôle de vase d'expansion engendrant l'étalement et donc le laminage de la crue.

III. La localisation des aménagements hydrauliques

L'analyse stéréoscopique des missions aériennes les plus récentes permet de localiser les grands aménagements hydrauliques de manière bien meilleure que la seule lecture de la carte IGN au 1/25 000. Les aménagements jouent un rôle particulièrement important dans l'organisation-perturbation de la dynamique des crues, qu'il s'agisse de remblais agricoles, routiers ou ferroviaires, de digues, submersibles ou insubmersibles, et en bon ou mauvais état, de canaux d'aménées de moulin, vétustes ou non, de drains ou canaux de dérivation... la liste est longue et leur rôle complexe. La cartographie de ces aménagements perturbateurs et des ouvrages de décharge qui les accompagnent est indispensable pour comprendre la dynamique des crues passées et à venir.

L'appréciation du risque d'inondation est une question de géographe



IV. Rapports entre zones inondables et utilisation de l'espace

A l'instar de l'étude précédente, les photographies aériennes apportent encore une très riche information sur les rapports entre les différentes zones inondables et l'utilisation qu'en fait la société. Ces zones sont-elles :

- laissées à la ripisylve ?
- consacrées aux prairies permanentes ?
- livrées aux cultures céréalières, au risque de perdre une récolte de temps en temps ?
- conquises par des cultures délicates à fort investissement (fraisiers, vergers) ?
- le lieu d'aménagements industriels ou urbains ?

L'habitat traditionnel constitue généralement un bon indice d'extension fréquentielle des crues mais, aujourd'hui, avec la grande expansion urbaine, soit en grande vallée, soit en petite vallée anodine inconnue hydrométriquement mais où les risques sont accrus par l'urbanisation elle-même des versants bordiers les imperméabilisant dangereusement.

V. Les zones inondables des cours d'eau ignorés des archives et des services hydrométriques

Ici plus qu'ailleurs, seule l'analyse stéréoscopique des missions aériennes IGN permet de déceler et de cartographier ces fonds plats susceptibles d'être affectés par des crues inondantes. Comme ces bassins versants sont relativement peu étendus, situés à l'amont des rivières principales, le profil en long de leur ruisseau principal est plus pentu que celui des rivières, les crues inondantes y sont plus rapides et plus brèves, et d'une dynamique différente. Aussi, il ne faut pas espérer y déceler facilement des zones différentes selon les fréquences des crues. Mais, au minimum, l'analyse stéréoscopique permet de tracer les limites externes de la zone inondable s'arrêtant à l'encaissant. C'est déjà une première information.

L'OBSERVATION DU TERRAIN

Mais l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes ne décèle pas tout, elle exige d'indispensables observations de terrain, fines et raisonnées :

- antérieures à l'analyse stéréoscopique, afin de bien poser les problèmes à résoudre d'abord et éviter les fausses pistes,
- postérieures pour vérifier la justesse des analyses et lever les ambiguïtés.

C'est de manière ordonnée que l'efficacité du travail et le gain de temps sont optimisés. C'est aussi par cette méthode que l'on peut enregistrer les évolutions les plus récentes qui concernent la plaine inondable.

Mais des inconnues persisteront, des paramètres retenus évolueront (état du lit ordinaire, du lit de plein-bord, des remblais, des digues...) que seule la saisie sous forme de Système d'Information Géographique de cette cartographie et des études géographiques qui l'accompagnent permettront de gérer.

De ce plaidoyer des photographies aériennes en tant qu'outil indispensable à la compréhension de la géographie des zones inondables, nous retiendrons que l'analyse stéréoscopique de la géomorphologie du lit alluvial permet de :

- cerner la zone d'inondation banale, quasi annuelle,
- cerner la zone d'inondation de fréquence d'ordre décennal,
- cerner l'extension des crues exceptionnelles s'étalant jusqu'au pied de l'encaissant,
- localiser les principaux chenaux de crue,
- connaître l'emplacement des aménagements hydrauliques, agricoles et routiers,
- localiser les " points noirs " potentiels (confluences, rétrécissements, ouvrages...),
- enfin, comprendre l'organisation de l'espace inondable par la société.

Ce travail fait, il est possible de passer à la cartographie informative des zones inondables.



La cartographie informative

Toute cartographie informative systématique doit résoudre 3 problèmes :

I. L'ECHELLE

Le 1/25 000 permet la transcription des repères topographiques et des signes cartographiques retenus. C'est le fruit de l'expérience acquise.

II. LE FOND DE CARTE

Il doit reprendre la totalité du fond de carte IGN car sa richesse s'impose d'elle-même : les repères altimétriques, routiers, hydrographiques, urbains, végétaux y sont correctement représentés et facilement lisibles. Notons toutefois que la qualité des cartes est très inégale et que certaines comportent des erreurs ou des oublis, notamment dus à un défaut de mise à jour.

III. LA LEGENDE

Les zones inondables, phénomène spatial, aréolaire, sont repérées suivant trois couleurs :

- zone inondée très fréquemment : mauve
- zone inondée fréquemment : bleu foncé
- zone d'inondation exceptionnelle : bleu clair

Les facteurs organisateurs-perturbateurs de la dynamique des crues sont d'abord des éléments linéaires, donc représentés par des signes linéaires :

- l'encaissant contenant la vallée inondable est représenté par un trait large marron
- les chenaux de crue sont transcrits par des flèches noires ; leur position et leur forme matérialisent l'écoulement
- les flux d'inondations locales (affluents secondaires non cartographiables) sont représentés par des flèches larges jaunes
- les digues et remblais, routiers et ferroviaires, sont représentés par des traits de couleur jaune.

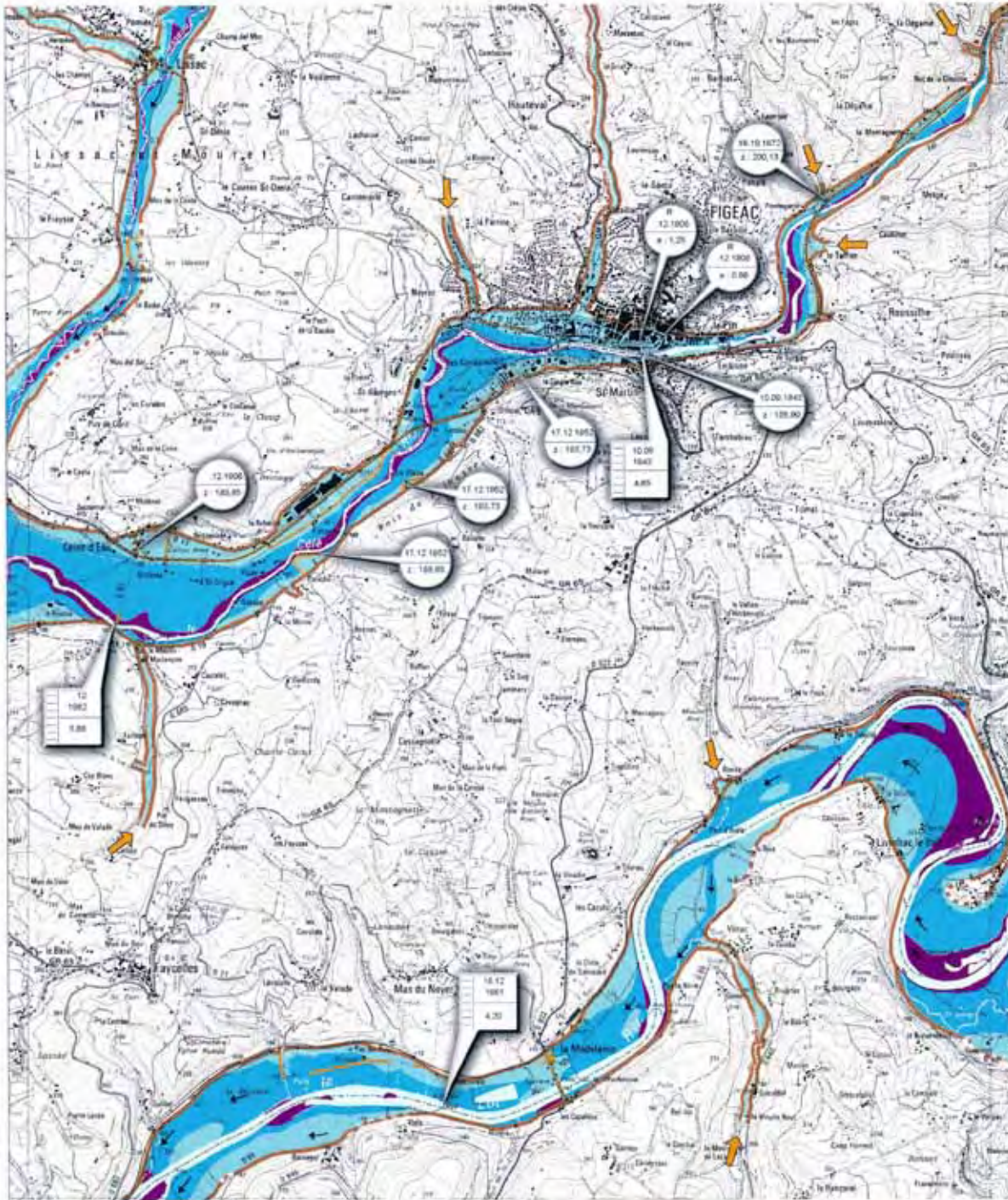
Les points noirs sont des points particuliers de la zone inondable pour lesquels on dispose de quelques informations significatives. Chaque point noir est localisé et renseigné par une pastille fléchée indiquant :

- dans le demi-cercle supérieur, la date de la crue concernée,
- dans le demi-cercle inférieur, l'altitude NGF atteinte par l'eau ou l'épaisseur de la lame d'eau pour cette même crue.

La pastille est cernée de rouge s'il s'agit d'une PHEC.

En complément de cette légende générale, chaque carte comporte un cartouche informatif indiquant :

- la ou les stations hydrométriques de référence,
- les références des documents cartographiques déjà établis renseignant sur les zones inondées (en précisant naturellement la date de la crue),
- les références des photographies existantes d'inondations,
- les références de la mission aérienne IGN ayant servi à l'établissement de la carte.



● Zones inondables ●			
lit ordinaire	←	chenal de crue	hauteur à l'échelle
cruve très fréquente (d'ordre annuelle)		flux d'inondation locale et limite de l'étude	information ponctuelle de cruve
cruve fréquente (retour de 5 à 15 ans)		digue, remblai, levée	PHEC : Plus Hautes Eaux Connues
cruve exceptionnelle			
encaissant (lisière extrême des cruves historiques)			
de pente abrupte			
de pente faible			

h = repère de cruve
 ± altitude
 x = épaisseur d'eau



14

2 ème Partie

15

DE LA

CARTOGRAPHIE

INFORMATIVE

A LA

CARTOGRAPHIE

DES ALEAS

*(Une démarche
technique en
Midi-Pyrénées)*



De la cartographie informative à la cartographie des aléas

À partir de l'année 1999, les atlas de la cartographie informative de la région Midi-Pyrénées vont être diffusés aux services de l'État, et en particulier aux DDE, DDAF et aux services RTM de la Région.

La DIREN souhaite, à partir de la cartographie informative, valoriser la méthode hydrogéomorphologique utilisée. En établissant un document basé sur un retour d'expérience hydrogéomorphologique, la DIREN souhaite fournir des éléments techniques permettant de produire une cartographie réglementaire applicable aux Plans de Prévention des Risques.

Élaborer une cartographie réglementaire, c'est d'abord réaliser une étude du risque d'inondation intégrant les critères exigés pour tenir compte de la " nature et de l'intensité du risque encouru " (loi 95-101 du 2/02/1995). Ces critères sont les suivants :

- définition du type d'inondation (inondation de plaine ou torrentielle),
- définition des différentes fréquences d'inondation (très fréquente, fréquente, exceptionnelle),
- délimitation des zones inondables selon leur fréquence,
- détermination des aléas (hauteurs de submersion et vitesse d'écoulement le cas échéant).

Cela est possible en s'appuyant en premier lieu sur la cartographie informative qui intègre une étude hydrologique et cartographique du risque d'inondation en terme de fréquence. C'est donc la détermination des critères hauteur et vitesse qui appelle une recherche nouvelle.

Mais le passage de la cartographie informative à la cartographie des aléas impose un nécessaire changement d'échelle.

Il faut offrir aux responsables une carte des aléas, claire et précise, qui puisse servir à la gestion de l'aménagement et à l'urbanisme. Le fond IGN au 1/25 000 reste le meilleur fond cartographique et topographique couvrant l'ensemble du territoire national et apportant un maximum de renseignements géographiques. Ce fond, agrandi au 1/10 000 (voire au 1/5 000) pour les secteurs fortement urbanisés, peut être utilisé pour la cartographie des aléas d'inondation.

Notons que ce fond est largement employé par les bureaux d'études et les administrations, dans toutes sortes de travaux d'aménagement du territoire. Le fond cadastral ne peut être utilisé pour cette cartographie car il ne contient aucune information topographique autre que la localisation du bâti et l'espace y est déformé. Mais, une fois les cartes réalisées sur fond IGN, il est possible de reporter les informations sur le fond cadastral pour établir le zonage précis de l'aléa.

Mais passer du 1/25 000 au 1/10 000, c'est grossir l'espace 6,25 fois et c'est toute la perception de cet espace qui est modifiée. Agrandir une carte par effet de zoom est toujours dangereux et on atteint vite le seuil de déformation-désinformation. Le seuil de schématisation acceptable au 1/25 000 ne l'est plus au 1/10 000.

Ainsi, le changement d'échelle par agrandissement implique-t-il de nouveaux moyens d'investigations permettant de compléter, d'améliorer les informations rassemblées pour la cartographie informative au 1/25 000. Trois ont été identifiés :

- des missions de photographies aériennes à une échelle voisine du 1/10 000,
- une investigation de terrain plus poussée pour mieux cerner la dynamique des grandes crues,
- des relevés topographiques permettant de caler la ligne d'eau de la crue de référence.

Deux étapes sont donc nécessaires pour atteindre cet objectif :

I. Le passage du 1/25000 au 1/10000, en ayant soin d'enrichir l'information (élaboration de la carte hydrogéomorphologique),

II. La cartographie de l'aléa en terme de hauteur et le cas échéant de vitesse (élaboration de la carte des hauteurs et de la carte des vitesses).



Vers une cartographie réglementaire : La carte hydrogéomorphologique

Cette étape s'inscrit dans le déroulement global de la démarche et réalise la transition concrète entre la cartographie informative et la procédure réglementaire. La carte hydrogéomorphologique présente l'aléa inondation dans sa dynamique propre, selon sa fréquence, se développant dans une plaine inondable où sont localisés les facteurs organisateurs-perturbateurs de cette dynamique. Cette carte au 1/10 000 est une information primordiale qui vient à l'amont des cartes hauteurs et vitesses. Elle a pour objectif de présenter et d'expliquer les phénomènes d'inondation aux aménageurs et aux élus qui vont appliquer les P.P.R. sur leur territoire.

Ce document peut regrouper les informations suivantes :

- Délimitation précise des zones inondables en terme de fréquence. La méthode hydrogéomorphologique permet de connaître et de délimiter le modelé fluvial, organisé par les dernières grandes crues et organisateur de la prochaine inondation : elle a permis une distinction satisfaisante, voire bonne à très bonne, entre :
 - les zones inondées quasiment chaque année,
 - les zones inondables fréquemment (entre 5 et 15 ans),
 - les zones d'inondation exceptionnelle.
- Cartographie du modelé de la plaine inondable devant faire apparaître les chenaux de crue, les bancs d'épandage alluvial, les obstacles à l'écoulement linéaires et spatiaux, les ouvrages hydrauliques majeurs,
- L'état du lit ordinaire et de ses berges (bancs alluviaux, ruptures et bourrelets de berges, berges vives affouillées),
- Les limites précises de la PHEC retenue comme crue de référence qui correspond, dans la quasi-totalité des cas, aux limites de l'encaissant. Dans de rares cas (Dordogne à Puybrun, Aveyron à Bioules, Agout à Castres, Tarn à l'amont de St Sulpice), l'encaissant géomorphologique se tient en retrait des PHEC ; cela correspond souvent à des contacts basse terrasse alluviale / plaine d'inondation en pente douce que les plus fortes inondations viennent plus ou moins lécher. Dans le cadre de la cartographie réglementaire, les PHEC sont la référence sur laquelle vient se caler l'ensemble de l'étude. Il est préconisé, pour éviter les mauvaises interprétations, une cartographie stricte des limites de la crue de référence retenue comme PHEC.
- L'information hydrologique et hydrométrique recueillie (traits et laisses de crues, points noirs connus, hauteurs de crue aux stations). Devant son abondance éventuelle, cette information peut être portée sur un document cartographique séparé.

Il y a donc un double travail, puisqu'il faut d'abord préciser certaines informations contenues dans la cartographie informative. Cette précision porte sur :

- les données hydrologiques, en particulier les laisses et traits de crue qui ne font pas l'objet d'une étude exhaustive lors de la cartographie informative,
- les limites des zones inondables et de l'encaissant qui peuvent être affinées grâce aux missions aériennes au 1/10 000 et aux nouvelles missions de terrain.

Il est ensuite possible de présenter de nouveaux éléments utiles pour la cartographie réglementaire :

- l'état du lit ordinaire, et particulièrement l'état des berges,
- la représentation précise du modelé de la plaine alluviale, en localisant réellement chaque chenal de crue pouvant conditionner une ligne de courant en crue inondante,
- les lignes de courant au droit de chaque ouvrage hydraulique (pont, buse, ouvrage de décharge...).

L'établissement de cette cartographie repose sur :

- la prise en compte de la cartographie informative comme base de travail,
- l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes à une échelle voisine du 1/10 000,
- de nouvelles missions de terrain pour valider le travail géomorphologique,
- des enquêtes auprès des riverains pour recenser les traits et laisses de crues, particulièrement ceux de la crue de référence.

L'élaboration de la carte hydrogéomorphologique est avant tout un travail de terrain. Ce sont les nombreux contacts pris avec le secteur d'étude qui permettent de délimiter les PHEC, de cartographier les lignes de courant, de préciser l'influence des aménagements, bref de comprendre et de traduire toute la dynamique des crues inondantes sur un fond IGN au 1/10 000.

Vers une cartographie réglementaire : La carte hydrogéomorphologique

19

Ce document est une étape incontournable de la cartographie réglementaire, qui synthétise l'ensemble de l'information hydrologique et géographique étudiée. Cela permet d'apprécier le risque d'inondation en tant qu'évènement structurel de la plaine alluviale, avec son développement dans le temps (fréquence), dans l'espace (extension), et son interférence avec le modelé et les aménagements de la plaine, éléments bien plus parlants que la simple traduction en terme d'aléas (hauteur et vitesse).

Cette cartographie est accompagnée d'un rapport d'étude recensant toute l'information hydrologique recueillie et présentant la grande crue inondante retenue comme crue de référence (PHEC). Cette crue est souvent l'évènement le plus puissant et le plus étendu jamais recensé au cours du suivi hydrométrique, mais ce peut être aussi une grande crue historique antérieure au suivi hydrométrique, et pour laquelle on dispose d'informations utiles (nombreux traits et laisses de crue, archives hydrologiques...). **La crue de référence peut donc être définie ainsi : plus haute crue connue pour laquelle on dispose d'un maximum d'informations, permettant le tracé du zonage de l'aléa.** Les textes prévoient de prendre comme crue de référence la crue dite "centennale" quand la PHEC est inférieure à cette dernière, mais l'établissement de cette crue repose trop souvent sur un calcul statistique et hydraulique à partir de débits de crues qui sont quasiment toujours des valeurs extrapolées. Le chargé d'étude doit dire comment il a choisi cette crue de référence, quels sont les éléments concrets qui ont permis cette détermination, et quel impact elle a pu avoir dans la plaine. Il doit mentionner aussi quelles sont les grandes crues historiques qui ont pu atteindre, ou même localement dépasser, le niveau des PHEC, et pourquoi elles ne peuvent être retenues comme crue de référence.

L'étude historique et probabiliste de la cartographie informative est une base de travail précieuse pour réaliser cette détermination. Nous pouvons illustrer notre propos à l'aide d'exemples concrets :

■ La Dordogne lotoise a connu deux grandes crues au cours du XXe siècle. Il a été retenu comme PHEC la plus forte d'entre elles (à 6 m à l'échelle de Cénac), en décembre 1952, mais qui est aussi la plus renseignée en terme d'archives hydrologiques et de témoignages de riverains. Cependant, nous retenons toutes les informations concernant les autres, en particulier celles de la crue de décembre 1944 ; sans oublier les crues historiques antérieures au XXe siècle que nous avons retrouvées dans les archives et qui sont parfois supérieures à la PHEC, comme celle de mars 1783, atteignant 7.43 m à l'échelle de Cénac.

■ A Toulouse, les archives hydrométriques de la Garonne remontent à 1772. Il a été relevé 15 crues supérieures à 4 m (seuil d'inondation généralisée en rive gauche avant la construction des digues) mais aucune n'a dépassé la grande crue de juin 1875 et ses 8.32 m. Cependant, certaines archives révèlent encore 9 grandes crues antérieures à 1772, certaines étant comparables à 1875 (1712 et 1770).

■ Pour le Tarn, la crue de référence est celle de mars 1930 qui a atteint 11.50 m à Montauban. D'autres crues plus anciennes ont été relevées à Albi (depuis 1376 !), mais non calées à l'échelle actuelle, alors que certaines apparaissent supérieures à 1930 : 1376, 1609, 1766. Cette richesse historique doit aussi être intégrée, et du moins permet-elle de se rendre compte que la crue de 1930 n'est pas l'unique évènement catastrophique qu'a connu le Tarn.

■ L'Agoût a connu, depuis 1770, 8 grandes crues historiques, supérieures à 4 m à la station de Castres. Deux autres crues antérieures à 1770 ont été recensées : 1567 et 1603. En tout, deux grandes crues inondantes s'échelonnant entre 4 m et 7.60 m, hauteur atteinte par la crue de mars 1930 à Castres.

■ La grande crue du Lot de mars 1927 a atteint à Cahors 8.90 m. Comme pour la Dordogne et le Tarn, de nombreux traits et repères de cette crue, ainsi que de nombreuses archives existent témoignant que la crue de 1927 a été dépassée par 1728 (9.95 m), 1783, (10 m) et 1823 (9.20 m).

Ces exemples montrent que les crues des grands cours d'eau de Midi-Pyrénées sont connues depuis plusieurs siècles (300-500 ans pour les plus anciennes).

Les conditions géographiques des plaines alluviales (aménagements et occupations de la vallée par la société) évoluent au cours du temps, changeant ainsi les dynamiques d'inondation. Il semble que la tendance au creusement du lit ordinaire que l'on retrouve sur certains cours d'eau (Garonne, Dordogne, Tarn) n'ait pas l'impact attendu sur la diminution du risque d'inondation. Ceci tient notamment à l'augmentation des enjeux au sein de la plaine inondable, l'emprise humaine étant toujours plus pressante. La pression urbaine est, elle aussi, en forte croissance et s'ajoute ainsi aux enjeux soumis au risque d'inondation comme les villes et villages qui barrent parfois les plaines inondables.

La carte hydrogéomorphologique au 1/10 000 et son rapport d'étude sont un lien concret entre la cartographie informative et la démarche réglementaire. Attention ! Si la carte des zones inondables au 1/25 000 et l'étude probabiliste sont des sources nécessaires à cette première étape de la procédure réglementaire, un travail supplémentaire d'analyse et d'enquête doit obligatoirement être fourni (analyse stéréoscopique, missions de terrain). Il permet seul de réaliser le passage de la cartographie informative au 1/25 000 à la cartographie réglementaire au 1/10 000.



L'ÉLABORATION DE LA CARTE DES HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE DE RÉFÉRENCE

Armé de la connaissance fine de la dynamique des inondations, le chargé d'étude doit, pour traduire cartographiquement la crue de référence en terme de hauteur d'eau, disposer d'outils d'analyse précis :

- un levé topographique du secteur étudié,
- un relevé de toutes les laisses de la crue de référence et des grandes crues historiques,
- un profil en long de la ligne d'eau de la crue de référence.

L'établissement d'un levé topographique est souvent une étape handicapante de toute étude du risque d'inondation, car la lourdeur du levé grève le budget et le déroulement du projet. Peu de collectivités ont les moyens de s'offrir un levé topographique ou photogrammétrique de leur territoire ; l'approche hydrogéomorphologique apporte une solution fiable et peu onéreuse.

La carte hydrogéomorphologique établie, deux solutions s'offrent au chargé d'étude :

- quand cela suffit, recueillir l'ensemble de l'information topographique disponible dans les services, synthétisé sur un fond au 1/10 000 ou plus précis. La partie topo est ainsi prête sans travail de levé supplémentaire, il suffit d'aller chercher l'information là où elle se trouve.
- établir un levé topographique à partir de l'étude du modelé de la plaine inondable et non pas à partir d'un maillage rigide et peu parlant, aussi fin soit-il. Par sa propre connaissance du secteur, le chargé d'étude est capable d'élaborer un levé " intelligent " à partir d'un semis de points choisis en fonction du modelé fin de la plaine, dans lequel s'écoulent les crues inondantes à venir. Cette approche présente un double intérêt :
 - le nombre des points à lever est plus pertinent, entraînant ainsi une économie non négligeable d'argent et de temps, qui peut être reportée sur d'autres étapes de l'étude (missions de terrain ou nivellement des traits de crues recensés)
 - le levé ainsi établi est beaucoup plus parlant ; il met en valeur les aspects particuliers de la plaine inondable (chenaux de crue, tertres, fossés...) qui sont souvent complètement négligés lors de levés traditionnels.

Le relevé des laisses de crues est établi à partir des archives hydrologiques et hydrométriques recensées et des missions de terrain. Les nombreuses discussions avec les chargés d'étude administratifs et les riverains permettent de découvrir des traits de crues non référencés, des dossiers photographiques de laisses de crues non archivés ou d'autres renseignements de première main tout à fait intéressants. Bien sûr, le chargé d'étude recherche en priorité les informations concernant la crue de référence mais il ne doit pas délaissier les renseignements concernant les autres grandes crues, inondantes, et particulièrement les plus récentes. Grâce à ces données, les différentes dynamiques de crues peuvent être cernées, ainsi que l'impact des aménagements récents sur les inondations.

Comme nous l'avons vu dans la première partie, nous intégrons ces enquêtes de terrain à l'élaboration de la carte hydrogéomorphologique. Il est alors possible d'établir une cartographie de ces traits de crues soit directement sur cette carte, sous forme de cartouche, soit sur un document séparé, quand l'abondance des informations recueillies l'impose. Ce document établi, il ne reste plus qu'à niveler ces traits de crues, quand cela n'a pas été déjà fait. Par commodité, on peut ajouter ce nivellement au levé topographique quand il est à faire.

En résumé : la cartographie des traits et laisses de crue accompagne la réalisation de la carte hydrogéomorphologique ; leur nivellement est réuni avec la campagne topographique exécutée par le chargé d'étude.

À partir du recensement des traits nivelés de la crue de référence et de ceux des grandes crues historiques, il faut **établir un ou plusieurs profils en long de la ligne d'eau de référence**. Dans la plupart des cas, la ligne d'eau de référence est reportée sur un profil en long du lit ordinaire. Mais, quand l'information recensée le permet, il est possible dans les grandes vallées d'établir une deuxième ligne d'eau au droit de la plaine inondable, donnant ainsi une image de l'inondation non plus au dessus du lit ordinaire mais dans la plaine inondable, secteur naturellement le plus intéressant.

Avec ces trois outils (levé topographique, carte des laisses de crues, profil en long de la ligne d'eau de la crue de référence), et en reprenant la carte hydrogéomorphologique, l'établissement de la carte des hauteurs peut se réaliser en deux étapes :

- sur le fond de carte retenu portant le levé topographique sont tracés les isocotes de la crue de référence en tenant compte des traits de crue nivelés et de la dynamique de la crue (différence entre lit ordinaire et lits d'inondation, axes des flux, impacts des sinuosités...).
- sur le même fond, on peut alors tracer les isopaques (lignes d'égale épaisseur) de la crue de référence en se calant sur le fond topographique, sur les traits de crue nivelés et sur les isocotes établies.

La détermination des tranches de hauteurs d'eau se fait en accord avec le maître d'ouvrage. Sachant que la carte hydrogéomorphologique permet de cibler précisément le travail topographique, il est préconisé deux approches, en fonction du budget engagé, des enjeux soumis à l'aléa et de la politique d'urbanisme retenue :

Une méthode simplifiée : détermination de l'isopaque 1 m (cartographie en 2 zones : < à 1 m et > à 1 m). Croisée avec la carte des champs de vitesse, cette cartographie suffit pour définir l'aléa.

L'approche hydrogéomorphologique permet une première estimation et, ainsi, élimine de nombreux secteurs qui connaissent une hauteur d'eau bien supérieure à 1 m en grande crue (zone d'inondation annuelle, chenaux de crue et bras morts...). Il en est de même pour les espaces à peine léchés par les inondations exceptionnelles où la lame d'eau ne dépasse jamais 0,5 m. Ainsi, le levé topographique concerne seulement les zones où les hauteurs d'eau sont comprises entre 0,5 et 1,5 m, diminuant fortement le nombre de points à lever. Coût et rapidité de l'étude sont privilégiés.

Si cela est nécessaire, **une méthode plus fine** peut être mise en oeuvre, mais nécessite un levé topographique couvrant l'ensemble du secteur d'étude. Les points sont toujours choisis à partir de la carte hydrogéomorphologique, en fonction de la disposition des formes fluviales : il est intéressant d'avoir un semi dense de points, sur et autour d'un grand chenal de crue recoupant un méandre, pour préciser sa forme et sa pente, utiles pour la cartographie des champs de vitesse. Une telle densité de points n'est pas nécessaire sur une vaste plaine d'inondation exceptionnelle, au modelé plat et uniforme, où hauteur et vitesse ne sont pas en constant changement. C'est un travail supplémentaire, mais qui débouche par exemple sur les tranches de hauteurs suivantes :

- 0 à 0,5 m
- 0,5 à 1 m
- 1 à 2 m
- > à 2 m

Cependant, selon les secteurs étudiés et les outils mis à la disposition du chargé d'étude, ces fourchettes peuvent être étendues à des épaisseurs différentes.



REALISATION DE LA CARTE DES CHAMPS DE VITESSE POUR LA CRUE DE REFERENCE

Différents documents préconisent la distinction des vitesses dans la zone inondable mais n'indiquent pas comment les calculer et quel type de vitesse cartographier : vitesse moyenne ou vitesse instantanée ? vitesse au fond du lit ou vitesse de surface ? Pour les interventions des pompiers dans les zones inondables, ne faut-il pas cartographier les vitesses instantanées ?

Aujourd'hui, les responsables de l'aménagement ont pleinement conscience de la difficulté de quantifier les vitesses d'écoulement de crue inondante. Il semblerait qu'un compromis, pour pallier à la fausse précision des cartes des vitesses, et donner une image des écoulements dans la plaine inondable, soit la carte des champs de vitesse au 1/10 000.

Les vitesses des filets d'inondation sont fonction :

- du rayon hydraulique,
- de la pente de la vallée,
- de la rugosité du contenant.

Si le rayon hydraulique et la pente sont quantifiables, la rugosité pose bien des difficultés, d'autant plus que l'écoulement ne se fait pas dans un chenal calibré unique, mais plus librement sur une surface accidentée. Celle-ci est affectée de bosses et, surtout, de creux linéaires, sinueux, orientés parallèlement à la rivière et organisés en réseau, avec un réseau d'inondation en montée de crue et un réseau d'évacuation en décrue. Une crue inondante est un complexe de courants forts qui sillonnent cette surface. Cette plaine inondable exerce des frottements sur le liquide, freinant tel flux, accélérant tel autre, leur donnant telle direction et les faisant tantôt converger, tantôt diverger. Devant une telle complexité, les méthodes de quantification des vitesses de crues inondantes ne donnent que des résultats approximatifs, avec une barre d'erreur atteignant ou dépassant souvent 50%, résultats qui ne sont que des ordres de grandeur de vitesses moyennes !

L'analyse hydrogéomorphologique permet de qualifier les champs de vitesse, en combinant les données géomorphologiques et hydrologiques recueillies avec une analyse granulométrique des sédiments dans les lits d'inondation.

Les données géomorphologiques

Dans une plaine alluviale fonctionnelle, les crues successives laissent des traces (d'érosion, de dépôt) dans la géomorphologie du lit ordinaire et dans celle de la plaine inondée. Ces traces diffèrent selon la puissance-fréquence des crues.

L'analyse fine des photographies aériennes au 1/10 000 permet :

- de recenser les phénomènes d'érosion ou de sédimentation,
- de cartographier les chenaux d'écoulements préférentiels.

Ces données sont enregistrées sur la carte hydrogéomorphologique.

Les analyses granulométriques

Théoriquement, c'est la nature et le diamètre des sédiments qui contrôlent les vitesses-seuils permettant leur arrachement, leur transport ou leur dépôt. Malheureusement, la littérature hydrologique propose des abaques de corrélations vitesse-granulométrie très différents selon les auteurs.

On peut penser qu'une analyse comparée d'échantillons prélevés aux différents points du lit d'inondation devrait permettre une approche qualitative du champ des vitesses. Il manque dans ce domaine une véritable série de mesures faites in situ et non plus en laboratoire, qui permettrait de donner des valeurs concrètes de vitesses en fonction des sédiments transportés.

L'analyse granulométrique comparée d'échantillons prélevés en différents points du lit d'inondation, croisée avec l'information géomorphologique déjà recueillie (analyse fine du modelé de la plaine alluviale), est une première approche permettant de dire que :

- Dans les zones inondées quasiment chaque année, au modelé fait de bosses allongées (bancs de graviers et de sables grossiers) et de creux linéaires (chenaux de crue), les vitesses atteignent vite des valeurs supérieures à 1 m/s, en particulier dans les chenaux de crue, et sont capables de déplacer des gros graviers au fond du chenal.

- Dans les zones d'inondation fréquente (entre 5 et 15 ans), et surtout dans les longs talwegs-chenaux de crue séparant des bourrelets étirés (modèle en tôle ondulée), les vitesses se situent entre 0,5 et 1,5 m/s et sont capables de déplacer des graviers et des sables grossiers.
- Les zones d'inondation exceptionnelle, remarquables par leur platitude, sont avant tout des secteurs de sédimentation de sables fins, de limons et d'argiles. Dans les rares talwegs formant chenaux de crue, les courants sont toujours inférieurs à 0,5 m/s et déplacent seulement les sables fins.

Cet avis d'expert peut être confronté à des éléments ponctuels, recueillis tout au long de l'étude, qui peuvent servir de test à l'analyse. C'est le cas de prélèvements granulométriques faits en divers points de la plaine alluviale. C'est aussi le cas de simples photographies de crue, sur lesquelles il est possible d'estimer la vitesse de surface en évaluant la hauteur d'un remous au droit d'un obstacle, par la formule $V = \sqrt{2gh}$. Cela donne une valeur approchée de la vitesse instantanée de surface, valeur la plus concrète et la plus utile. D'autres vérifications concrètes sont possibles et permettent de se faire une idée des vitesses mises en jeu lors de grandes crues inondantes.

Ainsi, la réalisation d'une carte des champs de vitesses est possible, en distinguant pour la crue de référence 3, voire 4 secteurs différents :

- Les secteurs d'eaux mortes ou calmes, où les vitesses sont nulles ou très faibles (d'ordre 0 à 0,2 m/s),
- Les secteurs de vitesses faibles, inférieures à 0,5 m/s,
- Les secteurs de vitesses moyennes, d'ordre 0,5 à 1 m/s,
- Eventuellement les secteurs de vitesses fortes, supérieures à 1 m/s, toujours au voisinage du lit ordinaire et au droit des grands chenaux de crue.

Un figuré linéaire (flèches) peut venir enrichir la carte en indiquant l'emplacement et le développement des chenaux de crues conditionnant les lignes de courant.

C'est une façon synthétique, qualitative d'apprécier l'aléa, en tenant compte :

- du modelé de la plaine inondable,
- de la hauteur de la ligne d'eau de la PHEC qui permet de déterminer des zones de mise en vitesse par simple inertie ou par mise en charge,
- des aménagements humains, faisant obstacle à l'écoulement et créant des dynamiques particulières en cas d'inondation.

Pour ce faire, nous nous servons :

- de la carte hydrogéomorphologique dressée,
- de la carte des isopaques établie,
- du levé topographique,
- des photographies aériennes analysées,
- des archives étudiées,
- du terrain parcouru.

Nous insistons sur le rôle important que joue la carte hydrogéomorphologique dans l'élaboration de la carte des champs de vitesse. Elle seule rend compte de l'emplacement des chenaux de crue, de l'impact des aménagements sur l'écoulement, de la dynamique des crues dans sa plaine alluviale (lignes de courants recoupant un méandre, secteurs d'eaux mortes car inondés par l'aval...). Le chargé d'étude doit avoir des compétences géomorphologiques et hydrologiques pour la réalisation des cartes.

Il a été présenté les grandes lignes techniques, jusqu'à la production des cartes des aléas hauteur et éventuellement vitesse. Certains éléments changent, en fonction du secteur étudié, des outils disponibles, de la politique d'aménagement et d'urbanisme du maître d'ouvrage. Ainsi, l'échelle des cartes, qui est le plus souvent le fond IGN 1/25 000 agrandi au 1/10 000, peut aller jusqu'au fond cadastral au 1/5 000 ou au 1/2 000 pour les secteurs urbanisés, quand ce fond est fiable (mises à jour récentes). Il en est de même pour le choix des tranches hauteurs et vitesses, qui dépend directement de la politique et des règlements d'urbanisme en vigueur sur le secteur étudié, mais aussi du budget alloué à l'étude. Selon les enjeux qui occupent son territoire (centre urbain dense, zones industrielles...), une étude des inondations basée sur un modèle hydraulique et applicable au P.P.R. pourra être envisagée.



Quelques exemples concrets

Pour illustrer l'application de cette démarche quatre exemples sont présentés :

- I - VAYRAC
- II - GRISOLLES
- III - CASTRES
- IV - CAHORS

Par leur variété, ces quatre exemples illustrent bien la diversité d'approche, en fonction des outils d'étude disponibles, du budget engagé, de la politique d'urbanisme en vigueur, de la géographie du secteur d'étude... Pour chacun d'eux, sont présentés les cartes réalisées (hydrogéomorphologique, hauteurs, champs de vitesse) et une note de synthèse exposant le détail de la démarche, les problèmes à résoudre, les points particuliers rencontrés, le retour d'expérience.

I - L'EXEMPLE DE VAYRAC - (DDE DU LOT)

Vayrac est une commune riveraine de la Dordogne, au nord du département du Lot. Ce site d'étude a été choisi :

- la cartographie informative des zones inondables a été effectuée,
- 33% de la superficie communale est en zone inondable,
- des investissements agricoles et artisanaux ont été réalisés,
- des enjeux touristiques importants sont implantés en bordure de Dordogne,
- des études spécifiques ont déjà été réalisées sur la commune.

Pour réaliser un passage correct du 1/25 000 au 1/10 000, nous disposons des outils suivants :

- la cartographie informative du bassin d'étude Dordogne,
- les photographies aériennes de la commune au 1/8 000 (SPHAIR, déc 1989),
- l'étude d'impact d'un remblai en bordure de Dordogne (SOGREAH, juillet 1991),
- les conditions d'évacuation des campings en cas de forte crue (SOGREAH, mai 1996).

1) Réalisation de la carte hydrogéomorphologique.

Sur la cartographie hydrogéomorphologique, apparaissent :

- les zones inondables aux fréquences retenues (pour des crues très fréquentes, fréquentes, exceptionnelles avec le PHEC),
- l'état du lit ordinaire (bancs de galets, végétalisé ou non, berges vives ou fixes, ses aménagements récents)
- les formes particulières de la zone inondable influençant la dynamique des inondations (mini-talwegs, les tertres et bourrelets, artificiels ou non)
- les aménagements de la plaine alluviale pouvant localement conditionner un type de dynamique (remblais routiers et ferroviaires, ouvrages de décharge de ces remblais, drains et fossés agricoles, les obstacles à l'écoulement).

L'étude de terrain permet de valider la cartographie en recensant les aménagements hydrauliques, en précisant les limites des fréquences d'inondation, en tenant compte des aménagements agricoles, urbains et industriels déjà repérés par l'étude des photographies aériennes.

Cette validation a nettement servi pour le tracé de la limite entre les zones inondables de fréquence 0,1 et 0,01, comme on peut le voir sur l'annexe 1 (carte hydrogéomorphologique) : au nord-ouest derrière le remblai de la voie ferrée, la précision du trait rend compte du travail effectué.

2) Détermination de l'aléa en terme de hauteur d'eau et vitesse d'écoulement.

À ce stade de l'étude, les outils disponibles sont les suivants :

- la cartographie hydrogéomorphologique au 1/10 000,
- l'étude hydrologique des crues de la Dordogne (UTM/DIREN 1996),
- les photographies aériennes au 1/8 000 (SPHAIR, déc. 1989),
- l'étude d'impact d'un remblai en bordure de Dordogne (SOGREAH, juillet 1991),
- les conditions d'évacuation des campings en cas de forte crue (SOGREAH, mai 1996).

Certaines études venant d'archives DDE ou de notre propre travail, ce sont les deux études SOGREAH qui ont amené des données nouvelles :

- un levé topographique du secteur au 1/10 000,
- une carte des traits de crues localisés et datés au 1/10 000,
- le profil en long de la crue de 1952, PHEC pour la commune,
- une carte d'extension et des courants de la crue de la Sourdoire de sept 1992,
- une carte de la morphologie fluviale de la commune au 1/10 000.

Avant d'être utilisés, ces documents ont été critiqués. C'est ainsi qu'ont été écartées :

- la carte d'extension et des courants de la crue de la Sourdoire de sept 1992, jugée incomplète par la DDE 46,
- la carte de la morphologie fluviale de la commune au 1/10 000, qui ne représente qu'un seul chenal de crue (ancien méandre de la Dordogne) sans autant entrer dans les détails de la carte hydrogéomorphologique.

et qui ont dû être à compléter ou à reprendre :

- le levé topographique est un levé concernant l'évacuation des campings des berges de la Dordogne ; il ne fait donc que suivre les routes et n'est pas représentatif du modelé de la plaine inondable. Le levé a été repris pour le compléter. En une journée d'arpentage, il a été couvert 1,5 km² et relevé 50 points de plus (6 heures de travail à 2, avec un niveau laser).
- le profil en long reconstitué de la crue de déc. 1952 a été vérifié par recoupement avec les traits nivelés de la crue disponibles sur le terrain et dans les archives.

a) Pour élaborer la carte des hauteurs d'eau de la crue de 1952 (PHEC), il a été reporté les hauteurs de la crue sur les points du levé topographique. À partir de ce semis de points les photographies aériennes ont été reprises au 1/8 000 pour rendre compte de certaines anomalies et gommer les lacunes du levé topographique. En effet, pour réaliser une carte des hauteurs de la PHEC correcte, il faut tenir compte du modelé de la plaine alluviale et, en particulier, des drains limitant certaines parcelles ou conditionnant des chenaux de crue, dont la profondeur peut atteindre 2 mètres. Ce genre d'aménagement agricole n'est jamais pris en compte lors du levé topographique car jugé linéaire et non représentatif. Pourtant c'est bien une accentuation notable de la hauteur de la crue, et c'est sur plusieurs mètres de largeur et plusieurs centaines de mètres de longueur, comme le canal de la Guierle, drain artificiel traversant la plaine inondable et mis en valeur sur notre carte des hauteurs d'eau de la PHEC (annexe 2).

b) L'élaboration de la carte des vitesses de crue a posé d'autres problèmes. Nous avons qualifié les champs de vitesse selon des critères simples avec les outils mis à notre service :

- les photographies aériennes au 1/8 000,
- la carte hydrogéomorphologique au 1/10 000,
- la carte des isopaques de la crue de 1952,
- notre bon sens.

Une carte des champs de vitesse a été élaborée, en distinguant pour la PHEC les secteurs de lignes de courant potentiellement dangereux pour les personnes et les biens, et les secteurs d'eaux mortes ou calmes, où l'inondation imbibe plus qu'elle ne déstabilise les biens et l'habitat, et ceci sans danger pour les personnes.

C'est une façon synthétique, qualitative d'apprécier l'aléa, en tenant compte :

- du modelé de la plaine inondable, qui permet de cerner les secteurs de lignes,
- de la hauteur de la ligne d'eau de la PHEC, qui permet de déterminer des zones de mise en vitesse par simple inertie ou par mise en charge,
- des aménagements humains, faisant obstacle à l'écoulement et créant des dynamiques particulières en cas d'inondation.

Une carte simple est présentée, en deux teintes (zones de courant, vitesse supérieure à 0,5 m/s ; zones d'eaux calmes, vitesse inférieure à 0,5m/s), avec un figuré linéaire indiquant l'emplacement et le développement des chenaux de crues conditionnant les lignes de courant. C'est l'annexe 3.



26 Quelques exemples concrets

II - L'EXEMPLE DE GRISOLLES - (DDE DU TARN ET GARONNE)

Entre Verdun-sur-Garonne et Grisolles, la Garonne est capable d'inonder le fond de son auge alluviale sur une largeur de 3 km.

La cartographie informative du secteur a été réalisée en 1995 dans le cadre de l'étude méthodologique.

Pour le secteur de Grisolles il a été établi :

- une carte hydrogéomorphologique (annexe 4),
- une carte des hauteurs d'eau (annexe 5),
- une carte des vitesses (annexe 6).

qui sont directement exploitables pour la réalisation des P.P.R.

1. LA CARTE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE :

Les formes du modelé fluvial ont été recherchées à partir de l'analyse fine des photographies aériennes au 1/20 000 (SPHAIR, avril 1994) et les observations de terrain qui nous ont permis d'identifier les traces laissées par le passage des crues inondantes.

Il est distingué dans la plaine d'inondation, la bassure, qui correspond au champ d'expansion des crues de fréquence décennale, et la hauteur, qui est occupée seulement par les plus grandes crues historiques. De grands chenaux de crue en arc, secteurs de mise en vitesse, se développent dans ces deux champs d'inondation.

2. LA CARTE DES HAUTEURS D'EAU :

Les laisses de la crue de juin 1875 ont été exploitées, sans négliger celles des autres crues anciennes, laisses qui ont été recensées, repérées et nivelées par la DDE 82 puis reportées sur un profil en long du lit mineur et sur un profil en long de la vallée pour la reconstitution des lignes d'eau de la crue de 1875 (PHEC).

A partir

- de ces deux profils en long,
- du levé photogrammétrique du secteur (SPHAIR, avril 1994),
- des observations de terrain,
- de l'analyse fine des photographies aériennes au 1/20 000,

a été dressée la carte des lignes d'eau extrapolées (hypsométrie du plan d'eau de l'inondation à son maximum).

Ensuite, sur le fond photogrammétrique (SPHAIR, avril 1994) au 1/5 000, a été établie la carte des isopaques (lignes d'égale épaisseur) de la crue 1875 à partir des lignes d'eau précédemment tracées. Les isopaques retenues ont pour valeur 1m, 2 m, 3 m et plus de 3 m.

Cette carte (annexe 5) des épaisseurs de la lame d'eau d'inondation clôture la première étape.

3. LA CARTE DES VITESSES :

La carte des vitesses a été constituée à partir de la combinaison des analyses géomorphologiques et granulométriques faites dans la plaine inondable, selon la double méthode exposée plus haut. Les calculs-tests de vitesses moyennes ont été effectués à partir de la formule de Manning-Strickler pour les sections composées.

Calculs des vitesses :

Les hydrauliciens utilisent des formules universelles (Bazin, Chézy, Manning-Strickler) pour calculer les vitesses d'écoulement permanent dans une section uniforme. Pour calculer des vitesses dans une plaine inondable où se jouxtent des sections hétérogènes, les ingénieurs utilisent souvent la formule de Manning-Strickler $U = K.R^{2/3}.I^{1/2}$. Cette formule est très simple ; il est possible de déterminer les vitesses moyennes dans le lit d'inondation. Mais cette formule bute sur la difficulté de choisir le coefficient de rugosité dans la plaine inondable hétérogène et complexe. Tout le problème consiste donc à déterminer la rugosité du fond du lit dans le secteur d'étude.

La répartition des vitesses dans une section transversale a été effectuée, en décomposant le lit de la rivière en tronçons homogènes (unités de modelé alluvial), en tenant compte de la géomorphologie de la vallée et la hauteur d'eau de la crue de 1875 (sans modélisation mathématique de débits).

Pour chaque tronçon homogène, on a obtenu un coefficient de rugosité par la méthode de Cowan, en fonction des conditions hydrauliques rencontrées dans chaque tronçon homogène ; il a été également examiné le coefficient de rugosité pour le lit mineur à partir des jaugeages effectués à la station de Verdun-sur-Garonne.

La reconstitution des vitesses moyennes a été essayée (avec une marge d'erreur de plus ou moins 20%) pour la crue de 1875, dans chaque tronçon homogène à partir d'une loi de frottement de Strickler en régime fluvial tenant compte de la pente d'écoulement générale de la vallée pour le lit majeur et la pente de la ligne d'eau pour le lit mineur.

Ainsi, à partir de ces trois méthodes (géomorphologique, granulométrique et mathématique), il a été établi la carte des vitesses (annexe 6) de la crue 1875, réalisée sur un fond photogrammétrique (SPHAIR, avril 1994) à l'échelle du 1/5 000. Cette carte indique les vitesses : vitesses-seuils du 0,20, 0,5, 1 et 1,5 m/s.

En poussant l'analyse, il est possible, à partir des vitesses moyennes calculées plus haut, de déterminer les vitesses instantanées pour les sections définies. Trois formules ont été retenues qui permettent de calculer les vitesses instantanées (V) à partir des vitesses moyennes (U) :

■ **Formule de Koechlin :**

$$U = 0,82V (1 + 0,6 \cdot R^{1/2} / 1 + 0,9 \cdot R^{1/2})$$

Si $R < 3m$

■ **Formule de Prony :**

$$U = 0,8V$$

■ **Formule de Bazin**

$$U = V - 14 (R \cdot I)^{1/2}$$

Avec I = pente en ‰

III - L'EXEMPLE DE CASTRES - (DDE DU TARN)

L'Agoût traverse la commune de Castres sur 19 km de longueur dans les terrains molassiques juste à sa sortie des gorges cristallines ; il a pu élargir sa vallée dans ces terrains moins résistants et décrit de grands méandres actifs et libres à l'état naturel qui ont permis le développement d'une plaine alluviale inondable d'une largeur de 20 à 120 m.

Dans ce secteur de la vallée, la plaine alluviale fonctionnelle n'occupe qu'une partie de l'ancienne plaine Würm, surtout dans le lobe des méandres. La crue de mars 1930 s'y est étalée sur la totalité de la plaine alluviale, sur les deux rives, jusqu'à l'encaissant.

La ville de Castres est exposée notamment car elle barre la vallée de l'Agoût, juste à sa sortie des gorges cristallines. Elle est soumise à des crues débouchant de manière violente et rapide des gorges et qui s'étalent dans la plaine alluviale. L'expansion urbaine récente a aggravé le problème, surtout en rive gauche de l'Agoût. Les crues de déc. 1995 (crue vicennale) et déc. 1996 (crue trentennale) ont inondé les secteurs de ces quartiers.

La carte hydrogéomorphologique (annexe 7), la carte des aléas hauteur d'eau et la carte des vitesses des courants sur l'Agoût pour les secteurs urbains de Castres en 1998, ont été réalisées dans le cadre de l'étude préalable à la mise en place du P.P.R. Castres.

La détermination et la cartographie des aléas hauteur et vitesse (annexes 8 et 9) ont été réalisées à partir de l'étude hydrogéomorphologique et d'une étude hydraulique simplifiée (sans modélisation mathématique) car l'abondance de données permet une analyse poussée.

Ces trois cartes ont été réalisées à partir de :

- la recherche et l'analyse des documents existants dans les archives des services,
- l'utilisation systématique des hauteurs de crue aux stations hydrométriques et des traits de crue localisés
- l'analyse hydrogéomorphologique de la vallée,
- l'analyse des traces sédimentologiques et granulométriques des alluvions,
- l'analyse des photographies aériennes au 1/10 000, (BEPEA, septembre 1980),
- la mission de terrain et enquête auprès des habitants,
- la détermination de la ligne d'eau de la crue de référence (pour l'Agoût à Castres, mars 1930),
- la cartographie des hauteurs d'eau de cette crue en l'état actuel du lit,
- la cartographie des vitesses, toujours pour la crue de référence (pour l'Agoût à Castres, mars 1930), à partir de la combinaison des données géomorphologiques observables dans la plaine inondable, d'analyses granulométriques des sédiments dans le lit d'inondation et de calcul des vitesses moyennes à partir de la formule de Manning-Strickler pour les sections composées.



Quelques exemples concrets

IV - L'EXEMPLE DE CAHORS - (DDE DU LOT)

La carte hydrogéomorphologique (annexe 10) de la commune de Cahors a été réalisée à partir d'une étude méthodique du terrain, en particulier en secteur urbanisé, complétée par la cartographie informative réalisée en 1996. Des études hydrauliques réalisées antérieurement sont venues utilement compléter l'information hydrologique, en particulier pour les grandes crues historiques (1927, 1783, 1944) et pour les crues plus récentes (1976, 1981, 1982).

Les enquêtes de terrain ont complété ces archives, et ont joué un rôle important pour la cartographie des vallées sèches encadrant l'agglomération de Cahors, où peu d'informations sont disponibles sur les crues. Mis à part l'inondation de janvier 1996 qui a ravagé le réseau de vallées du Bartassec-Lacoste au sud de Cahors. Ce complément de terrain est d'autant plus nécessaire que l'urbanisation se développe dangereusement au fond de ces vallées, le bâti résidentiel et d'activités barrant carrément le fond inondable, et même le talweg ou le drain !

Pour ces secteurs, la carte hydrogéomorphologique est très importante car elle cerne l'étendue de ces zones inondables par des crues torrentielles, peu prévisibles et que l'on ne peut pas cartographier en terme de hauteur et de vitesse par absence d'informations hydrométriques et hydrologiques. L'analyse géomorphologique revêt ici toute son importance car elle seule permet d'apprécier le risque d'inondation de ces vallées secondaires.

Pour la détermination des critères hauteur et vitesse, Cahors inaugure une méthode de levé topographique par station totale à partir de points de vue situés sur les plateaux caussenards dominant la vallée du Lot. Cela permet une couverture plus uniforme et rapide du terrain, et laisse presque entièrement le choix des points pourvu que le chargé d'étude reste en vue de la station. C'est une plus grande liberté de sélection des points en fonction du modèle de la plaine alluviale.

Les cartes hauteurs et vitesses (annexes 11 et 12) reposent sur ce fond topographique réalisé. Ainsi, grâce aux nombreux traits de la crue de 1927 (crue de référence) jalonnant le Lot, il a été établi une ligne d'eau fiable de cette crue. La précision de la carte des hauteurs est suffisante, même pour les secteurs urbanisés. A ce stade, seule une étude hydraulique avec modélisation peut apporter un complément d'information. La carte des vitesses est aussi satisfaisante et cerne les grandes lignes de courant, mais ne permet pas de donner des ordres de vitesse dans les secteurs urbanisés ; l'impact du bâti et des obstacles à l'écoulement est apprécié de manière qualitative.

L'APPORT DE L'HYDROGÉOMORPHOLOGIE

L'analyse hydrogéomorphologique de la plaine inondable est une donnée première pour apprécier la dynamique des crues dans la plaine alluviale fonctionnelle. La cartographie informative au 1/25 000 apporte une information fondamentale pour l'étude : la délimitation des zones inondables en terme de type d'inondation. Cette donnée peut ainsi être affinée et complétée pour la réalisation d'une cartographie hydrogéomorphologique au 1/10 000. Les compléments d'informations portent principalement sur cinq points :

- la plus grande précision des limites extrêmes du champ d'inondation (limites des PHEC),
- la détermination précise des chenaux de crue et des lignes de courant,
- l'état du lit ordinaire au moment de l'analyse de la plaine inondable,
- l'exhaustivité dans l'enquête des traits et repères de crue permettant de tracer une ligne d'eau,
- la précision du champ d'inondation des vallées secondaires et des vallées sèches.

Ce document est une synthèse de l'information hydrologique et géomorphologique, explicitant les phénomènes dynamiques et donnant une image de la plaine inondable. Mais aussi, et surtout, la carte hydrogéomorphologique au 1/10 000 est généralement suffisante pour une procédure réglementaire dans des secteurs de faibles enjeux (par exemple, les champs d'expansion de crue dans des zones rurales d'affluents secondaires).

Cette cartographie, synthétisant l'information hydrologique et géomorphologique, introduit l'ensemble de l'étude et éclaire sur la dynamique des inondations au sein du secteur étudié.

BILANS ET LIMITES DE L'ANALYSE PROPOSEE

La Diren Midi-Pyrénées dispose d'archives importantes sur les crues. Le croisement des informations historiques avec la cartographie hydrogéomorphologique et des levés topographiques bien ciblé permet l'évaluation des profondeurs d'eau, l'estimation sommaire des vitesses d'écoulement puis l'élaboration de la carte d'aléas.

S'agissant des profondeurs d'eau, la précision des résultats est, toutes choses égales par ailleurs, liée à :

- la précision des levés topographiques. « Nous avons pu nous rendre compte de l'efficacité et de la fiabilité des différences techniques de levé : la photogrammétrie est peu précise (20 cm maximum) et donne trop souvent l'altitude de la cime des arbres,
- la station en point de vue donne de bons et rapides résultats, mais l'opérateur est contraint de rester en contact visuel avec la station pour la prise des points et de limiter la portée.

Le système GPS a été tenté, quelques réserves sont à formuler (impossibilité d'utiliser l'appareil sous couvert végétal, difficultés en secteurs urbains...), mais qui sont compensées par certaines qualités essentielles : totale autonomie de l'opérateur par rapport à la station fixe, portée de plusieurs kilomètres, possibilité de travailler par tous les temps.

- l'abondance des repères de crues. Dans les grandes plaines inondables, les niveaux d'eau sont loin d'être plans. La précision de la carte des hauteurs d'eau dépend alors de la présence ou non de repères de crue à proximité de la zone de grand écoulement.

La cartographie des vitesses d'écoulement est plus délicate à élaborer. Elle est effectuée en tenant compte de la granulométrie des éléments du fond, des hauteurs d'eau, des pentes de la surface libre, d'une estimation de la rugosité locale du lit ainsi que des chenaux visibles d'écoulement. Bien que le recoupement des données limite les incertitudes, la précision de la carte des vitesses est bien moins bonne que celle obtenue sur les profondeurs d'eau.

La cartographie de l'aléa, telle qu'exposée dans le présent ouvrage, apparaît d'un niveau de précision satisfaisant pour élaborer de nombreux PPR. Des études hydrauliques avec modélisation sont engagées sur les secteurs « ayant subi une modification urbaine forte depuis la crue de référence » ou encore lorsque le niveau de précision est nécessaire. Il est cependant à noter que même dans ces cas, « l'approche géomorphologique » permet de cibler les besoins véritables en analyses hydrauliques et, ainsi, de réaliser des économies.





30

Rouge

Us.

ssut

PF

278

ORS

Camp

Bibliographie

31

**MINISTERE DE L'EQUIPEMENT,
DES TRANSPORTS ET DU TOURISME ,
MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT**
— 1996

*Cartographie des zones inondables :
Approche hydrogéomorphologique*

LAMBERT R., GHOLAMI M., PRUNET C.
— 1995

*Méthodologie pour une
cartographie informative des zones
inondables en région Midi-Pyrénées*

**DIREN MIDI-PYRENEES,
AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE**
— 1996

*Schéma Directeur d'Aménagement
et de Gestion des Eaux (SDAGE)
Adour-Garonne*

**DIREN MIDI-PYRENEES,
CONSEIL REGIONAL MIDI-PYRENEES**
— 1997

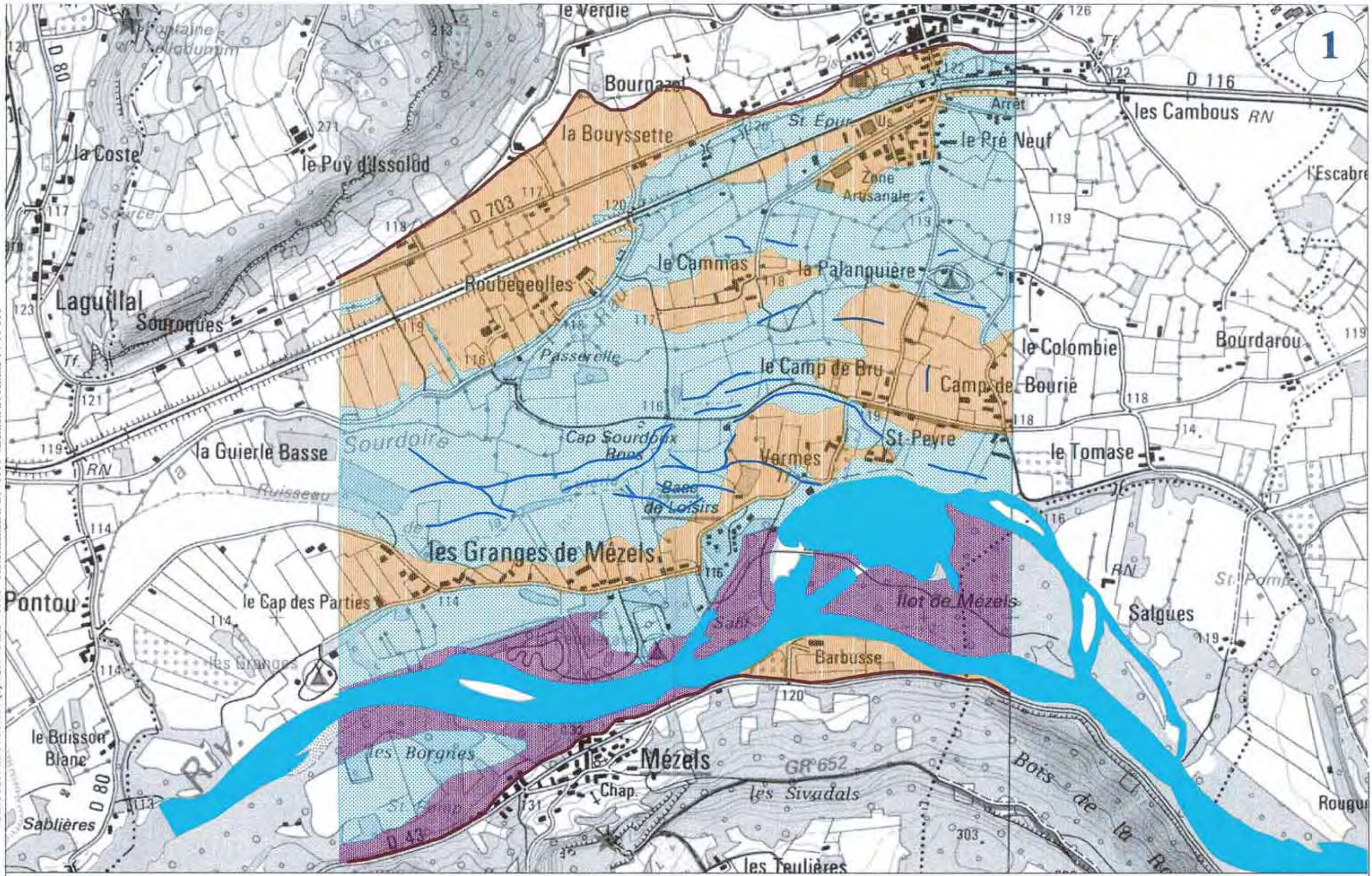
*Atlas Cartographie informative des
zones inondables en Midi-Pyrénées*





*Document élaboré par la Direction
Régionale de l'Environnement
Midi-Pyrénées avec le concours
des Directions Départementales
de l'Équipement du Lot, du
Tarn, du Tarn-et-Garonne
et la Société GEOSPHAIR .*

Carte IGN de 1 / 25 000 (c) IGN - Paris - 1996 - Autorisateur. n°2. - 600. - Edition à l'échelle 1 / 10 000



CARTE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE
COMMUNE DE VAYRAC

DDE 46

Réalisé par GEOSPHAIR

- ZONES INONDABLES**
- Lit ordinaire
 - Crue très fréquente (d'ordre annuel)
 - Crue fréquente (retour de 5 à 15 ans)
 - Crue exceptionnelle - limite PHEC

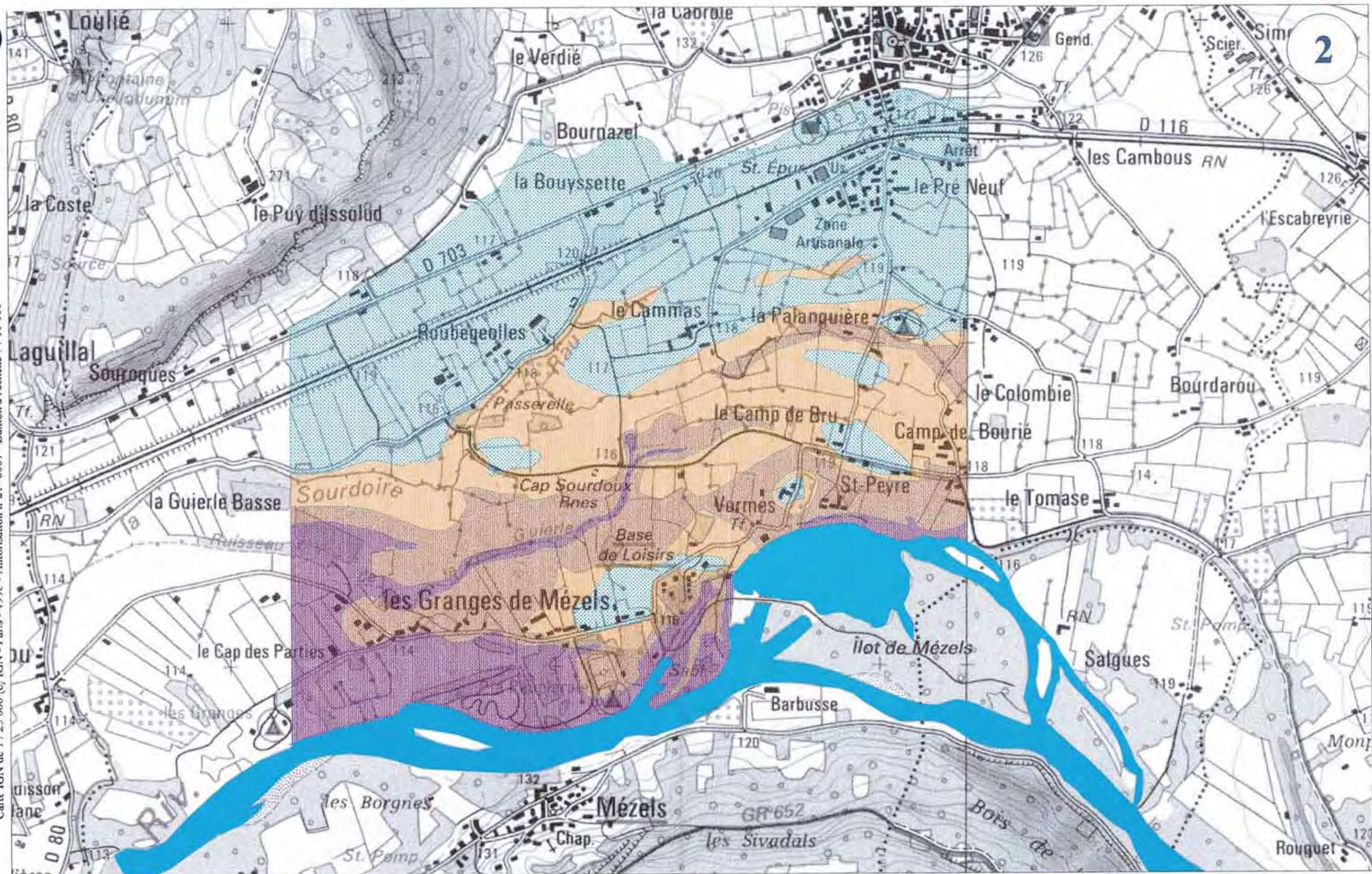
- Encaissant**
 (limite extrême des crues historiques) :
- de pente abrupte
 - de pente faible
 - chenal de crue
 - digue, remblai, levée
 - berge vive non stabilisée

- hauteur à l'échelle
- point noir connu
- PHEC



ECHELLE 1 / 10 000

Carte IGN de 1 / 25 000 (c) IGN - Paris - 1996 - Autorisation n°21- 6001 - Edition à l'échelle 1 / 10 000







P.P.R. INONDATION
COMMUNE DE VAYRAC

DDE 46

Réalisé par GEOSPHAIR

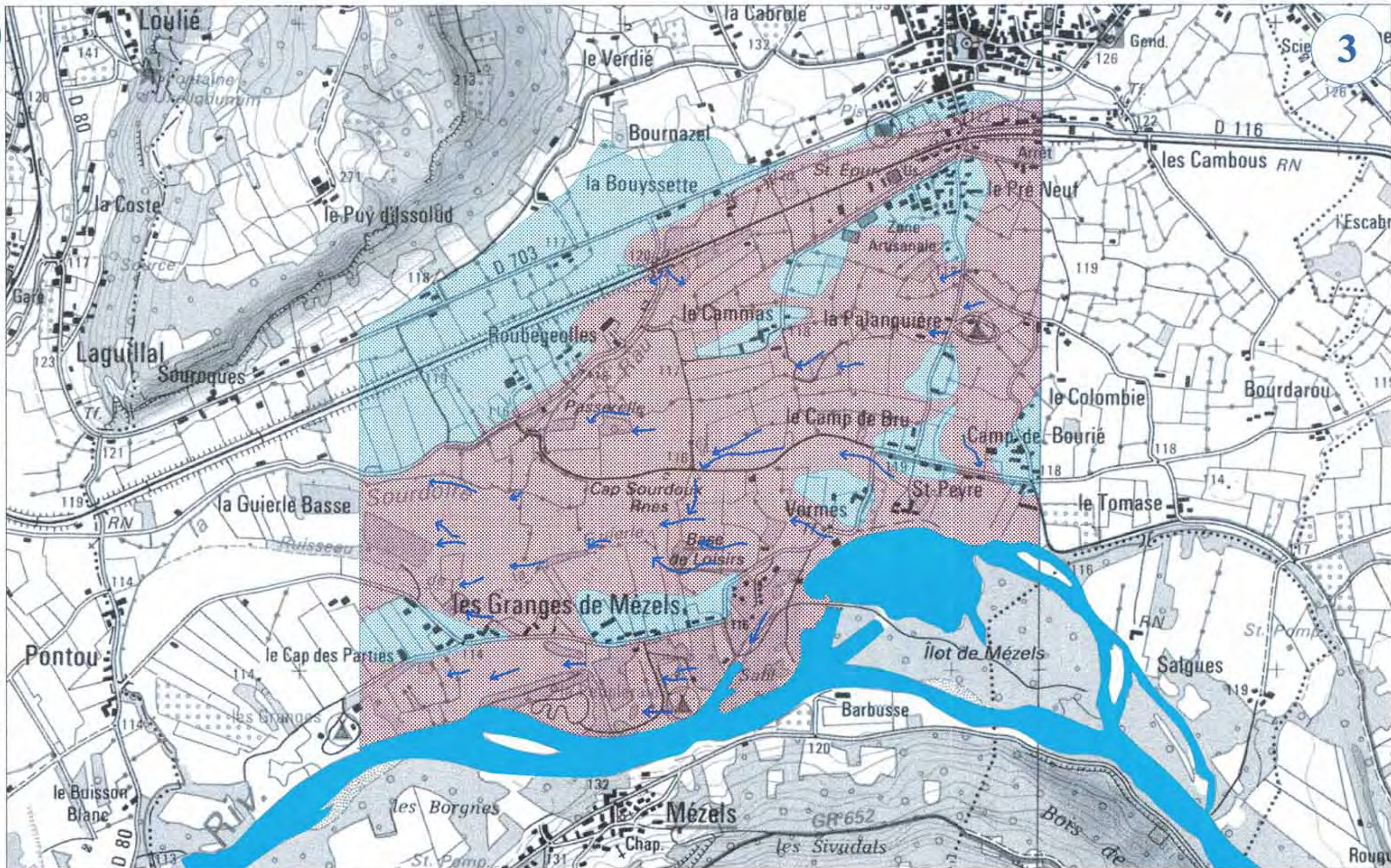
ZONES DES HAUTEURS D'EAU :

-  0 et 1 m
-  1.00 et 1.50 m
-  1.50 et 2.00 m
-  supérieures à 2.00 m

— Limite de la crue de référence



ECHELLE 1 / 10.000






P.P.R. INONDATION
COMMUNE DE VAYRAC

DDE 46

Réalisé par GEOSPHAIR

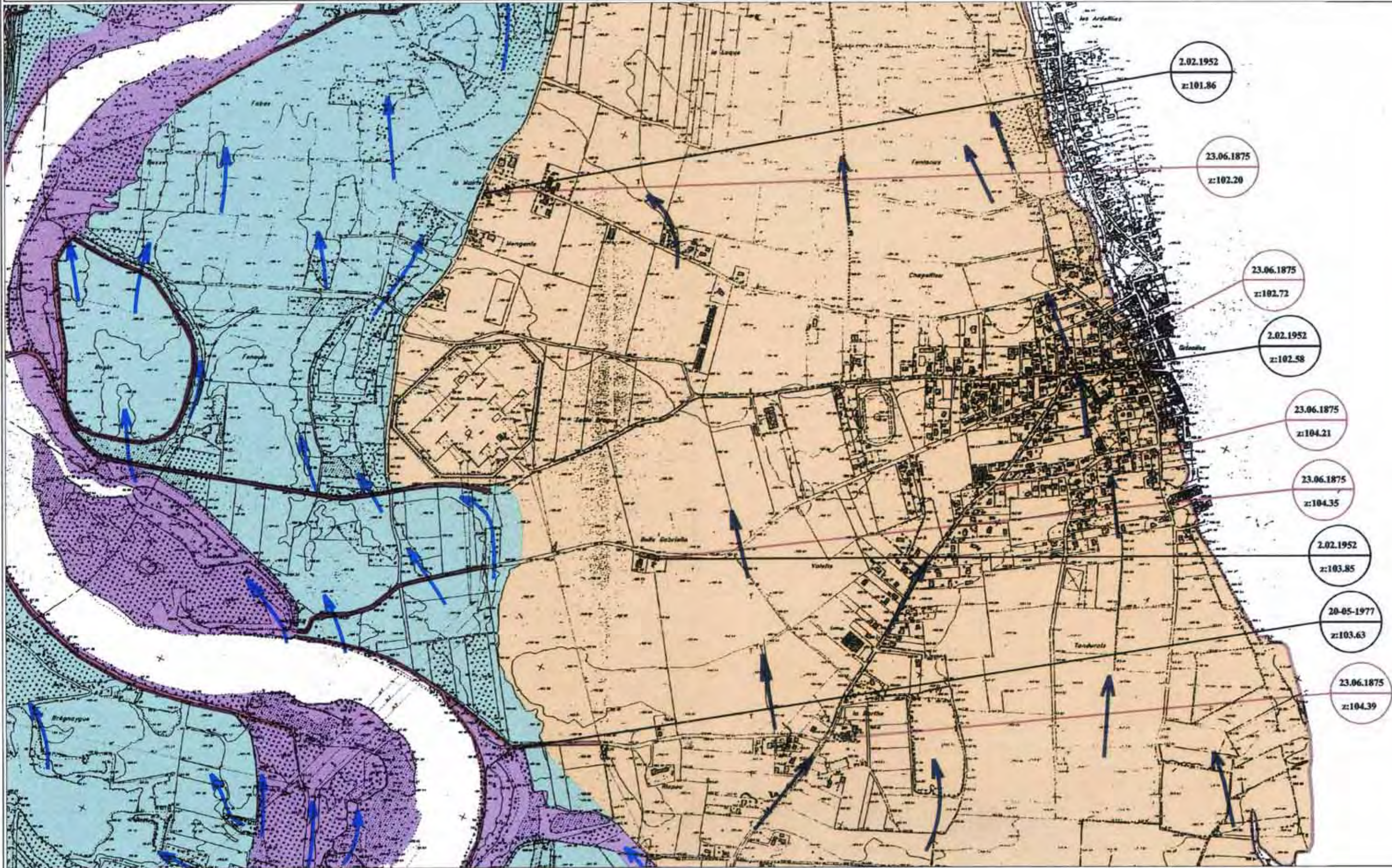
ZONES DE VITESSES :

-  Secteur d'eaux mortes ou calmes
-  Secteur de mise en vitesse
-  Chenaux de crue



Limite de la crue de référence

ECHELLE 1 / 10.000



- ZONE INONDABLES**
- Lit ordinaire
 - crue très fréquente (d'ordre annuel)
 - crue fréquente (retour de 5 à 15 ans)
 - crue exceptionnelle limite PHEC

- encaissant (limite extrême des crues historiques)
- digue, remblai, levée
- chenal de crue

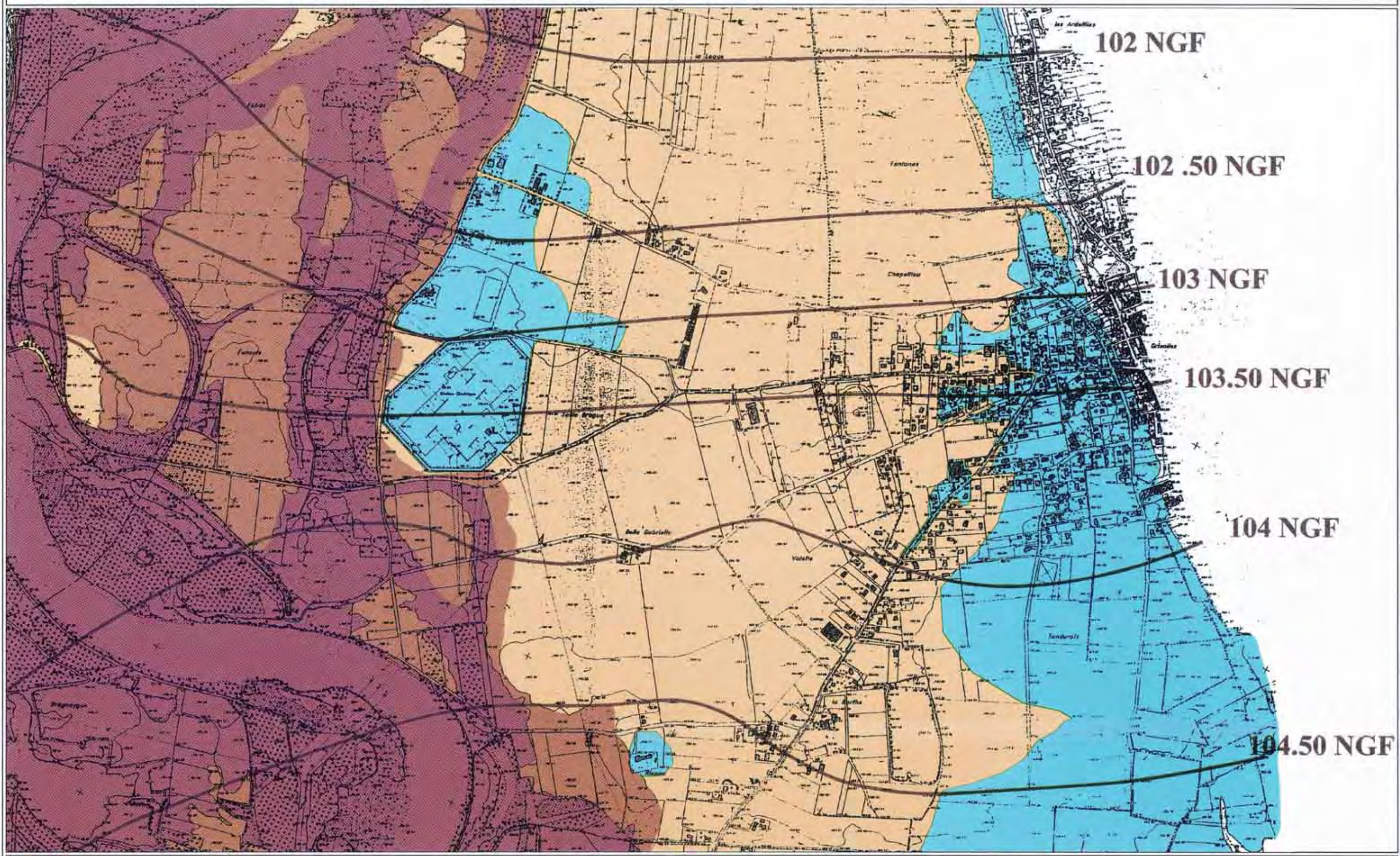
- 2.02.1952
z:102.89 point noir connu
- 23-06-1875
z:104.89 PHEC

CARTE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

Réalisé par MASSOUD GHOLAMI, U.T.M.



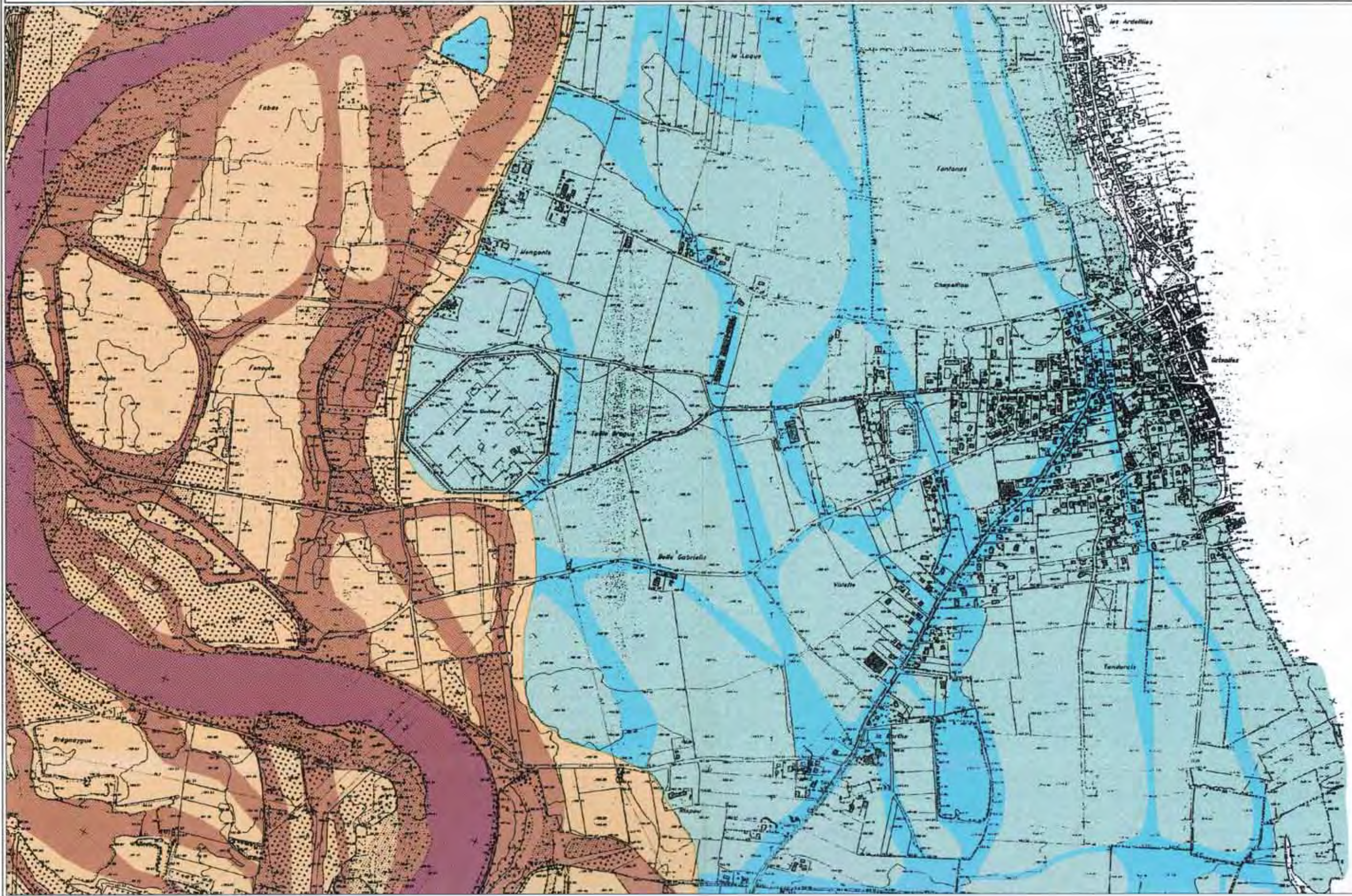
Echelle : 1/10 800



— 104 NGF Cote et isocote de la crue de 1875 (en NGF)
 ZONE DES HAUTEURS COMPRISES ENTRE :
 0 et 1.00 m 2.00 et 3.00 m
 1.00 et 2.00 m supérieures à 3.00 m

CARTE DES HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE DE 1875





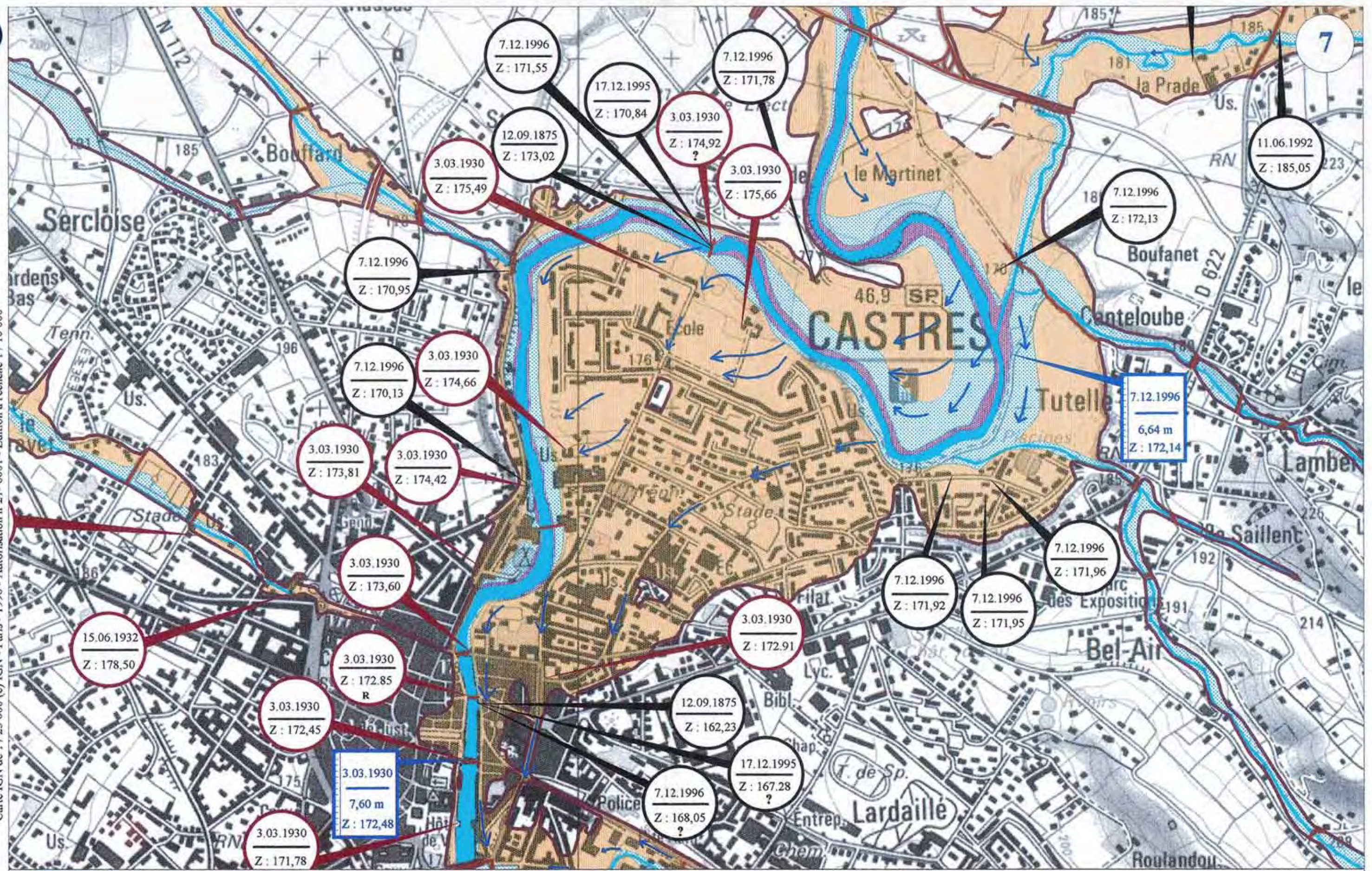
ZONE DES VITESSES COMPRISES ENTRE :

 0 et 0.2 ms	 1.0 et 1.5 ms
 0.2 et 0.5 ms	 supérieures à 1.5 ms
 0.5 et 1.0 ms	

CARTE DES VITESSES POUR LA CRUE DE 1875

Réalisé par MASSOUD GHOLAMI, U.T.M.





DDE 81

CARTE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE
COMMUNE DE CASTRES
 Réalisé par GEOSPHAIR

ZONES INONDABLES

- Lit ordinaire
- Crue très fréquente (d'ordre annuel)
- Crue fréquente (retour de 5 à 15 ans)
- Crue exceptionnelle - limite PHEC

Encaissant
 (limite extrême des crues historiques) :

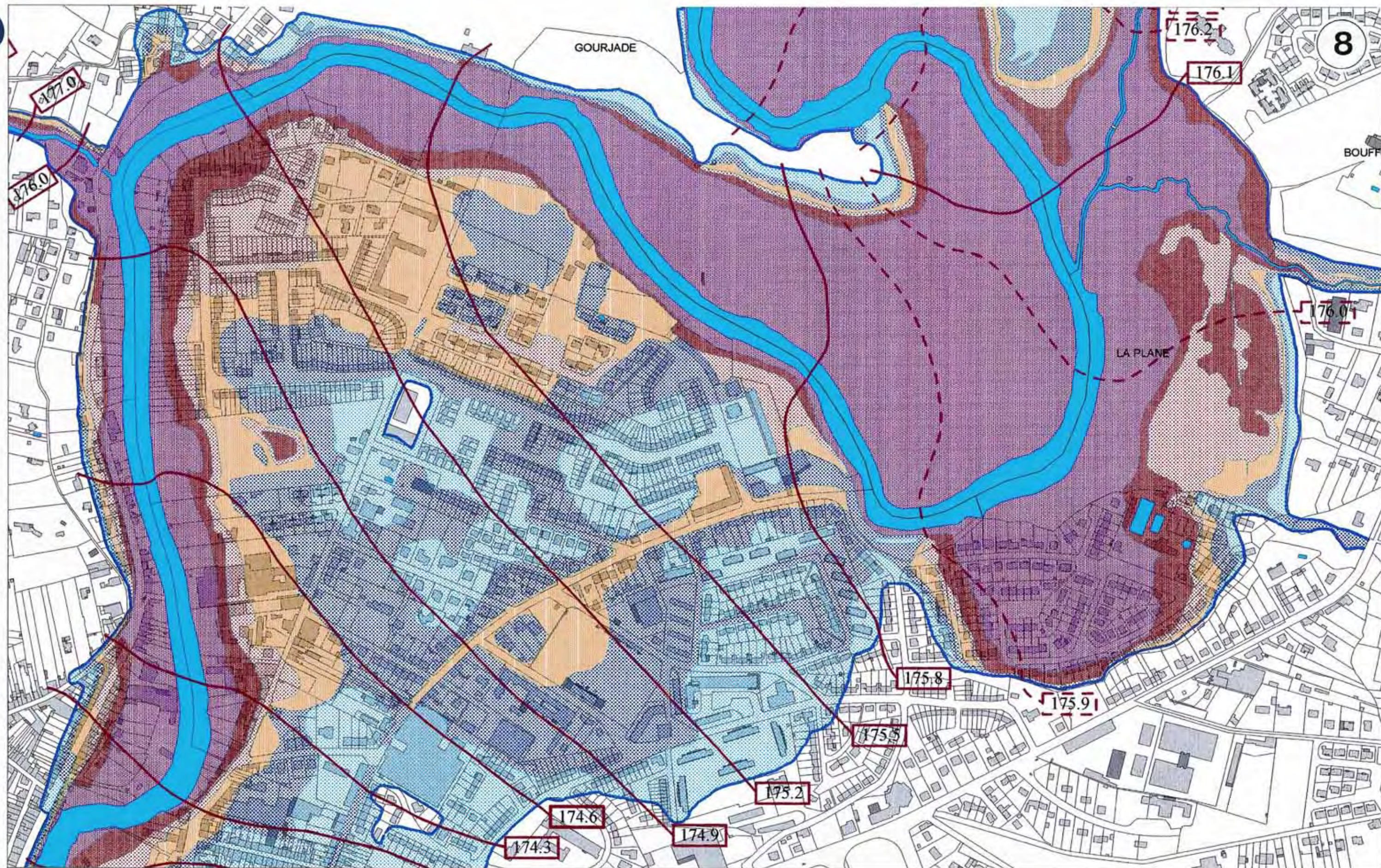
- de pente abrupte
- de pente faible
- chenal de crue
- digue, remblai, levée
- berge vive non stabilisée

hauteur à l'échelle

point noir connu

PHEC

ECHELLE 1 / 10.000



DDE 81

P.P.R. INONDATION
COMMUNE DE CASTRES

Réalisé par GEOSPHAIR

ZONES DES HAUTEURS D'EAU :

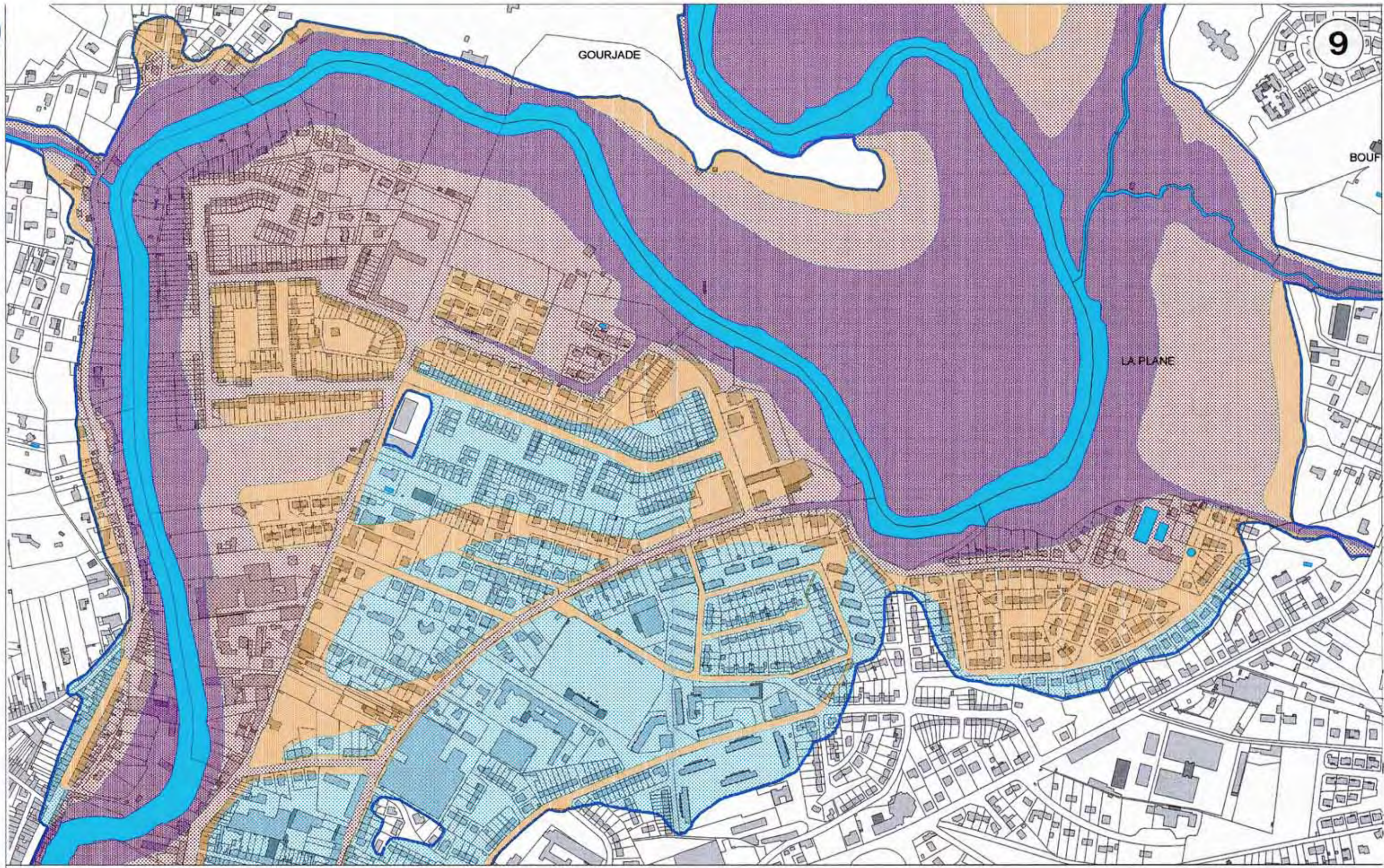
	0 et 0.5 m		1.50 et 2.00 m
	0.5 et 1.00 m		2.00 et 3.00 m
	1.00 et 1.50 m		supérieures à 3.00 m

Limite de la crue de référence

167.30 Isocote et cote de la crue de référence (en NGF)



ECHELLE 1 / 5 000








**P.P.R. INONDATION
COMMUNE DE CASTRES**

DDE 81

Réalisé par GEOSPHAIR

ZONES DE VITESSES :

-  Eaux mortes (d'ordre 0 à 0.2 m/s)
-  Vitesses faibles (d'ordre 0.2 à 0.5 m/s)
-  Vitesses moyennes (d'ordre 0.5 à 1.00 m/s)
-  Vitesses fortes (supérieures à 1 m/s)

 Limite de la crue de référence



ECHELLE 1 / 5 000

Carte IGN de 1 / 25 000 (c) IGN - Paris - 1996 - Autorisation n°21-6001 - Edtron à l'échelle : / 10 000



9.03.1927
Z: 117,44

9.03.1927
Z: 121,05

9.03.1927
Z: 120,44

9.03.1927
Z: 120,05



CARTE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE
COMMUNE DE CAHORS
 Réalisé par GEOSPHAIR

- ZONES INONDABLES**
- Lit ordinaire
 - Crue très fréquente (d'ordre annuel)
 - Crue fréquente (retour de 5 à 15 ans)
 - Crue exceptionnelle - limite PHEC

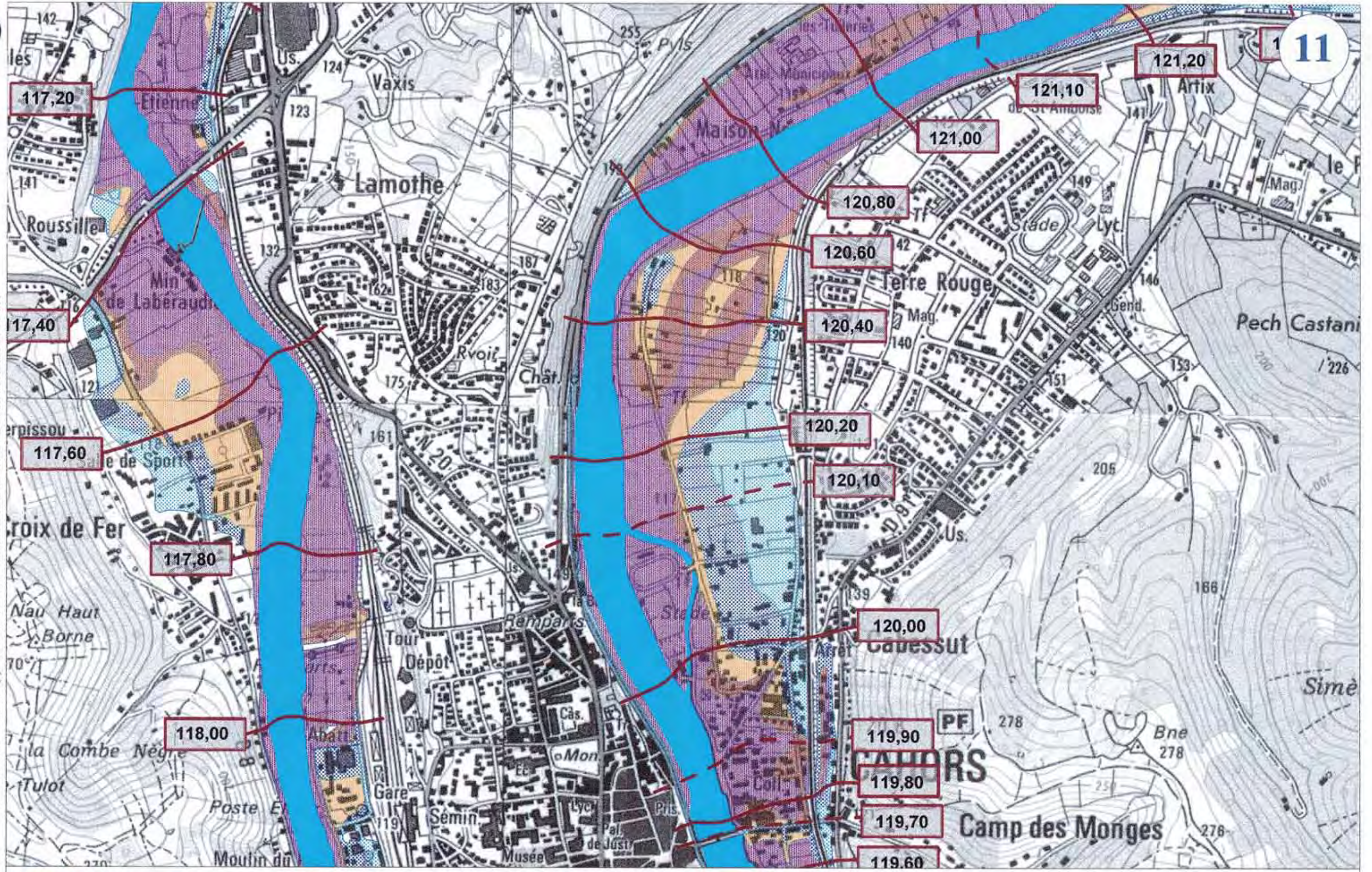
- Encaissant**
 (limite extrême des crues historiques) :
- de pente abrupte
 - de pente faible
 - chenal de crue
 - digue, remblai, levée
 - berge vive non stabilisée

- hauteur à l'échelle
- point noir connu
- PHEC



ECHELLE 1 / 10.000

Carte IGN de 1 / 25 000 (c) IGN - Paris - 1996 - Autorisation n°21-6001 - Edition à l'échelle 1 / 10 000



P.P.R. INONDATION
COMMUNE DE CAHORS
 Réalisé par GEOSPHAIR

ZONES DES HAUTEURS D'EAU :

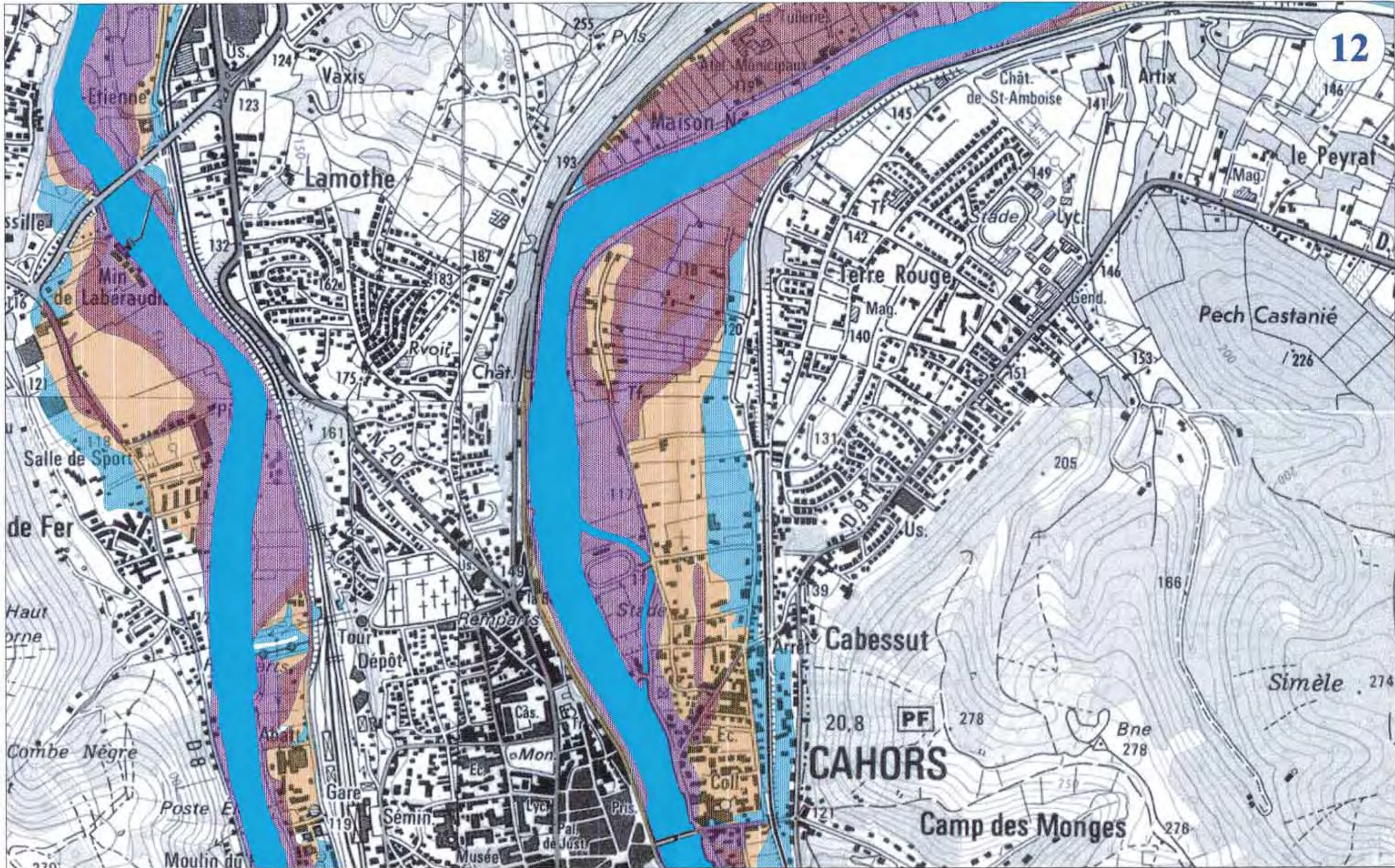
-  0 et 0.5 m
-  0.5 et 1.00 m
-  1.00 et 1.50 m
-  1.50 et 2.00 m
-  supérieures à 2.00 m

— 119,80 — Limite de la crue de référence
 — 119,80 — Isocote et cote de la crue de référence (en NGF)



ECHELLE 1 / 10.000

Carte IGN de 1/25 000 (c) IGN - Paris - 1996 - Autorisation n°21-6001 - Edition à l'échelle 1/10 000








**P.P.R. INONDATION
COMMUNE DE CAHORS**

DDE 46

Réalisé par GEOSPHAIR

ZONES DE VITESSES :

-  Eaux mortes (d'ordre 0 à 0.2 m/s)
-  Vitesses faibles (d'ordre 0.2 à 0.5 m/s)
-  Vitesses moyennes (d'ordre 0.5 à 1.00 m/s)
-  Vitesses fortes (supérieures à 1 m/s)

 Limite de la crue de référence



ECHELLE 1 / 10.000

Cartographie

- 1 **VAYRAC :**
Carte hydrogéomorphologique
- 2 **VAYRAC :**
PPR inondation
Zones des hauteurs d'eau
- 3 **VAYRAC :**
PPR inondation
Zones des vitesses
- 4 **GRISOLLES SUR GARONNE :**
Carte hydrogéomorphologique
- 5 **GRISOLLES SUR GARONNE :**
Hauteurs d'eau
pour la crue de 1875
- 6 **GRISOLLES SUR GARONNE :**
Vitesse pour la crue de 1875
- 7 **CASTRES :**
Carte hydrogéomorphologique
- 8 **CASTRES :**
PPR inondation
Zones des hauteurs d'eau
- 9 **CASTRES :**
PPR inondation
Zones des vitesses
- 10 **CAHORS :**
Carte hydrogéomorphologique
- 11 **CAHORS :**
PPR inondation
Zones des hauteurs d'eau
- 12 **CAHORS :**
PPR inondation
Zones des vitesses



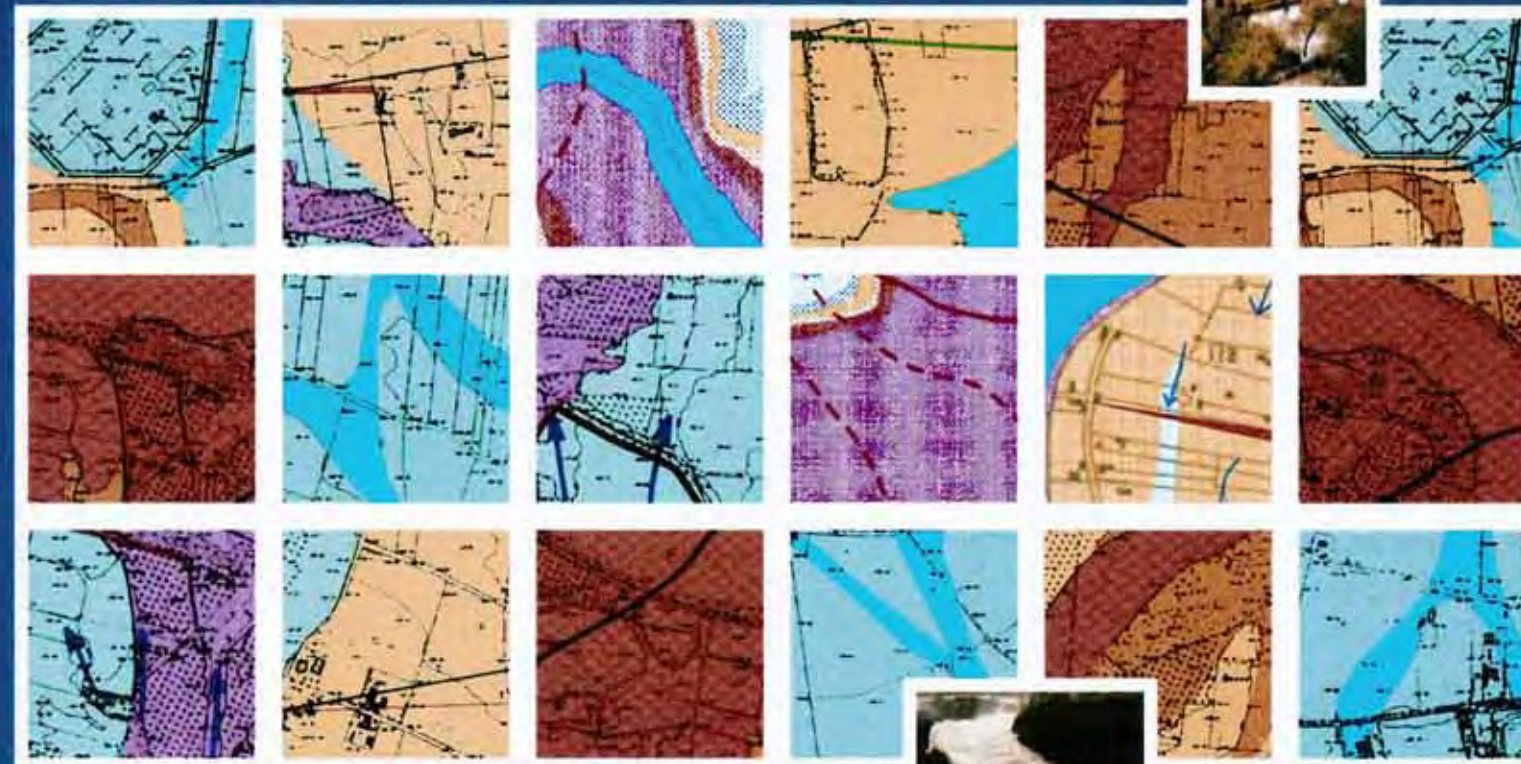
Pour toute information :

DIREN Midi-Pyrénées
Cité Administrative Toulouse
Tél. : 05 62 30 26 26
Fax : 05 62 30 27 49



GÉOSystèmes et Photo-analyses
Appliqués aux Inondations
et aux Risques naturels

De la Cartographie Informative...



UNE DEMARCHE TECHNIQUE EN

MIDI-PYRENEES



...à la Cartographie des Aléas

