

RAPPORTS

CETE de LYON
Centre d'Études
Techniques
de LYON

Département
Laboratoire de
Clermont-Ferrand

Affaire
19526

Cartographie de l'aléa inondation de l'Oeil commune de Cosne d'Allier

novembre 2011

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

**Présent
pour
l'avenir**



Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat

www.cete-lyon.developpement-durable.gouv.fr

Cartographie de l'aléa inondation de l'Oeil

commune de Cosne d'Allier

Rapport

novembre 2011

Date	Version	Commentaires
Novembre 2010	v01	Première version pour avis
Décembre 2010	v02	Version définitive
Novembre 2011	V03	Mise à jour des cartes

CETE69_R2_DM_Modelite_Rapport_Rev2



Département Laboratoire de Clermont-Ferrand
8-10, rue Bernard Palissy
63017 Clermont-Ferrand Cedex
Tél. : 04 73 42 10 10
Fax : 04 73 42 10 01
DLCF.CETE-Lyon@developpement-durable.gouv.fr

Récapitulatif de l'affaire

Client : Direction Départementale des Territoires
Boulevard Saint Saint Exupéry ; 03400 YZEURE

Objet de l'étude : Détermination des enjeux soumis au risque inondation de l'Oeil à
COSNE d' ALLIER

Résumé de la commande :

Référence dossier : Affaire 19526

Offre :

Accord client :

Diffusion/Archivage : Confidentiel – Documentation CETE de Lyon

Chargé d'affaire : Thomas OJARDIAS – DLCF – Groupe
Tél. 04 72 14 30 30 / Fax 04 72 14 30 05
Courriel : thomas.ojardias@developpement-durable.gouv.fr

Mots Clés : Risques Naturels

ISRN : 44551122553

Liste des destinataires

Contact	Adresse	Nombre - Type

Conclusion – Résumé

Clermont-Ferrand, le

La Directrice du Département Laboratoire de
Clermont-Ferrand

D. DELOUIS

Sommaire

1	INTRODUCTION.....	3
2	PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'ŒIL.....	5
3	HYDROLOGIE – ESTIAMIATION DES DÉBITS DE RÉFÉRENCE.....	7
3.1	ÉTUDE SILÈNE DE 1992	7
3.1.1	<i>Travail sur les données observées</i>	<i>7</i>
3.1.2	<i>Rectification après calage du modèle hydraulique</i>	<i>8</i>
3.2	ÉTUDE DES DONNÉES DE PLUIES ET DÉBITS	10
3.2.1	<i>Stations hydrométriques et pluviométriques sur le bassin de l'Œil.....</i>	<i>10</i>
3.2.2	<i>Étude des crues de l'Œil à Malicorne (126 km²).....</i>	<i>11</i>
3.2.3	<i>Étude des crues de l'Œil à Cosne d'Allier.....</i>	<i>16</i>
3.3	CRUES HISTORIQUES	22
4	CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES ET DE L'ALÉA	25
4.1	INFORMATIONS HISTORIQUES	25
4.2	LA MODÉLISATION	27
4.2.1	<i>Le code de calcul HEC-RAS</i>	<i>27</i>
4.2.2	<i>Données d'entrée du modèle.....</i>	<i>28</i>
4.2.3	<i>Le calage du modèle</i>	<i>30</i>
4.2.4	<i>Exploitation du modèle</i>	<i>36</i>
4.3	LA CARTOGRAPHIE.....	40
4.3.1	<i>Cartographie des hauteurs d'eau</i>	<i>40</i>
4.3.2	<i>Cartographie des vitesses.....</i>	<i>40</i>
4.3.3	<i>Cartographie de l'aléa.....</i>	<i>41</i>
4.4	COMMENTAIRES SUR LA CARTOGRAPHIE.....	42
5	ANNEXES.....	43

Table des illustrations

FIGURE 1: LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE: L'ŒIL À COSNE D'ALLIER	4
FIGURE 2: BASSIN VERSANT DE L'ŒIL : RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET STATIONS DE MESURE	6
FIGURE 3 : AJUSTEMENT STATISTIQUE DES CRUES DE L'ŒIL À MALICORNE.....	15
FIGURE 4: STATION DE COSNE D'ALLIER SUR L'ŒIL	17
FIGURE 5: AJUSTEMENT STATISTIQUE DES CRUES À COSNE D'ALLIER	20
FIGURE 6 : CARTE DE POSITIONNEMENT DES LAISSES DE CRUES.....	26
FIGURE 7 : CARTE DE POSITIONNEMENT DES PROFILS	29
FIGURE 8 : MODÉLISATION DE LA CRUE DE 1988.....	32
FIGURE 9 : MODÉLISATION DE LA CRUE DE 1958.....	33
FIGURE 10 : MODÉLISATION DE LA CRUE DE 1977.....	34
FIGURE 11 : MODÉLISATION DE LA CRUE DE 2001.....	35
FIGURE 12 : MODÉLISATION DE LA CRUE DÉCENNALE.....	38
FIGURE 13 : MODÉLISATION D'UNE CRUE TYPE 1940	39
FIGURE 14 : DÉFINITION DE L'ALÉA EN FONCTION DES HAUTEURS ET DES VITESSES D'EAU	41

Table des tableaux

TABLEAU 1: CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'ŒIL À LA CONFLUENCE AVEC L'AUMANCE.....	5
TABLEAU 2: DÉBITS ET COTES DE CRUE SUR L'ŒIL ET L'AUMANCE D'APRÈS L'ÉTUDE HYDROLOGIQUE DE SILÈNE (1992).....	8
TABLEAU 3: DÉBITS DE CRUE SUR L'ŒIL ET L'AUMANCE RETENUS APRÈS CALAGE DU MODÈLE HYDRAULIQUE DANS L'ÉTUDE DE SILÈNE (1992)	9
TABLEAU 4: STATISTIQUES DE PLUIES JOURNALIÈRES SUR LE BASSIN DE L'ŒIL	11
TABLEAU 5: CRUES DE L'ŒIL À MALICORNE > 15.9 M ³ /S ENTRE JANVIER 1973 ET MAI 2009 (PAR ORDRE CROISSANT DE DÉBIT INSTANTANÉ).....	12
TABLEAU 6: DÉBITS DE CRUE DE L'ŒIL À MALICORNE D'APRÈS L'AJUSTEMENT D'UNE LOI DE GUMBEL PAR LA MÉTHODE DU RENOUVELLEMENT SUR LA PÉRIODE 1969-2008.....	13
TABLEAU 7: DÉBITS DE CRUE POUR L'ŒIL À MALICORNE : 'AJUSTEMENT D'UNE LOI DE GUMBEL PAR LA MÉTHODE DU RENOUVELLEMENT + EXTRAPOLATION POUR T>10 ANS PAR LA MÉTHODE DU GRADEX.....	14
TABLEAU 8: DÉBITS DE CRUE RETENUS POUR L'ŒIL À MALICORNE : 'AJUSTEMENT D'UNE LOI DE GUMBEL PAR LA MÉTHODE DU RENOUVELLEMENT + EXTRAPOLATION POUR T>10 ANS PAR LA MÉTHODE DU GRADEX PROGRESSIF.....	15
TABLEAU 9: CRUES DE L'ŒIL À COSNE > 2.35 M ENTRE JANVIER 1994 ET JANVIER 2005 PUIS ENTRE JUIN 2008 ET MAI 2009 (PAR ORDRE CROISSANT DE COTE)	19
TABLEAU 10: DÉBITS DE CRUE DE L'ŒIL À COSNE D'APRÈS L'AJUSTEMENT D'UNE LOI DE GUMBEL PAR LA MÉTHODE DU RENOUVELLEMENT SUR LES DÉBITS CORRIGÉS	19
TABLEAU 11: DÉBITS DE CRUE POUR L'ŒIL À COSNE D'ALLIER : AJUSTEMENT D'UNE LOI DE GUMBEL PAR LA MÉTHODE DU RENOUVELLEMENT + EXTRAPOLATION POUR T>10 ANS PAR LA MÉTHODE DU GRADEX PROGRESSIF.....	20
TABLEAU 12: DÉBITS DE CRUE POUR L'ŒIL À COSNE D'ALLIER(398 KM ²) PAR SIMILITUDE À PARTIR DE LA STATION DE MALICORNE (126 KM ²)	21
TABLEAU 13: DÉBITS DE CRUE RETENUS POUR L'ŒIL À COSNE D'ALLIER(398 KM ²)	22
TABLEAU 14: DÉBITS ET PÉRIODE DE RETOUR DES 4 CRUES HISTORIQUES DE L'ŒIL CITÉES DANS L'ÉTUDE DE SILÈNE (1992).....	23
TABLEAU 15 : CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE D'ÉCOULEMENT	28
TABLEAU 16 : RÉSULTAT DE LA MODÉLISATION DE L'ŒIL POUR LA CRUE DÉCENNALE	36
TABLEAU 17 : : RÉSULTAT DE LA MODÉLISATION DE L'ŒIL POUR UNE CRUE TYPE 1940	37

1 INTRODUCTION

La Direction Départementale des Territoires de l'Allier a demandé au L.R.P.C de Clermont-Ferrand de réaliser la cartographie de l'aléa inondation sur la rivière l'Œil à Cosne d'Allier dans le même esprit que pour la réalisation de la même cartographie d'un Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI).

Les résultats de cette étude sont présentés sous la forme suivante :

- La première partie, le volet « hydrologie » définit, plus précisément actualise, le débit de référence
- Le second volet présente la modélisation hydraulique de la crue de référence croisée avec les informations de terrain
- La dernière partie concerne la cartographie de l'aléa inondation et les commentaires et recommandations associés.

La carte de la Figure 1 ci-après présente la localisation de la zone d'étude.

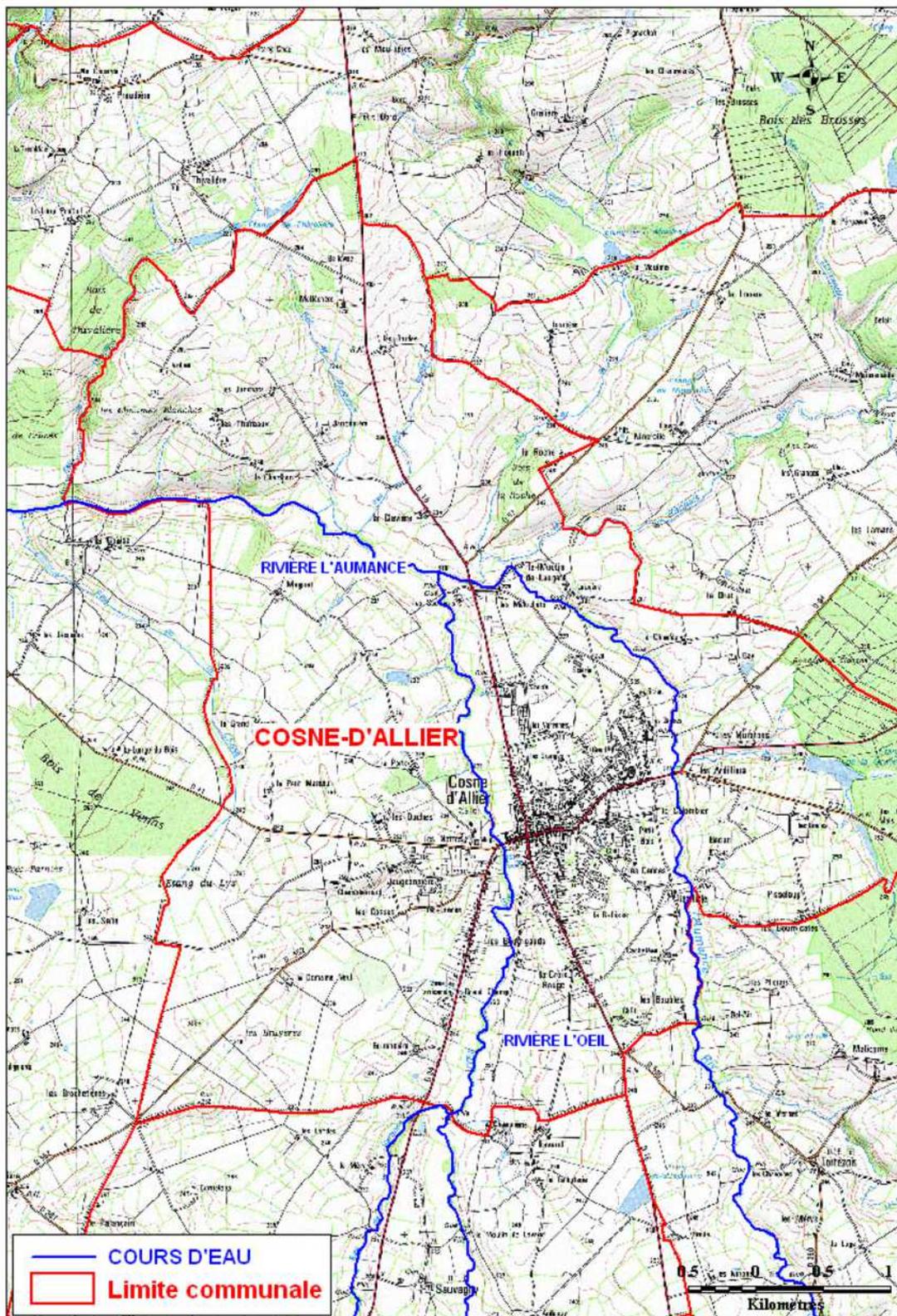


Figure 1: Localisation de la zone d'étude: l'Œil à Cosne d'Allier

2 PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'ŒIL

L'Œil est le principal affluent de rive gauche de l'Aumance (affluent droit du Cher, lui-même affluent de rive gauche de la Loire à Tours), qu'il rejoint à Cosne d'Allier, en limite aval de la zone étudiée. Son bassin versant, d'une superficie de 401 km² à la confluence, présente la particularité d'être 2.5 fois plus étendu que celui de l'Aumance, laquelle ne draine que 160 km² juste avant sa jonction avec l'Œil. Au total, le bassin de l'Œil représente environ 40% de la surface drainée par l'Aumance à son confluent avec le Cher à Meaulne (1000 km² environ). Le bassin de l'Œil se situe donc au Sud-Ouest du département de l'Allier en débordant légèrement à son extrémité Sud sur le département du Puy de Dôme. Il est orienté globalement Nord-Sud (voir la Figure 2 page 6). Le point culminant se situe à son extrémité Sud, à une altitude de 652 m environ sur les hauteurs de la forêt de Balaty, tandis que la source se trouve à 580 mètres et le confluent avec l'Aumance à 219 m.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques morphologiques du bassin versant :

Surface (km ²)	401
Longueur du cours d'eau (km)	45
Pente (m/m)	0.008

Tableau 1: caractéristiques du bassin versant de l'Œil à la confluence avec l'Aumance

La surface du bassin à la confluence est de 401 km². À l'amont immédiat de notre zone d'étude, la surface est plus faibles de quelques km².

Le ruisseau de la Thernille, avec un bassin versant de 130 km² est l'affluent le plus important (rive droite) de l'Œil. Les autres ruisseaux affluents, assez nombreux, sont de taille plus modeste. Le principal est le ruisseau de Varenne qui rejoint l'Œil en rive gauche juste en amont de Cosne d'Allier (voir Figure 2 page 6). Ces cours d'eau ont des bassins versants dont la taille varie de 4 à 12 km².

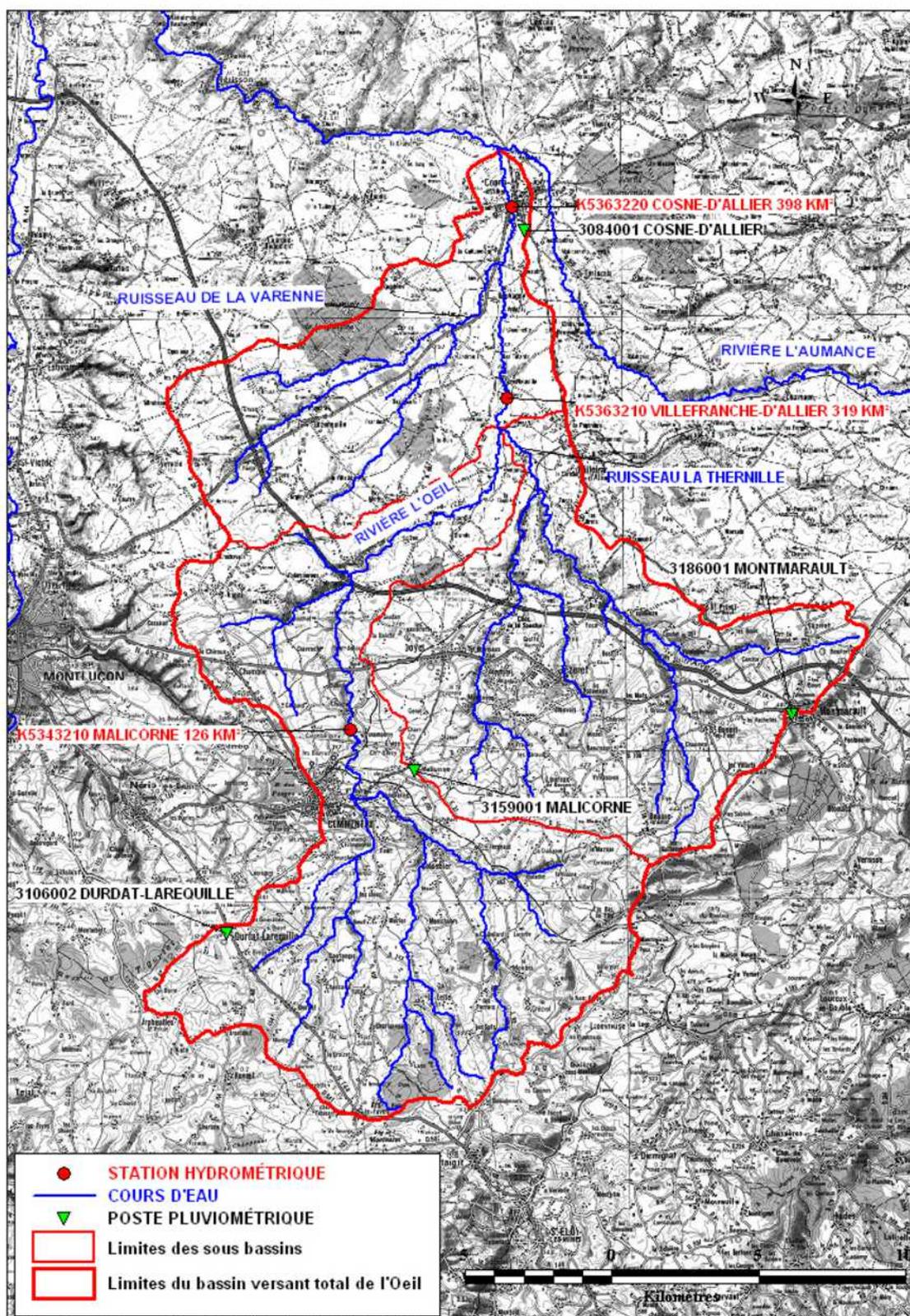


Figure 2: Bassin versant de l'Œil : réseau hydrographique et stations de mesure

3 HYDROLOGIE – ESTIMATION DES DÉBITS DE RÉFÉRENCE

L'étude hydrologique a pour but de définir le débit de la crue de référence, c'est à dire le débit de crue retenu pour la cartographie de l'aléa inondation. L'étude étant réalisée dans le même esprit que pour un PPRI, on retiendra l'événement de référence tel que défini par la circulaire du 24 janvier 1994, à savoir « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière. » Dans cette partie, il s'agit donc d'estimer le débit de fréquence centennale ainsi que le débit ayant engendré les plus hautes eaux connues. La comparaison de ces débits permettra de définir le débit de la crue de référence.

Nous procédons en 2 temps :

- Reprise et critique des résultats de l'étude Silène de 1992 ;
- Étude hydrométéorologique (estimation des débits par des ajustements statistiques et une prise en compte des pluies);

3.1 Étude Silène de 1992

Cette étude a été réalisée dans le but de cartographier les zones inondables de l'Œil et de l'Aumance

3.1.1 Travail sur les données observées

Pour ce qui est de l'hydrologie, un premier travail a été effectué sur les données hydrométriques disponibles (ajustements statistiques, corrections et corrélations entre échelles).

Sur l'Œil, les données étudiées (les seules disponibles à l'époque) ont été :

- Les données de débit sur la période 1969-1989 (21 ans) à Malicorne (Beaufrancon) ;
- Les cotes maximales annuelles relevées entre 1912 et 1989 à l'échelle de Cosne d'Allier.

Pour les débits à Malicorne (126 km²), un ajustement de Gumbel sur les maxima annuels (21 valeurs) a été réalisé, puis corrigé à partir de la chronique plus longue des hauteurs à Cosne par la méthode des courbes équifréquence.

Pour les cotes à Cosne, un changement des conditions de mesure, lié à la reconstruction du pont des Chèvres a amené une correction par rapport aux cotes antérieures (cotes plus fortes de 53 cm après 1968 pour un même débit) pour obtenir une série homogène. Sur cette série, un ajustement à une loi de Gauss (ou loi normale) a été effectué directement sur les hauteurs par Silène, bien que ce type de loi ne soit pas le plus adapté à l'étude statistique de maxima de crues.

Silène s'est également intéressé à la série de données sur l'Aumance à Hérisson, à l'aval de la confluence avec l'Œil.

Les résultats de ces ajustements sont présentés dans le Tableau 2 ci-après, de même que les débits issus de l'ajustement de Gumbel des débits de l'Aumance à Hérisson (Pont de la Roche), peu avant la confluence avec le Cher, entre 1910 et 1990.

Tableau 2: Débits et cotes de crue sur l'Œil et l'Aumance d'après l'étude hydrologique de Silène (1992)

Période de retour	L'Œil à Malicorne [Beaufrancon] (126 km ²) Débits (m ³ /s)	L'Œil à Cosne d'Allier (396 km ²) Cotes (m) à la nouvelle échelle (zéro = 223.70 m NGF)	L' Aumance à Hérisson [Pont de la Roche] (927 km ²) Débits (m ³ /s)
2 ans	18	2.70	108
10 ans	35	3.74	193
50 ans	45	4.33	267
100 ans	48	4.54	299

Les valeurs de cotes à Cosne d'Allier nous sont de relativement peu d'utilité en l'absence de connaissance de la loi hauteur-débit à cette échelle. On notera cependant la faible différence (21 cm) entre les cotes des crues cinquantennale et centennale, qui peut être du à la topographie très plate et à la largeur du lit majeur à proximité de la station.

Bien que calculé sur une série assez courte, le débit décennal à Malicorne n'apparaît pas incohérent, notamment au vu de nos propres calculs sur un échantillon plus étoffé (voir plus loin l'approche hydrométéorologique). Ramené par similitude hydrologique (multiplication par le rapport des surfaces des bassins à la puissance 0.8), cela donnerait 88 m³/s à Cosne d'Allier (au droit de la confluence avec l'Aumance).

En revanche, le débit centennal de 48 m³/s (121 m³/s à Cosne d'Allier par similitude) est apparemment sous estimé (il vaut à peine 1.33 fois le débit décennal), de même sans doute aussi que le débit cinquantennal. Ceci est tout à fait logique car la faible longueur de la chronique étudiée induit une très grande incertitude pour les périodes de retour en question.

Il pourrait également y avoir une sous estimation sur l'Aumance, quoique à un degré moindre et pour des raisons davantage d'ordre hydrométrique (station emportée à plusieurs reprises, loi hauteur débit assez mal connue pour les hauts débits...).

Il est par ailleurs curieux de constater qu'aucune approche du type de la méthode du gradex ou à l'aide de formules du type de Crupédix n'ait été employée, ce qui aurait pu appuyer le calcul par une prise en compte des pluies.

3.1.2 Rectification après calage du modèle hydraulique

Les débits présentés à l'issue de la partie « hydrologie » du rapport de Silène ne sont pas ceux qui ont été utilisés pour le tracé des zones inondables. En effet, avec les débits précédemment définis, en particulier ceux des crues historiques (1940, 1958, 1977, 1988...) d'après les cotes aux échelles et les courbes de tarage en vigueur, Silène a noté l'impossibilité de retrouver le niveau des laisses de crue avec des rugosités physiquement acceptables.

Le bureau d'étude a donc opté pour la démarche inverse : les débits des principales crues ont été retrouvés à partir des laisses et en fixant les coefficients de Strickler qui lui paraissaient réalistes. Pour l'Œil à Cosne d'Allier, les coefficients retenus par Silène ont été 28 à 30 en lit mineur et 15 à 20 en lit majeur. Avec ces valeurs, qui sont à notre avis trop élevées, compte tenu de la forte végétalisation des berges et du lit avec présence d'embâcles, les débits retenus ont alors été revus à la hausse (cf. Tableau 3 ci-dessous pour l'Œil à Cosne et l'Aumance à Meaulne.)

Tableau 3: Débits de crue sur l'Œil et l'Aumance retenus après calage du modèle hydraulique dans l'étude de Silène (1992)

Période de retour	L'Œil à Cosne d'Allier (396 km ²) Débits (m ³ /s)	L' Aumance à Meaulne (991 km ²) Débits (m ³ /s)
10 ans	210	410
30 ans	290	520
50 ans	330	630
100 ans	390	780

Le rapport du débit décennal au débit centennal apparaît plus cohérent (proche de 2). Par contre, pour les raisons que nous avons évoquées, les valeurs sont manifestement trop élevées, probablement environ d'un facteur 2, notamment pour le débit décennal et par rapport aux résultats donnés par application de la méthode de Crupedix (voir plus loin) ou par rapport aux autres cours d'eau de la région (notamment le bassin limitrophe de la Bouble à Chareil Cintrat : 120 m³/s pour 555 km² en crue décennale d'après la Banque HYDRO).

On note en effet une multiplication par un facteur 2.5 à 3.5 environ pour l'Œil par rapport aux débits précédents si on reprend les débits décennal et centennal à Cosne (88 et 121 m³/s respectivement) que nous avons estimés par similitude d'après les valeurs affichées par Silène à Malicorne.

En l'état, l'étude Silène ne nous permet de trancher sur les débits de référence. Compte tenu de la très probable sous-estimation des débits observés par les courbes de tarage et a contrario de leur surestimation par le calage du modèle hydraulique de Silène, les 2 estimations successives réalisées par ce bureau d'études nous donnent au mieux la fourchette dans laquelle doivent être compris les débits décennal et centennal :

- Pour Q10 : entre 88 et 210 m³/s
- Pour Q100 : entre 121 et 390 m³/s.

Quant à l'ajustement sur les hauteurs à Cosne, s'il s'affranchit de ce problème tout en se basant sur une chronique assez longue (1912-1989), la loi utilisée, à savoir la loi normale ou loi de Gauss, n'est pas bien adaptée à l'étude des maxima de crue. Les valeurs présentées par Silène sont donc à prendre avec précaution

L'étude hydrométéorologique (ci-après) doit par conséquent nous permettre de réexaminer la situation avec 17 ans de données supplémentaires, de vérifier ou non l'anomalie mise en évidence par Silène et de proposer en conséquence des estimations réalistes des débits de référence. L'ajustement des hauteurs de l'échelle de Cosne, malheureusement non directement convertibles en débit mais basé sur 77 années d'observation (1912-1989), aurait du nous permettre d'affiner la période de retour des crues historiques. Malheureusement, nous n'avons pu obtenir les observations de cette échelle.

3.2 Étude des données de pluies et débits

3.2.1 Stations hydrométriques et pluviométriques sur le bassin de l'Œil

3 stations débitmétriques, gérées par la DIREN Centre (Orléans) sont présentes sur l'Œil :

- À Malicorne, au lieu-dit Beaufrancon (station K5343210), à l'aval de Commentry et à environ 14 km en amont de la confluence avec la Thernille pour un bassin de 126 km². Cette station est en service depuis 1969 ;
- À Villefranche d'Allier, au lieu-dit Fouctière (station K5363210), à environ 1 km à l'aval de la confluence avec la Thernille pour un bassin de 219 km². Cette station a été en service entre 1992 et 2008;
- À Cosne d'Allier, (station K5363210), juste avant la confluence avec l'Aumance, pour un bassin de 398 km², soit quasiment la totalité ;. Cette station n'est en service pour la débitmétrie que depuis 2008, en remplacement de celle de Villefranche, jugée peu fiable par le gestionnaire. Cependant, l'étude Silène de 1992 mentionne l'existence d'une échelle de crue relevée par la DDE du Cher depuis 1912 et située au même endroit que la station actuelle, c'est à dire sur le pont de la RD 11 à Cosne. Nous n'avons pu nous procurer directement ces cotes et n'en connaissons que l'interprétation faite par Silène.

La DIREN Centre (service hydrométrie), actuel gestionnaire de ces stations, nous a indiqué que la station de Villefranche avait été arrêtée en 2008 et remplacée par celle de Cosne d'Allier en raison des difficultés pour y établir une courbe de tarage fiable, notamment s'agissant des forts débits. Étant donné cette incertitude et après avoir néanmoins examiné les données de débits, lesquelles ont révélé des valeurs en crue souvent inférieures aux débits amont de Malicorne malgré un bassin 3 fois plus vaste, nous n'avons donc pas considérée cette station de Villefranche par la suite.

Pour les 2 autres stations, la DIREN Centre nous a fourni les courbes de tarage et jaugeages effectués depuis 1994 à Malicorne et depuis 2008 à Cosne.

Par ailleurs, nous avons exploité via les méthodes de Crupedix et du Gradex les données des 4 postes pluviométriques situés sur le bassin:

- Durdatt-Larequille (03106002) ;
- Malicorne (03159001) ;
- Montmarault (03186001) ;
- Cosne d'Allier (03084001).

Les données statistiques utilisées pour ces postes figurent dans le Tableau 4 de la page suivante.

Tableau 4: Statistiques de pluies journalières sur le bassin de l'Œil

Statistiques de pluies journalières sur le bassin de l'Œil						
N°	Lieu	altitude (m)	Durée échantillon	PJ 10 ans (mm)	PJ 100 ans (mm)	Gradex (mm)
03084001	Cosne d'Allier	235	1929-2007	58.8	87.0	12.0
03106002	Durdats-Larequille	500	1963-2007	64.2	108.5	18.9
03159001	Malicorne	400	1953-2007	64.2	90.5	11.2
03186001	Montmarault	466	1938-2007	59.6	78.3	8.0
Œil amont à Beaufrancan : moyenne (Durdats, Malicorne)				64.2	99.5	15.0
Œil total à Cosne : moyenne 4 postes				61.7	91.1	12.5

3.2.2 Étude des crues de l'Œil à Malicorne (126 km²)

3.2.2.1 Commentaires sur la station

La station de Malicorne est située à l'amont du bassin ne contrôle que 126 km² ou 31.5% de la surface de 401 km² drainée par l'Œil à Cosne, à la confluence avec l'Aumance. Cette station est en service depuis 1969 mais les maxima instantanés de hauteur et de débit ne sont publiés dans la Banque Hydro que depuis 1973.

L'examen des courbes de tarage fournies par la DIREN Centre depuis 1994 montre peu de variations de ces dernières. Pour la période antérieure, le bureau d'étude Silène mentionnait l'utilisation d'une seule courbe de tarage depuis l'ouverture de la station jusqu'en 1991-1992, date de réalisation de l'étude Silène.

La loi hauteur-débit apparaît donc stable à Malicorne mais elle est cependant très mal connue a priori pour les forts débits. En effet, le plus fort débit jaugé depuis l'ouverture de la station a été de 13.9 m³/s pour une cote de 149 cm le 10 avril 2006, ordre de grandeur un peu inférieur à la crue biennale. L'extrapolation de la courbe de tarage est par conséquent importante et le débit des crues les plus fortes est entaché d'une grande marge d'erreur, avec une probable sous-estimation des valeurs.

3.2.2.2 Étude statistique des crues

Compte tenu des données disponibles, nous avons réalisé un ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode du renouvellement sur les maxima de crue enregistrés à Malicorne sur 36 ans et demi, entre janvier 1973 et mai 2009. Ceci nous a amenés à considérer 37 valeurs de crues supérieures à 15.9 m³/s (Tableau 5 page 12).

Tableau 5: Crues de l'Œil à Malicorne > 15.9 m³/s entre janvier 1973 et mai 2009 (par ordre croissant de débit instantané)

Date	Débit instantané maximal (QIX) en m ³ /s	Débit journalier maximal (QJX) en m ³ /s	Rapport QIX/QJX
7 octobre 1992	15.9	11.0	1.45
10 décembre 1976	16.0	7.2	2.23
20 novembre 1992	16.1	8.7	1.85
17 mars 1982	16.5	8.6	1.92
28 janvier 1973	16.7	10.7	1.56
17 août 1977	17.0	10.5	1.62
21 janvier 2004	17.0	14.1	1.21
14 décembre 1981	17.2	11.5	1.50
8 juin 2008	17.2	9.4	1.82
28 décembre 1999	17.3	11.0	1.57
15 mai 2001	17.7	9.1	1.95
21 avril 1983	18.2	8.0	2.29
10 juin 1992	18.2	8.9	2.05
30 avril 2001	19.1	13.6	1.40
21 mai 1983	19.2	14.3	1.34
10 juin 1977	19.4	11.3	1.72
3 novembre 1976	19.7	10.8	1.82
17 février 1985	19.7	15.1	1.30
6 décembre 1980	20.9	13.3	1.57
29 juin 1981	21.4	13.7	1.56
17 avril 1994	21.5	13.2	1.63
26 mai 1977	22.1	15.5	1.43
9 février 1999	23.6	12.5	1.89
31 juillet 1977	25.7	18.7	1.37
23 janvier 2005	26.3	15.8	1.66
12 mai 1981	26.7	17.8	1.50
8 mai 1985	28.2	14.4	1.96
26 avril 1998	28.8	20.2	1.43
24 décembre 1973	29.6	20.6	1.44
15 janvier 1981	30.2	15.6	1.94
8 août 1981	31.2	10.0	3.14
6 janvier 1982	31.7	17.4	1.82
18 mars 1988	31.7	25.5	1.24
5 novembre 1994	31.9	16.2	1.97
3 février 2003	32.9	17.8	1.85
5 mai 2001	33.8	15.7	2.15
17 mai 1988	50.9	33.1	1.54

Cet ajustement, dont une représentation graphique est donnée à la Figure 3 page 15, nous donne les débits instantanés du Tableau 6 ci-après.

Tableau 6: Débits de crue de l'Œil à Malicorne d'après l'ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode du renouvellement sur la période 1969-2008

Période de retour	Débit instantané à Malicorne [Beaufrancon] (m3/s)
2 ans	19
5 ans	27
10 ans	33
20 ans	38
30 ans	42
50 ans	45
100 ans	51

On retrouve à très peu de choses près les mêmes valeurs que l'ajustement réalisé par Silène avec une chronique environ 2 fois plus courte.

Par ailleurs, la longueur de la chronique de 36 ans et demi dont nous disposons permettrait théoriquement de considérer les valeurs comme représentatives jusque vers une période de retour de 73 ans environ (2 fois la longueur de la chronique). En fait, les 37 crues considérées pour l'ajustement sont toutes plus fortes que le maximum jaugé (149 cm ou 13.4 m3/s). Les valeurs de débit correspondantes sont donc entachées d'une marge d'erreur d'autant plus importante, a priori dans le sens d'une sous-estimation, que la cote s'écarte de ce plus fort jaugeage.

Les débits de forte période de retour (>10 ans), en particulier le débit centennal, sont donc certainement trop faibles par rapport à la réalité.

Pour le débit décennal, nous avons testé sa validité en le comparant à celui issu de la méthode de Crupédix.

➤ **Vérification du débit décennal par la méthode de Crupédix**

Pour une surface S de bassin (S = 126 km² pour l'Œil à Malicorne), une pluie journalière de bassin décennale P et un coefficient régional R (égal à 1 pour la région considérée ici), la méthode de Crupédix donne le débit de pointe décennal Q_{i,10} de la manière suivante:

$$Q_{i,10} = R * S^{0.8} * \left(\frac{P}{80}\right)^2$$

Pour l'application de cette formule à Malicorne nous avons eu recours aux statistiques pluviométriques extraites de la Cimathèque de Météo France (Tableau 4). P a ainsi été pris égal à la moyenne des pluies décennales des 2 postes situés sur le bassin de l'Œil au niveau de Beaufrancon : Durdar-Larequille et Malicorne.

Le débit décennal résultant est de 30.8 m3/s (avec un intervalle de confiance à 70% de 20.5 à 46.2 m3/s), c'est à dire une valeur identique à très peu de choses près à la valeur de 33 m3/s issue de l'ajustement statistique.

Le débit décennal issu de l'ajustement ainsi que la partie de ce dernier pour les périodes de retour inférieures à 10 ans apparaissent assez fiables et seront donc retenus.

Compte tenu des remarques précédentes quant à la marge d'erreur des débits les plus forts, nous avons en revanche extrapolé la distribution statistique des crues au-delà de la période de retour 10 ans par la méthode du gradex. Cette méthode classique d'extrapolation des crues se base sur l'hypothèse selon laquelle au-delà d'un certain cumul de pluie, toute précipitation ruisselle. Il en résulte que pour événements les plus forts, la pente de la distribution statistique des débits devient égale à celle de la distribution des pluies (le « gradex » des pluies).

➤ **Extrapolation de la distribution statistique des crues pour T>10 ans par la méthode du gradex**

De la même façon que pour la méthode de Crupédix, nous avons considéré la moyenne des pluies à Durdats-Larequille et Malicorne

Les pluies sont identiques sur les 2 postes pour la période de retour 10 ans. Pour la période de retour 100 ans, on noterait un léger gradient amont aval. Cependant la valeur de ce quantile peut être influencée par la longueur de la chronique, plus importante à Malicorne.

Mais au final, les valeurs sont tout à fait cohérentes pour la région considérée, tant pour la période de retour 10 ans que pour la période de retour 100 ans et le gradex des pluies journalières résultant.

Le gradex des pluies journalières est ainsi de 15.0 mm, soit un gradex des débits journaliers de 21.9 m³/s compte tenu de la surface du bassin. En appliquant le rapport moyen de 1.72 constaté entre les débits instantanés et journaliers sur les 37 plus fortes crues, nous avons finalement un gradex des débits instantanés de 37.7 m³/s.

Tout en conservant l'ajustement précédent sur les débits observés jusqu'à la période de retour de 10 ans, nous avons ensuite appliqué la méthode du gradex pour les périodes de retour supérieures à 10 ans, dans sa variante « brutale » (passage sans transition à une pente de distribution égale au gradex des pluies) et « progressive », dite également du « Gradex Esthétique » (Cemagref, 1982), avec une augmentation progressive de la pente de la distribution statistique des débits jusqu'à rejoindre celle déduite du gradex des pluies.

Les résultats obtenus sont dans le Tableau 7 et la Figure 3 ci-après.

Tableau 7: Débits de crue pour l'Œil à Malicorne : 'ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode du renouvellement + extrapolation pour T>10 ans par la méthode du Gradex

Période de retour (T)	Débit instantané à Malicorne (m ³ /s) Gradex brutal	Débit instantané à Malicorne (m ³ /s) Gradex progressif
2 ans	19	19
5 ans	27	27
10 ans	33	33
20 ans	60	40
30 ans	76	46
50 ans	95	55
100 ans	122	72

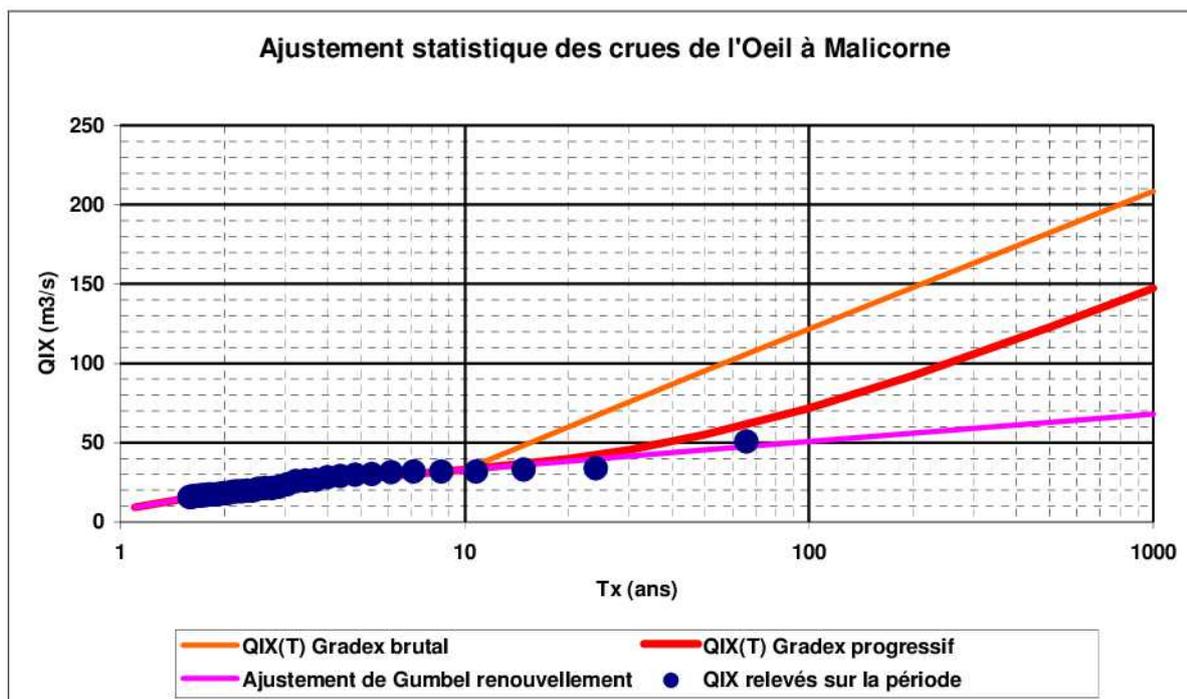


Figure 3 : Ajustement statistique des crues de l'Œil à Malicorne

Le débit centennal ainsi trouvé à Malicorne vaut 72 m³/s dans la variante « progressive » et 122 m³/s dans la variante « brutale ». Cette dernière valeur de 122 m³/s ou 0.98 m³/s/km² implique un rapport de 3.70 par rapport au débit décennal, ce qui nous paraît fort dans la région considérée et pour cette taille de bassin (126 km²). La valeur de 72 m³/s ou 0.56 m³/s/km² conduit à un rapport de 2.18 et semble donc plus acceptable.

L'extrapolation par la variante « progressive » étant par ailleurs plus réaliste dans son principe que la variante « brutale », c'est donc elle que nous retiendrons donc de préférence.

Tableau 8: Débits de crue retenus pour l'Œil à Malicorne : 'ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode du renouvellement + extrapolation pour $T > 10$ ans par la méthode du Gradex progressif

Période de retour (T)	Débit instantané retenu à Malicorne (m ³ /s) (Gradex progressif)
2 ans	19
5 ans	27
10 ans	33
20 ans	40
30 ans	46
50 ans	55
100 ans	72

De ce fait, la crue la plus forte enregistrée sur l'Œil amont à Malicorne depuis 1969, celle du 17 mai 1988 estimée à 50.9 m³/s d'après la courbe de tarage alors en vigueur, aurait une période de retour d'environ 40 ans. Compte tenu de la sous-estimation probable des forts

débites à la station de Malicorne, son débit doit être un peu supérieur que celui affiché dans la Banque Hydro.

Nous pensons donc que la période de retour de cette crue du 17 mai 1988 sur l' Œil amont à Malicorne est supérieure à 40 ans et sans doute comprise entre 50 et 100 ans.

Dans le même temps, on dénombre 5 crues proches de la décennale en janvier 1982, mars 1988, novembre 1994, février 2003 et mai 2001. Tout ceci semble cohérent s'agissant d'une période d'observation d'environ 40 ans.

3.2.3 Étude des crues de l'Œil à Cosne d'Allier

À Cosne d'Allier, suivant que l'on se place à la confluence avec l'Aumance ou au niveau de la station hydrométrique (pont de la RD11 au centre ville), la surface du bassin vaut respectivement 401 km² ou 398 km². Vu la faible différence (moins de 1%), nous conserverons dans les calculs suivants la valeur de 398 km² à la station de Cosne.

3.2.3.1 Commentaires sur la station

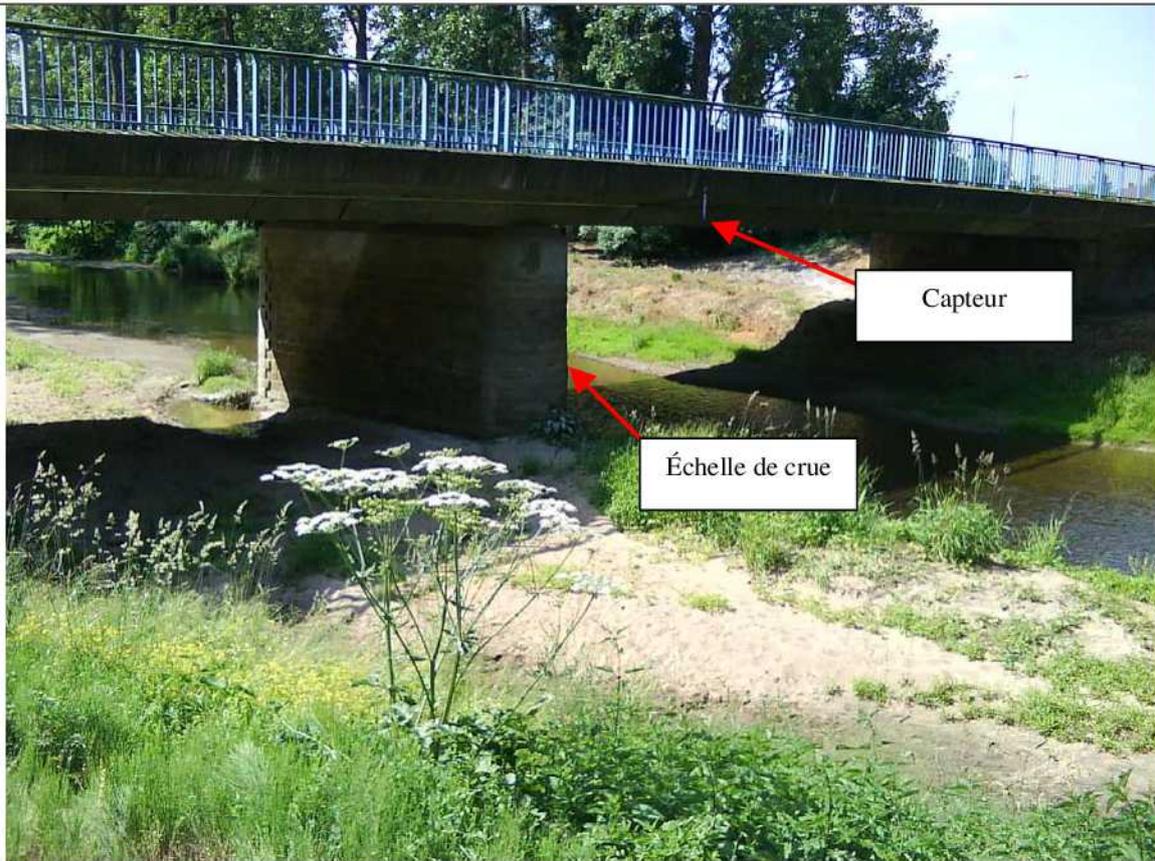
La station de Cosne d'Allier est une station récente, jaugée seulement depuis 2008 par la DIREN Centre en remplacement de celle de Villefranche, peu fiable en raison de l'instabilité de la loi hauteur débit.

La station hydrométrique actuelle est implantée au pont de la RD 11 au centre de Cosne d'Allier. Elle comporte une échelle sur la face aval d'une des piles du pont, ainsi qu'un capteur de niveau sans contact avec l'eau sur la face aval du tablier (voir Figure 4).

Cet emplacement est aussi celui de l'échelle historique. Les hauteurs d'eau des crues sont relevées à cette échelle depuis 1912. Le bureau d'étude Silène a ainsi travaillé en 1991 sur les relevés de la période 1912-1989 que lui avait fourni la DDE du Cher. Pour notre part, nous n'avons malheureusement pas pu nous procurer ces relevés et n'en connaissons que les éléments cités par Silène dans son rapport d'étude. En revanche, nous avons disposé des cotes des crues relevées entre 1994 et 2005 fournies par la DIREN Centre, puis depuis 2008 (Banque Hydro).

Pour ce qui est de la loi hauteur-débit, nous avons disposé des jaugeages effectués depuis 2008 et de la courbe de tarage résultante, fournis par la DIREN Centre. Nous savons également, d'après Silène et les témoignages d'habitants recueillis lors de notre visite sur le terrain, que les conditions d'écoulement ont été localement modifiées au niveau de la station vers 1968 (reconstruction du pont, démolition d'un barrage à aiguilles situé juste à l'aval et effacé en temps de crue). Depuis cette date, le zéro de l'échelle est fixé à 223.70 m. Malgré la correction de 53 cm apportée par Silène, il est probable que les cotes indiquées pour les crues antérieures à cette année 1968 ne correspondent pas exactement aux conditions d'écoulement actuelles aux abords immédiats du pont pour des débits identiques.

Par contre depuis 1968 et comme à Malicorne, la loi hauteur-débit doit être restée quasiment la même, notamment pour les fortes valeurs de débit. Hélas, la station n'étant jaugée que depuis peu, le débit maximum jaugé (17.7 m³/s le 25 janvier 2009 pour 161 cm à l'échelle) est en proportion de la surface drainée encore moins important qu'à Malicorne, d'où à Cosne une sous-estimation probable encore plus grande des forts débits par la courbe de tarage.



Face aval du pont de la RD11 à Cosne d'Allier : situation du capteur et de l'échelle de mesure



Face aval du pont de la RD11 à Cosne d'Allier : échelle de mesure

Figure 4: Station de Cosne d'Allier sur l'Œil

3.2.3.2 Évaluation des débits de crue Cosne d'Allier

Entre janvier 1994 et janvier 2005 inclus, puis entre juin 2008 et mai 2009, donc sur 12 ans, nous avons relevé à Cosne 12 crues supérieures à 2.35 m (voir Tableau 9)

Hors de cette période, on relève également les 4 fortes crues de mai 1940, mai 1958, mai 1988 et mai 1977 par ordre d'importance (voir plus loin sur les crues historiques).

Compte tenu des changements de conditions d'écoulement intervenues vers 1968, seules les cotes des crues de 1977 et 1988 sont connues avec certitude. Les cotes à l'échelle sont ainsi respectivement de 3.70 m pour le 26 mai 1977 et 4.00 m pour le 17 mai 1988.

Avec la courbe de tarage fournie par la DIREN Centre, les débits de ces 2 crues seraient les suivants :

- 26 mai 1977 : 76.2 m³/s ;
- 17 mai 1988 : 88.5 m³/s.

Or, en voulant caler le modèle hydraulique utilisé pour le calcul des lignes d'eau et des vitesses dans la suite de l'étude, nous nous sommes rendu compte, comme Silène, que de tels débits ne nous permettaient pas de rejoindre les laisses constatées lors de ces crues à moins d'utiliser des valeurs de rugosité trop faibles (voire nulles pour le lit majeur) et donc irréalistes, même en tenant compte de la forte végétalisation des berges. Les conditions d'écoulement ayant a priori peu changé depuis 1988, ce que nous supposons fortement un peu plus haut dans ce rapport se trouve donc confirmé : la courbe de tarage actuelle sous estime très nettement les forts débits.

Nous avons donc déterminé les rugosités du modèle en tenant compte de la seule donnée fiable que nous avons pour un débit un tant soit peu élevé : le jaugeage du 25 janvier 2009 (17.7 m³/s pour 1.61 m à l'échelle). Nous avons alors trouvé des coefficients de Strickler beaucoup plus cohérents avec le type de cours d'eau, compte tenu de la ripisylve assez dense et de la présence d'arbres tombés à certains endroits du lit : 23 en lit mineur, 5 à 10 en lit majeur suivant les secteurs.

Avec ces valeurs de rugosités, les laisses sont les mieux reproduites (en particulier la laisse que constitue la cote au pont) pour les débits suivants :

- 26 mai 1977 : 135 m³/s ;
- 17 mai 1988 : 173 m³/s.

Le modèle nous a également permis d'évaluer le débit des 12 plus fortes crues d'après leur cote atteinte à l'échelle du pont. Nous avons alors pu vérifier pour la crue du 5 mai 2001 que le débit alors déduit nous permettait de bien coller à une laisse de crue relevée sur le terrain en amont du village.

Tableau 9: Crues de l'Œil à Cosne > 2.35 m entre janvier 1994 et janvier 2005 puis entre juin 2008 et mai 2009 (par ordre croissant de cote)

Date	Cote échelle de Cosne en m/s	Débit d'après courbe de tarage DIREN Centre en m3/s	Débit retenu (corrigé d'après la modélisation hydraulique) en m3/s
21 février 1999	2.35	32.8	42.1
28 décembre 1999	2.40	34.0	44.2
18 janvier 2004	2.52	37.2	49.2
21 janvier 2004	2.60	39.4	52.7
23 janvier 2005	2.72	42.2	58.2
12 avril 1994	2.80	45.1	62.2
15 mai 2001	2.80	45.1	62.2
30 avril 2001	3.00	51.3	73.8
4 février 2003	3.20	57.8	87.7
27 avril 1998	3.30	61.3	95.8
5 mai 2001	3.40	64.8	105
5 novembre 1994	3.50	68.5	115

3.2.3.3 Étude statistique des crues de l'Œil à Cosne

Nous avons mené une tentative d'étoffement de l'échantillon de crues à Cosne d'après les valeurs relevées à Malicorne depuis 1972. cette tentative s'est révélée infructueuse en raison de la corrélation médiocre entre les 2 stations, ce qui était prévisible étant donné le rapport important des surfaces de bassin.

Nous nous sommes donc contentés à regret de la seule période de 12 ans disponible et, nous avons effectué un ajustement statistique par la méthode du renouvellement sur les 12 plus fortes crues relevées dans cette période (voir Tableau 9 et Tableau 10).

Tableau 10: Débits de crue de l'Œil à Cosne d'après l'ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode du renouvellement sur les débits corrigés

Période de retour	Débit instantané à Cosne] (m3/s)
2 ans	53
5 ans	85
10 ans	107
20 ans	127
30 ans	139
50 ans	154
100 ans	174

Étant donné la faible durée de la chronique (12 ans), cet ajustement présente une forte marge d'erreur pour les périodes de retour supérieures à 20 ans.

Comme pour Malicorne et pour les mêmes raisons, nous avons donc complété cet ajustement par une extrapolation par la méthode du gradex progressif pour les périodes de retour supérieures à 10 ans. Les données utilisées ont été celles des pluies journalières des 4 postes du bassin (voir Tableau 4 page 11) et un rapport de pointe de 1.30 (débit instantané/débit journalier), évalué d'après le ratio constaté sur la crue de janvier 2009 : cette crue est en effet représentative de ce rapport moyen à la station amont de Malicorne, donc

certainement aussi à Cosne. Quoiqu'il en soit, le ratio trouvé de 1.30 cadre bien avec la taille déjà importante du bassin (400 km²).

Les résultats de cette extrapolation sont présentés sur la Figure 5 et dans le Tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11: Débits de crue pour l'Œil à Cosne d'Allier : ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode du renouvellement + extrapolation pour T>10 ans par la méthode du Gradex progressif

Période de retour (T)	Débit instantané retenu à Malicorne (m3/s) (Gradex progressif)
2 ans	53
5 ans	85
10 ans	107
20 ans	131
30 ans	149
50 ans	176
100 ans	218

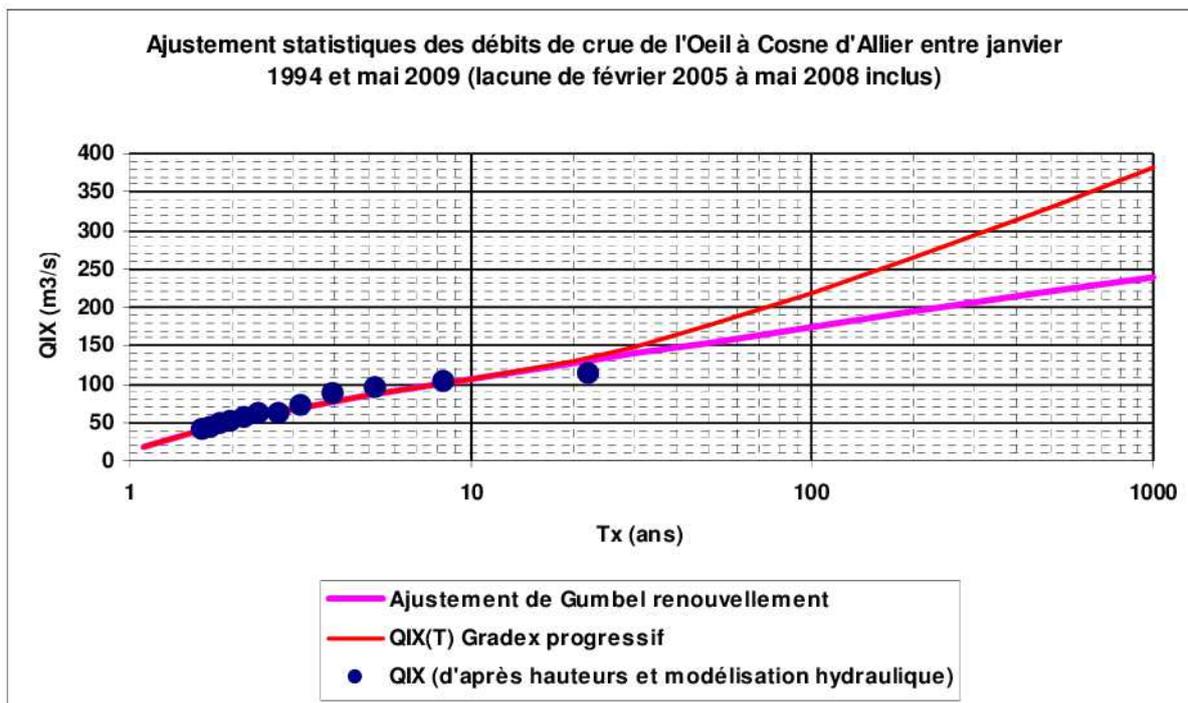


Figure 5: Ajustement statistique des crues à Cosne d'Allier

Le débit centennal trouvé vaut ainsi 218 m3/s ou 0.55 m3/s/km² et le ratio Q100/Q10 est donc de 2.04, ce qui est normal pour un bassin de cette taille dans la région considérée.

À ce stade nous retenons donc les débits du Tableau 11, que nous allons à présent confronter aux valeurs déduites par similitude depuis la station amont de Malicorne et de la méthode de Crupedix pour le débit décennal.

3.2.3.4 Comparaison aux valeurs déduites par similitude hydrologique à partir de la station de Malicorne et par la méthode Crupedix

➤ **Similitude hydrologique à partir de la station amont de Malicorne**

Le débit instantané maximal de période de retour donnée T, noté $Q_{\text{Cosne}}(T)$, a été déduit de celui retenu pour Malicorne ($Q_{\text{Malicorne}}(T)$) par une similitude hydrologique usuelle, c'est à dire en multipliant $Q_{\text{Malicorne}}(T)$ par le rapport des surfaces des 2 bassins à la puissance 0.8, soit $(398/126)^{0.8}$ ou encore 2.51.

De la sorte, on obtient les débits du Tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12: Débits de crue pour l'Œil à Cosne d'Allier(398 km²) par similitude à partir de la station de Malicorne (126 km²)

Période de retour (T)	Débit instantané à Cosne d'Allier (m3/s)
2 ans	48
5 ans	68
10 ans	83
20 ans	100
30 ans	115
50 ans	138
100 ans	181

➤ **Débit décennal par la méthode de Crupedix**

La formule utilisée est la même que pour Malicorne (paragraphe 3.2.2.2). Seules changent la surface du bassin ($S = 398 \text{ km}^2$ pour Cosne) et la pluie décennale ($P = 61.7 \text{ mm}$, moyenne des 4 postes du bassin de l'Œil, voir le Tableau 4 page 11).

On trouve alors 71.5 m3/s (avec un intervalle de confiance à 70% de 47.7 à 107 m3/s)

➤ **Comparaison des différentes estimations de débit à Cosne d'Allier**

Les débits de crue retenus après ajustement statistique à Cosne sont un peu supérieurs (de l'ordre de 10 à 30% suivant la période de retour) à ceux issus de la similitude depuis Malicorne, lesquels souffrent sans doute d'une légère sous-estimation compte tenu de la forte extrapolation de la courbe de tarage. Si celle-ci était bien connue à Malicorne, les débits calculés pour Cosne par similitude depuis cette station seraient donc certainement beaucoup plus proches des valeurs issues directement de l'ajustement statistique des crues.

Par conséquent, ceci confirme l'ajustement statistique et son extrapolation par la méthode du gradex.

Quant au débit décennal donné par la méthode de Crupedix, il est plus significativement différent de la valeur ajustée et plus proche de la valeur obtenue par similitude depuis Malicorne. Cependant, la méthode de Crupedix est entachée par nature d'une marge d'erreur non négligeable, qu'illustre la largeur de l'intervalle de confiance à

70%. Si on considère ce dernier, on constate que le débit décennal issu de l'ajustement statistique (107 m³/s) coïncide avec la borne supérieure et n'est donc nullement incohérent.

3.2.3.5 Débits de crue retenus pour l'Œil à Cosne d'Allier (398 km²)

De ce qui précède, nous retiendrons donc les débits issus de l'ajustement statistique complété par une extrapolation par la méthode du gradex.

Nous rappelons ces débits dans le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13: Débits de crue retenus pour l'Œil à Cosne d'Allier(398 km²)

Période de retour (T)	Débit instantané à Cosne d'Allier (m ³ /s)
2 ans	53
5 ans	85
10 ans	107
20 ans	131
30 ans	149
50 ans	176
100 ans	218

Ces débits sont plus faibles que ceux retenus par Silène mais nous avons vu au paragraphe 3.1.2 que le bureau d'étude avait probablement choisi des valeurs de coefficients de Strickler un peu fortes.

3.3 Crues historiques

L'étude Silène de 1992 cite comme plus fortes crues et par ordre d'importance à Cosne les événements suivants:

- **4 Mai 1940** : la hauteur relevée à l'ancienne échelle était de 3.30 m, ou 3.83 m d'après une première correction de 53 cm d'après Silène, mais après modélisation hydraulique, le bureau d'étude a revu la cote à 4.43 m. D'après cette dernière cote comme d'après les laisses de crue disponibles, cette crue est d'assez loin la plus forte connue avec certitude à Cosne
- **17 Mai 1988** :Cote (nouvelle échelle) de 4.00 m;
- **25 Mai 1958** : la hauteur relevée à l'ancienne échelle était de 3.40 m soit une cote de 3.93 m à l'échelle actuelle) après correction par Silène;
- **26 Mai 1977** : Cote (nouvelle échelle) de 3.70 m;

Aucune des crues de la période récente (depuis 1994) n'a dépassé ces valeurs. Seules les crues des 5 novembre 1994 (3.50 m), 5 mai 2001 (3.40 m) et 27 avril 1998 (3.30 m) s'en approchent assez près. Pour ces crues, les débits déjà mentionnés dans le Tableau 9 page 19, sont respectivement de 115 m³/s, 105 m³/s et 96 m³/s.

Pour les crues postérieures à 1968, les conditions d'écoulement ont a priori peu changé sur l'ensemble du linéaire, ce que confirme la bonne concordance entre les laisses de crue disponibles et la cote relevée au pont dans la modélisation hydraulique. Pour les crues de 1958 et 1940, les conditions d'écoulement devaient être similaires partout sauf à proximité immédiate du pont. Ainsi, la cote au pont, même corrigée de 53 cm est plus discordante avec les laisses de crue constatées ailleurs, notamment le 4 mai 1940. cependant, en raison de son ampleur, il est probable que le vrai maximum de la crue n'a pu être relevé, tous les accès à l'échelle étant alors noyés sous d'assez fortes hauteurs d'eau.

Enfin, d'après les laisses relevées et contrairement à la cote relevée au pont, la crue de 1958 serait légèrement plus forte que celle de 1988.

Les débits et cotes au pont ne sont donc pas connues directement avec suffisamment de certitude, surtout pour les événements antérieurs à 1968. Pour les définir, il a donc été nécessaire de recourir à des modélisations des écoulements de ces crues dans les conditions actuelles, en tenant compte de l'ensemble des laisses de crue disponibles. Cette démarche est expliquée plus avant dans le rapport et donne les estimations suivantes pour les 4 crues historiques les plus fortes :

- **4 Mai 1940** : 240 m³/s pour 4.48 m (proche des 4.43 m de la modélisation de Silène)
- **25 Mai 1958** : 180 m³/s pour 4.06 m (cote effectivement un peu supérieure aux 3.93 m corrigés donnés par Silène);
- **17 Mai 1988** : 173 m³/s pour 4.00 m (identique à la cote relevée);
- **26 Mai 1977** : 135 m³/s pour 3.70 m (identique à la cote relevée).

Les crues de 1977 et 1988 ont également été relevées à Malicorne.

D'après les quantiles de débit de crue retenus à Malicorne et Cosne d'Allier, on obtient les périodes de retour du Tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14: Débits et période de retour des 4 crues historiques de l'Œil citées dans l'étude de Silène (1992)

Période de retour	L'Œil à Malicorne (126 km ²) Débits (m ³ /s) et périodes de retour	L'Œil à Cosne d'Allier (398 km ²) Débits (m ³ /s) et périodes de retour
4 mai 1940	NC	240 – T=140 ans
25 mai 1958	NC	180 – T=50 à 60 ans
17 mai 1988	50.9 – T=40 ans	173 – T=40 à 50 ans
26 mai 1977	22.1 – T=3 ans	135 – T=20 ans

On peut noter que pour la crue de mai 1977, la période de retour passerait de 3 à 20 ans vers l'aval. Le comportement du bassin intermédiaire entre Malicorne et Cosne, plus septentrional, est tout à fait cohérent avec le bassin limitrophe et lui-aussi plus septentrional de l'Aumance à Cosne avant la confluence. Si on en croit Silène, la crue de mai 1977 y est en effet comparativement bien plus forte (T=35 ans) que sur le bassin de l'Œil amont. La crue de

ce dernier s'est donc renforcée vers l'aval pour atteindre une période de retour de 20 ans à Cosne.

Au contraire, la crue de mai 1988 présente une période de retour comparable, de l'ordre de 40 à 50 ans sur tout le linéaire de l'Œil. Contrairement à ce qu'indique l'ajustement des débits à Malicorne et comme nous l'avons déjà remarqué au paragraphe 3.2.2.2, il se peut même que la période de retour de Malicorne ait même été un peu supérieure à celle de Cosne d'Allier. Ceci serait logique car cette crue a été quasi-exclusivement une crue de l'Œil. L'Aumance étant très peu montée en amont, le bassin inférieur de l'Œil, limitrophe, n'a donc pas du contribuer plus que la partie supérieure.

Pour ce qui est des crues récentes de 1994, 2001 et 1998, leurs périodes de retour est comprise entre 5 et 15 ans. La crue du 5 mai 2001, est même à quelques m³/s près l'exemple parfait d'une crue décennale, tant sur l'Œil que sur l'Aumance à l'aval de la confluence d'après les débits relevés à Hérisson.

Enfin, la crue du 4 mai 1940 présente une période de retour de l'ordre de 140 ans, ce qui apparaît cohérent puisqu'il s'agit de la plus forte crue depuis au moins 1912 (donc depuis 97 ans). En 1992, Silene indiquait néanmoins une période de retour de « seulement » 80 ans, mais en se basant sur un ajustement sur des hauteurs utilisant une loi statistique inadaptée à l'étude des extrêmes, comme nous l'avons déjà dit.

Nous retenons donc la période de retour de 140 ans pour la crue du 4 mai 1940. Par conséquent, comme nous nous plaçons dans les mêmes conditions que pour l'élaboration d'un PPRI, cette crue de 1940 sera considérée comme la crue de référence avec un débit de 240 m³/s à Cosne d'Allier.

4 CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES ET DE L'ALÉA

La cartographie passe par les étapes suivantes :

- 1) Construction d'un modèle numérique des écoulements ;
- 2) Calage de ce modèle avec les informations recueillies sur le terrain ;
- 3) Estimation des caractéristiques des écoulements pour la crue de référence, ainsi que pour les crues quinquennales et décennales ;
- 4) Croisement de la surface du terrain naturel avec la surface de l'eau pour définir les limites du champs d'inondation et son zonage en fonction de la hauteur d'eau de la vitesse des écoulements, puis, par croisement de ces caractéristiques, de l'aléa inondation.

4.1 Informations historiques

La mairie de Cosne d'Allier a été contactée par téléphone puis par courrier daté du 3/06/2009. La mairie nous a informé que les seules informations à sa disposition étaient contenues dans l'étude Silène de 1992.

Cette étude fournit une dizaine de laisses.

Nous avons complété ces laisses par une étude de terrain. A cet effet, nous avons interrogé les riverains. Ainsi nous avons pu avoir des informations sur l'ensemble du linéaire.

Les laisses de crues sont présentées Figure 6.

Les fiches de ces laisses figurent en annexe 1.

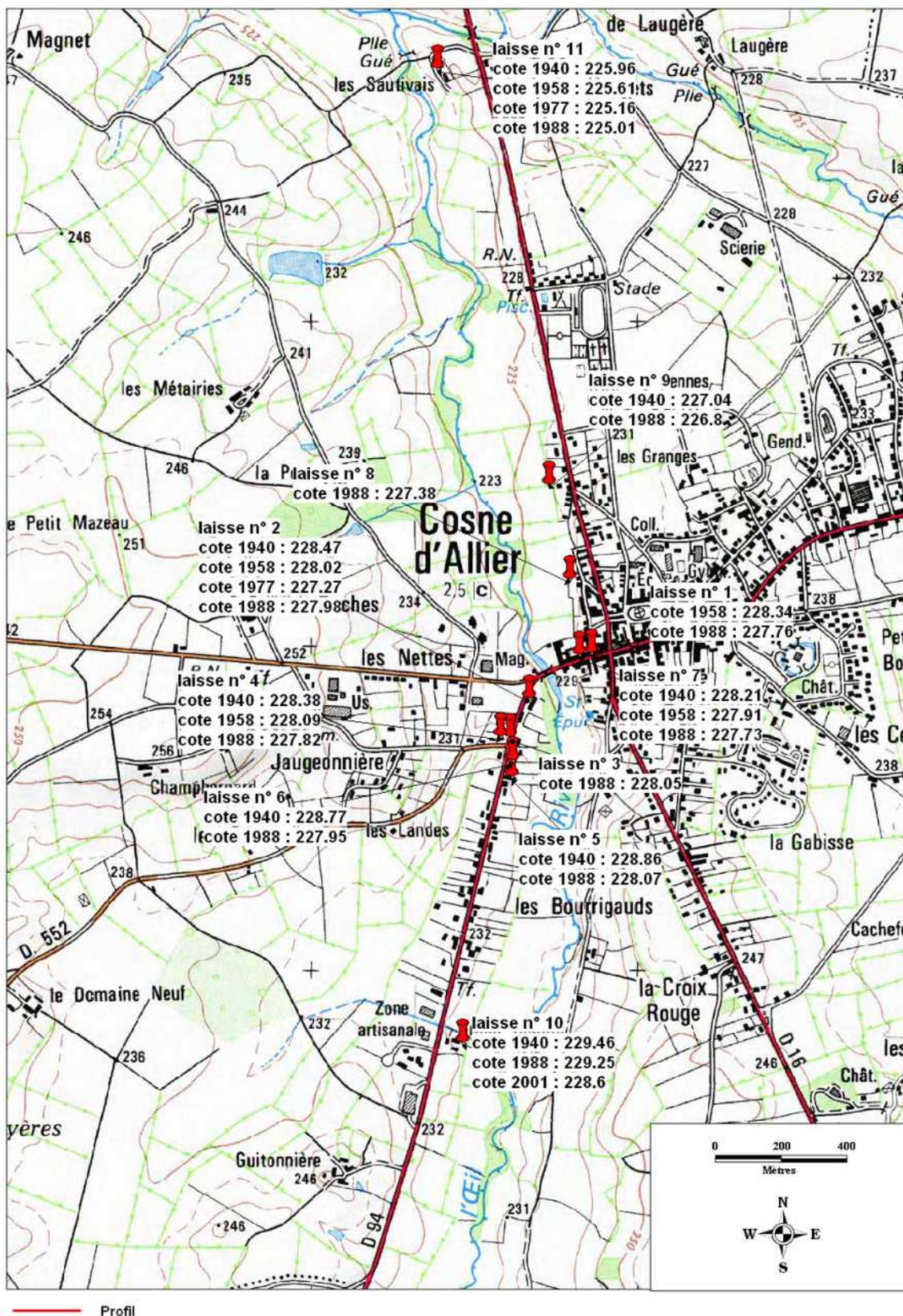


Figure 6 : carte de positionnement des laisses de crues

4.2 La modélisation

4.2.1 *Le code de calcul HEC-RAS*

Hec-ras est un code de calcul qui comprend trois modules permettant d'analyser les écoulements mono dimensionnels. Ce code est développé par US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Ici, seul le module permettant l'estimation des lignes d'eau en régime permanent pour des écoulements graduellement variés est utilisé. Il peut modéliser soit une rivière seule, soit éventuellement un réseau ramifié de cours d'eau.

L'équation mono dimensionnelle des écoulements graduellement variés représentant la variation d'énergie entre deux sections d'écoulement est résolue. Les pertes d'énergie par frottements et par contraction/expansion sont prises en compte entre les sections de calculs. Les pertes d'énergie par frottement sont estimées par le modèle de Manning. Les pertes d'énergie par contraction/expansion sont estimées en fonction des modifications des vitesses moyennes dans les sections.

Pour la prise en compte des singularités des écoulements, où l'hypothèse d'écoulement graduellement varié est mise en défaut, le code prend en compte l'équation des moments. Ceci permet donc de tenir compte des ouvrages de franchissements (ponts et buses), des seuils, des confluences, et également du ressaut hydraulique lorsque l'écoulement change de régime (subcritique ou fluvial à supercritique ou torrentiel). Il est donc possible d'estimer des lignes d'eau pour les deux types de régimes.

La rivière est représentée par une succession de profils en travers de la zone d'écoulement, et par les profils des ouvrages (ponts, seuils ou buses). Pour chaque profil, on peut définir trois coefficients de rugosité (coefficients de Manning Strickler, pour le lit mineur, et pour les lits majeurs rive droite et rive gauche) permettant l'estimation des pertes de charge par frottements entre les sections. Au droit des ouvrages, différents coefficients de pertes de charge peuvent également être définis. Ce sont l'ensemble de ces coefficients qui devront être ajustés lors du calage des modèles d'écoulements. Pour chaque profil une vitesse moyenne d'écoulement, des débits lit majeur/lit mineur et une hauteur de lame d'eau sont déterminés.

4.2.2 Données d'entrée du modèle

4.2.2.1 Les profils transversaux

Hec-Ras se base sur les profils transversaux pour représenter les zones d'écoulement. Ces profils ont été levés sur le terrain par un géomètre pour leur partie dans le lit mineur de l'Œil et extraits en lit majeur du modèle numérique de terrain naturel issus de la photogrammétrie réalisée pour les besoins de l'étude (voir Figure 7 pour leur localisation).

Les ponts ont été pris en compte lorsqu'ils représentent des points singuliers modifiant significativement le comportement des écoulements. 2 ouvrages ont ainsi été pris en compte :

- Le pont de la RD 11 au centre ville de Cosne d'Allier ;
- La passerelle située à proximité du hameau du Sautivais et de la confluence avec l'Aumance.

Le tableau 2 synthétise les caractéristiques du modèle d'écoulement réalisé.

nom du cours d'eau	longueur du modèle (en m)	nombre de profils	ponts pris en compte
Oeil	6450	35	2

Tableau 15 : Caractéristiques du modèle d'écoulement

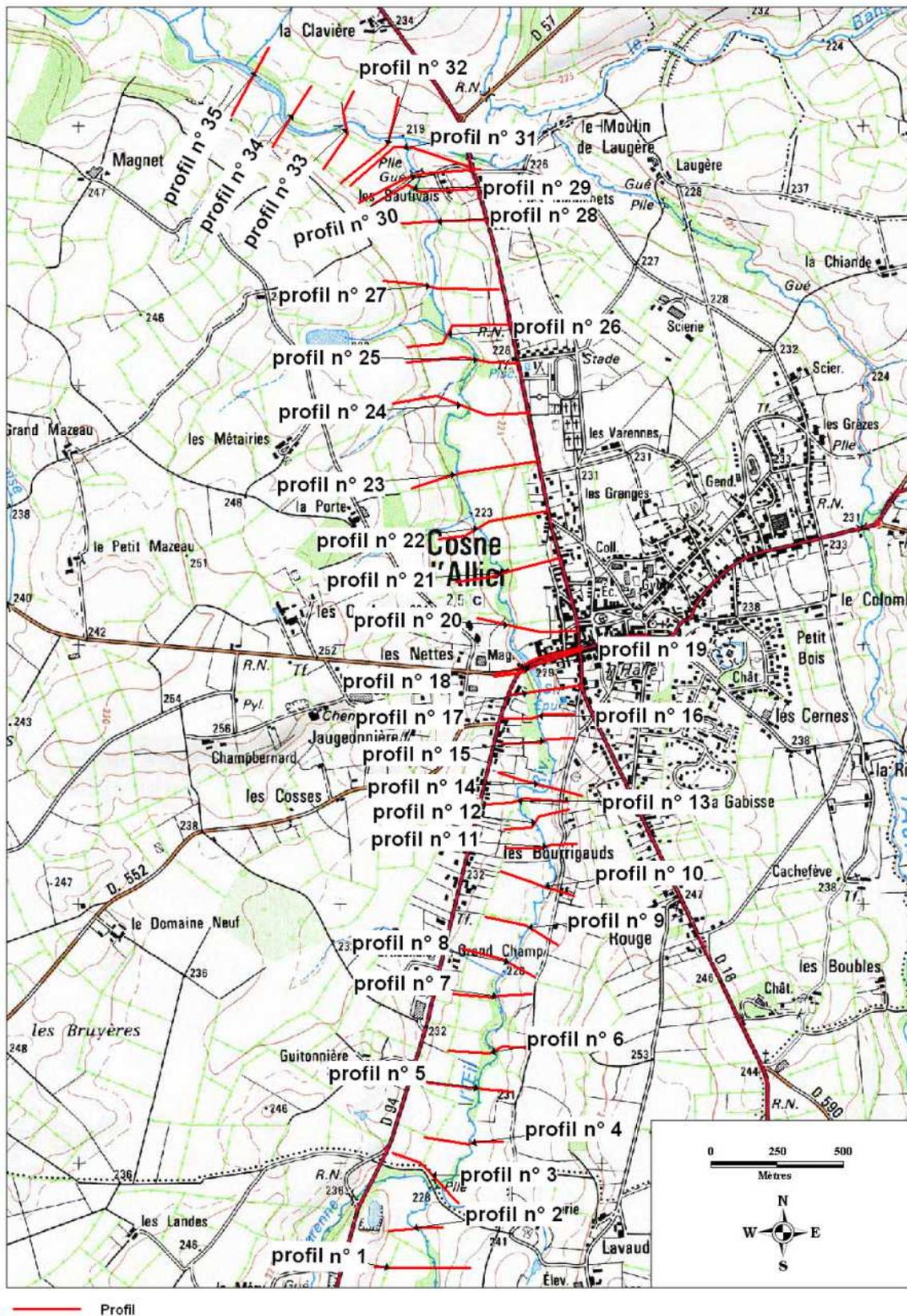


Figure 7 : carte de positionnement des profils

4.2.2.2 Les coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité permettent de prendre en compte les pertes de charges liées aux frottements lors de l'écoulement. Ces coefficients sont donc fonction de l'occupation des sols et de la morphologie des terrains. Les coefficients de rugosité ont été estimés suite au calage du modèle (voir paragraphe 4.2.3).

Nous avons retenu des coefficients de Strickler de 5 ou 10 dans le lit majeur, et de 23 dans le lit mineur. Ces valeurs sont courantes pour ce type de rivière et d'occupation du lit majeur. Le coefficient de Strickler évolue en lit majeur suivant l'importance de la ripisylve.

4.2.2.3 Les débits

Les débits, retenus pour la cartographie, correspondent à la crue décennale et à une crue du type de celle de 1940.

Le débit évolue entre les profils 31 et 32 pour tenir compte de la confluence avec l'Aumance. Le modèle nous a montré que cette dernière influe sur le niveau de l'Œil jusqu'à 1 km en amont de la confluence (soit aux environs du profil 24).

Le débit de l'Aumance à sa confluence avec l'Œil a été évalué grâce au rapport des débits de l'Œil, au pont de la route départementale ou de l'Aumance, à Hérisson, par la surface de bassin versant à la puissance 0.8, en fonction des données disponibles

Les laisses de crue situées à la confluence nous ont permis de valider notre choix d'extrapoler le débit de l'Aumance à sa confluence avec l'Œil soit à partir du débit de l'Œil soit à partir du débit de l'Aumance à Hérisson.

4.2.2.4 Conditions limite aval

Nous avons retenu une condition de hauteur d'eau correspondant à un écoulement normal. On considère alors que la pente de la ligne d'eau est égale à la pente moyenne du lit de la rivière dans la zone d'étude (soit 0.0012 m/m).

Le profil aval a été choisi relativement loin à l'aval de la confluence de manière à minimiser d'une mauvaise évaluation de l'écoulement au droit de ce profil sur la zone où doit être exploité le modèle.

4.2.3 *Le calage du modèle*

La phase de calage permet de vérifier la cohérence du modèle par rapport aux témoignages et aux laisses de crues observées sur le terrain. Cette étape permet de valider le modèle, en particulier les coefficients de rugosité. Ici, elle a également servi à valider les débits de l'Œil.

Nous avons réalisé un calage pour retrouver le couple hauteur-débit du plus fort jaugeage réalisé au pont de Cosne (17.7 m³/s pour 1.61 m à l'échelle ou 225.31 m NGF au pont le 25 janvier 2009).

Nous avons ensuite cherché à établir si ce calage était valable pour des crues plus importantes. Nous avons retenu la crue du 17 mai 1988, crue forte la plus récente et pour laquelle nous avons le plus de renseignements.

Le débit de cette crue a été déterminé à partir du modèle de manière à retrouver la cote d'eau au pont indiquée par Silène, et les différentes laisses de crue.

La Figure 8 page 32 permet de visualiser le bon ajustement de la ligne d'eau à ces laisses. Cette ligne d'eau passe bien au travers des différentes laisses, l'écart maximum étant de 0.15 m.

De la même manière, nous avons modélisé les crues de 1958, 1977 et 2001 (voir Figure 9, Figure 10 et Figure 11), en conservant les coefficients de rugosité définis ci-dessus.

Nous avons pu constater que le modèle reproduit fidèlement les cotes d'eau de ces différentes crues.

Pour la laisse n°1, la cote attribuée à la crue de 1958 est très nettement au-dessus des autres laisses et n'est pas respectée par la ligne d'eau. Cette cote a probablement été attribuée par erreur à la crue de 1958 et elle correspondrait mieux à la crue de 1940.

A partir du modèle et des laisses de crues, nous avons pu retrouver les débits des différentes crues, en particulier celui de crue de 1940, et restituer la cote d'eau au pont de cette crue. Cette dernière s'est retrouvée proche de celle indiquée par Silène (soit 4.48 m pour 4.43 m estimé par le bureau d'étude).

L'Œil à Cosne d'Allier - Ligne d'eau calculée pour 173 m³/s (Œil) et 196 m³/s (Aumance à l'aval) et laisses de la crue du 17 mai 1988

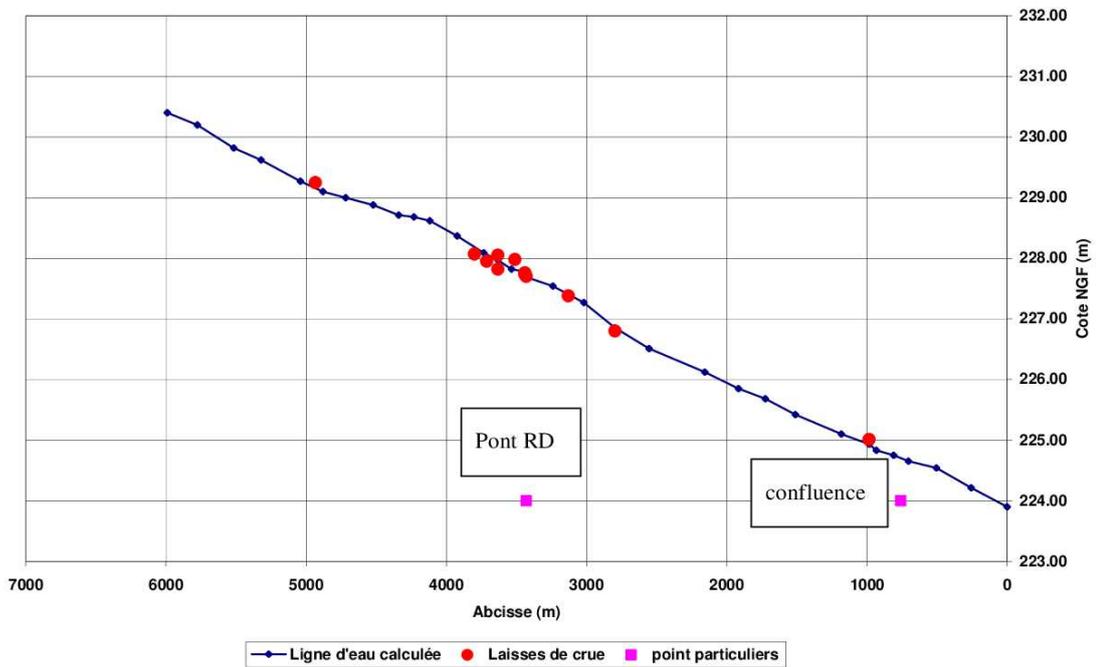


Figure 8 : modélisation de la crue de 1988

L'Œil à Cosne d'Allier - Ligne d'eau calculée pour 180 m³/s (Œil) et 304 m³/s (Aumance à l'aval) et laisses de la crue du 26 mai 1958

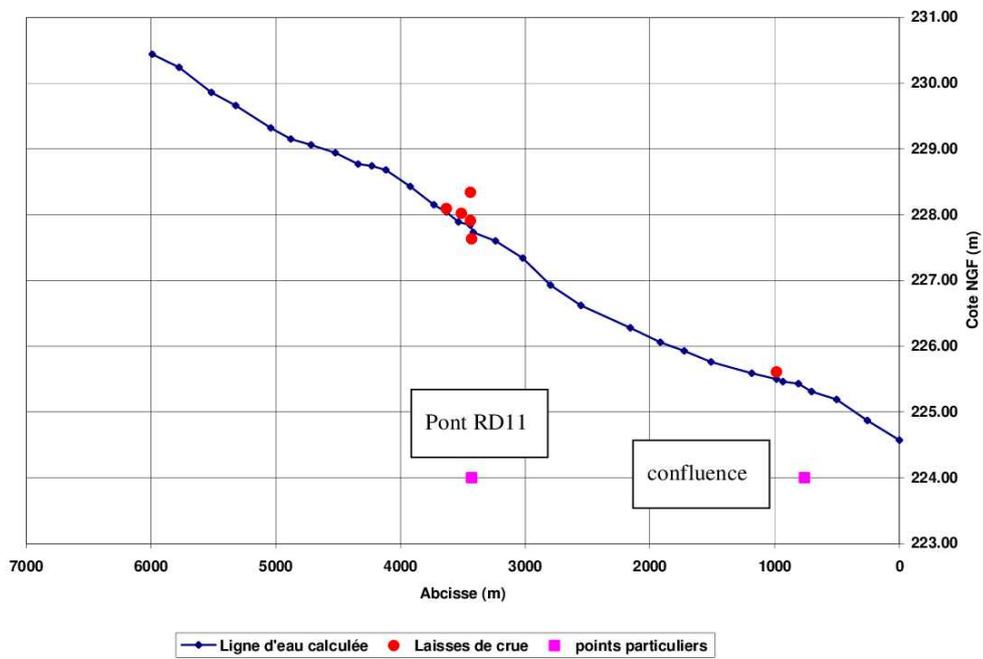


Figure 9 : modélisation de la crue de 1958

L'Œil à Cosne d'Allier - Ligne d'eau calculée pour 135 m³/s (Œil) et 247 m³/s (Aumance à l'aval) et laisses de la crue du 26 mai 1977

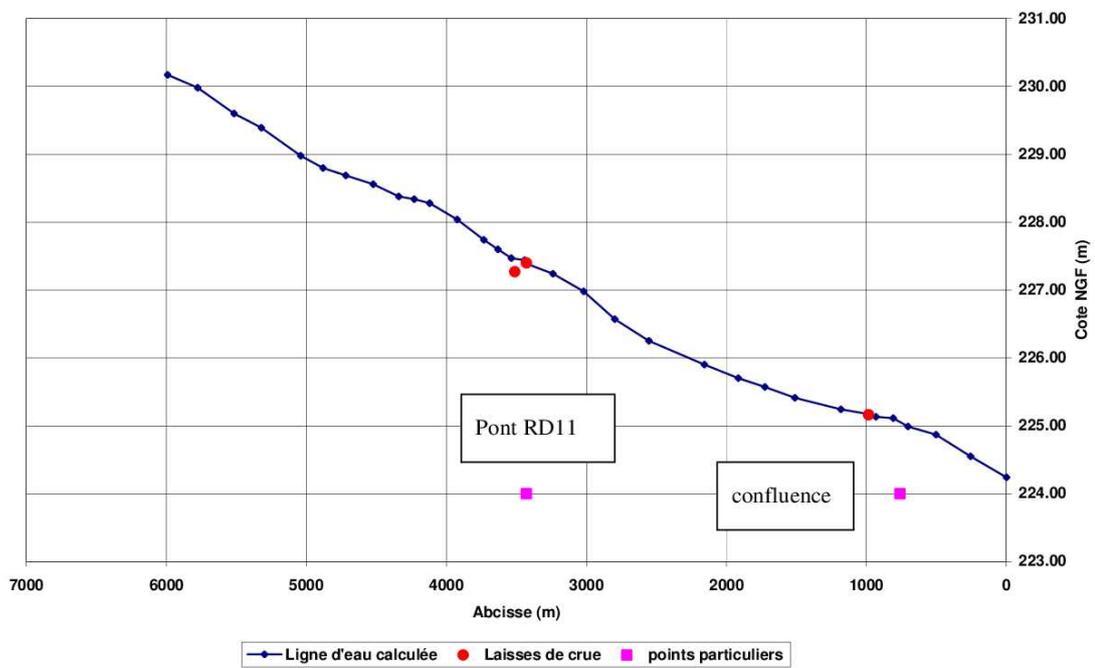


Figure 10 : modélisation de la crue de 1977

L'Œil à Cosne d'Allier - Ligne d'eau calculée pour 105 m³/s (Œil) et 213 m³/s (Aumance à l'aval) et laisses de la crue du 5 mai 2001

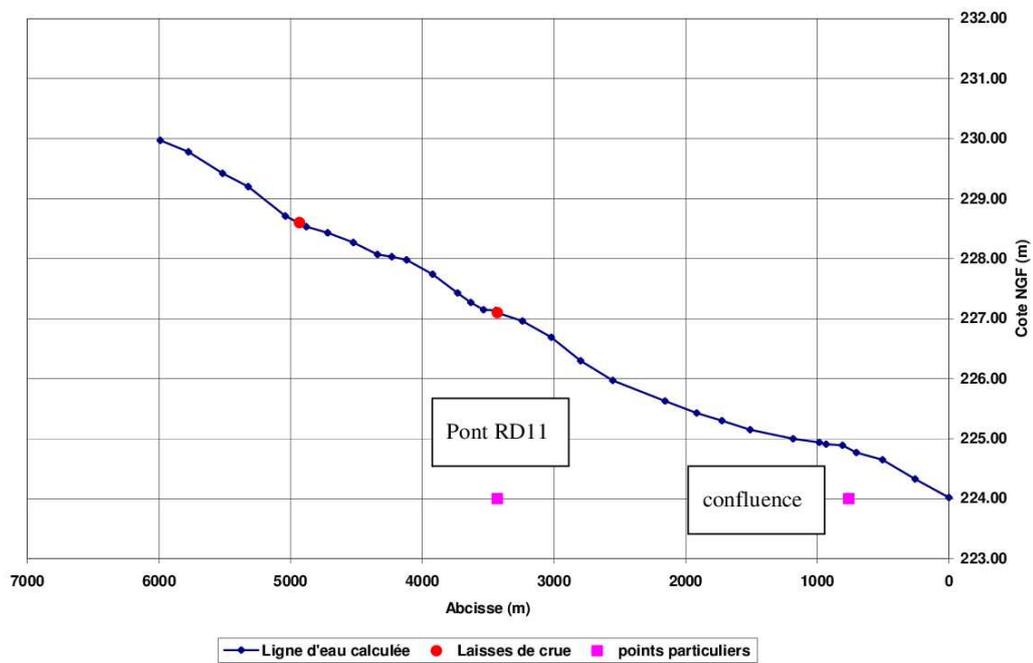


Figure 11 : modélisation de la crue de 2001

4.2.4 Exploitation du modèle

A l'aide des coefficients de rugosité définis ci-avant, le modèle a été utilisé pour définir les caractéristiques des écoulements pour la crue décennale et pour la crue de référence, type 1940. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

n° de profil	abscisse	cote d'eau (en m NGF)	vitesse rive gauche (en m/s)	vitesse lit mineur (en m/s)	vitesse rive droite (en m/s)
35	6432	230.47	0.37	1.54	0.14
34	6250	230.25	0.36	1.31	0.15
33	5991	229.98	0.34	1.41	0.15
32	5777	229.8	0.33	1.17	0.16
31	5517	229.43	0.29	1.66	0.15
30	5322	229.21	0.27	1.48	0.26
29	5041	228.73	0.38	1.94	0.35
28	4881	228.55	0.21	1.42	0.25
27	4719	228.45	0.26	1.3	0.28
26	4523	228.29	0.29	1.48	0.31
25	4341	228.09	0.28	1.6	0.22
24	4231	228.05	0.23	1.12	0.22
23	4119	228	0.07	1.2	0.28
22	3923	227.76	0.2	1.95	0.48
21	3733	227.45	0.16	1.91	0.24
20	3633	227.3	0.15	1.93	0.16
19	3536	227.17	0.08	1.69	0.15
18	3442	227.16	0.11	1.05	0.08
17	3418	227.11	0.13	1.24	0.12
16	3240	226.98	0.12	1.31	0.09
15	3020	226.72	0.22	1.75	0.13
14	2797	226.32	0.2	1.95	0.12
13	2554	225.99	0.16	1.7	0.14
12	2157	225.65	0.11	1.33	0.11
11	1916	225.46	0.12	1.41	0.18
10	1725	225.33	0.12	1.36	0.13
9	1510	225.18	0.13	1.43	0.16
8	1183	225.03	0.11	1.12	0.13
7	985	224.97	0.1	1.03	0.11
6	933	224.94	0.11	1.09	0.08
5	809	224.92	0.1	0.91	0.09
4	704	224.8	0.16	1.54	0.13
3	504	224.68	0.19	1.52	0.13
2	257	224.36	0.15	2.12	0.19
1	0	224.05	0.16	2.03	0.15

Tableau 16 : Résultat de la modélisation de l'Œil pour la crue décennale

n° de profil	abscisse	cote d'eau (en m NGF)	vitesse rive gauche (en m/s)	vitesse lit mineur (en m/s)	vitesse rive droite (en m/s)
35	6432	231.29	0.49	1.63	0.16
34	6250	231.06	0.55	1.73	0.22
33	5991	230.75	0.48	1.85	0.24
32	5777	230.54	0.45	1.49	0.23
31	5517	230.17	0.43	2.02	0.24
30	5322	230	0.36	1.55	0.36
29	5041	229.72	0.44	1.82	0.48
28	4881	229.57	0.31	1.57	0.35
27	4719	229.48	0.36	1.45	0.25
26	4523	229.38	0.38	1.53	0.36
25	4341	229.23	0.41	1.71	0.33
24	4231	229.19	0.33	1.28	0.34
23	4119	229.14	0.13	1.48	0.42
22	3923	228.87	0.32	2.51	0.54
21	3733	228.62	0.22	2.17	0.44
20	3633	228.53	0.22	2.02	0.24
19	3536	228.37	0.18	2.08	0.27
18	3442	228.31	0.08	1.59	0.14
17	3418	228.14	0.13	1.97	0.13
16	3240	228.02	0.18	1.71	0.19
15	3020	227.75	0.29	2.19	0.25
14	2797	227.35	0.24	2.37	0.26
13	2554	227.06	0.21	2.01	0.24
12	2157	226.72	0.2	1.73	0.19
11	1916	226.52	0.22	1.83	0.15
10	1725	226.41	0.2	1.69	0.2
9	1510	226.24	0.21	1.83	0.22
8	1183	226.08	0.17	1.44	0.19
7	985	225.99	0.18	1.43	0.18
6	933	225.95	0.18	1.45	0.13
5	809	225.94	0.14	1.12	0.14
4	704	225.8	0.23	1.86	0.17
3	504	225.68	0.26	1.81	0.2
2	257	225.36	0.25	2.46	0.27
1	0	225.06	0.26	2.34	0.22

Tableau 17 : : Résultat de la modélisation de l'Oeil pour une crue type 1940

A partir de ces tableaux, un profil en long de la rivière est établi pour chaque crue (voir Figure 12et Figure 13).

L'Œil à Cosne d'Allier - Ligne d'eau calculée pour la crue décennale soit 107 m³/s (Œil) et 217 m³/s (Aumance à l'aval)

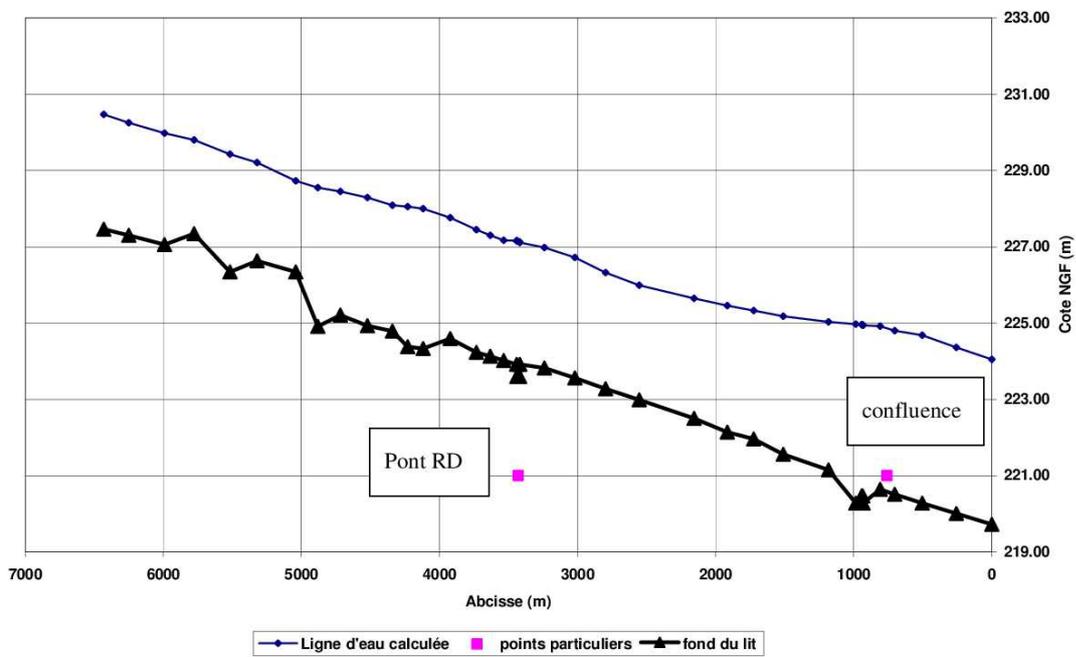


Figure 12 : modélisation de la crue décennale

L'ŒIL à Cosne d'Allier - Ligne d'eau calculée pour 240 m³/s (Œil) et 406 m³/s (Aumance à l'aval) et laisses de la crue du 4 mai 1940

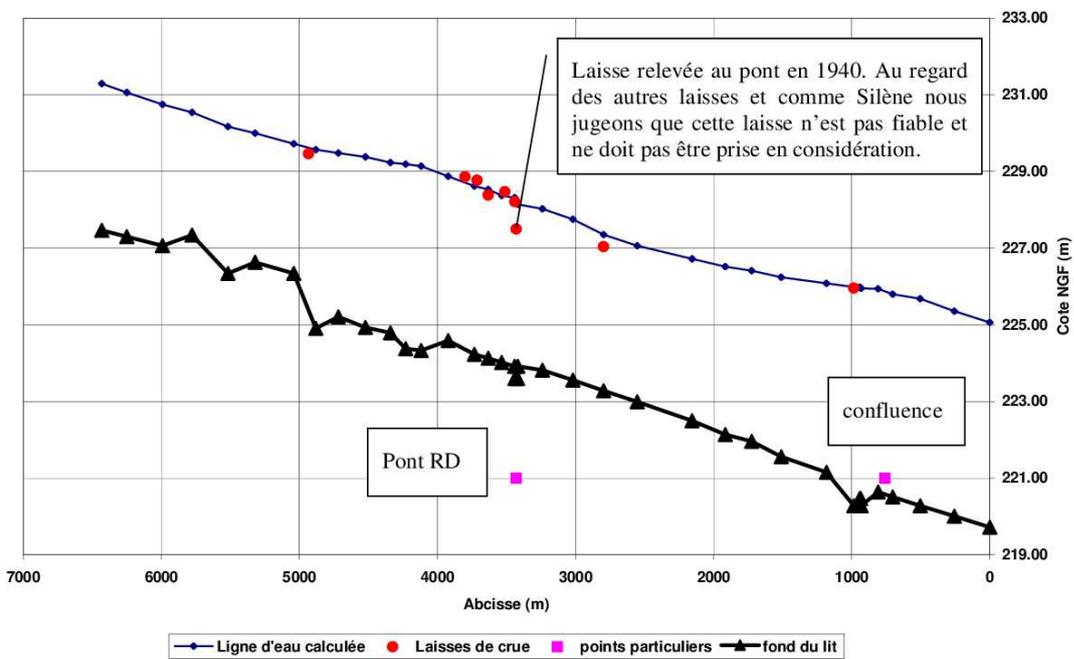


Figure 13 : modélisation d'une crue type 1940

Nous constatons que globalement, la pente de la ligne d'eau suit la pente moyenne de la rivière. Nous pouvons noter deux exceptions :

- La pente faiblit au voisinage de la confluence. Ceci est dû à l'influence de l'Aumance qui tend à surélever les lignes d'eau ;
- Lors d'une crue de type 1940, la ligne d'eau chute brutalement au passage du pont. Ceci est lié à la mise en charge du pont (sans qu'il soit toutefois submergé).

Pour une crue de type 1940, la vitesse reste inférieure à 0.6 m/s en lit majeur avec le plus souvent des valeurs voisines de 0.25 m/s. En lit mineur elle est toujours supérieure à 1 m/s.

4.3 La cartographie

La cartographie du risque inondation a été dressée en synthétisant les données acquises sur le terrain et celles obtenues par modélisation.

La carte de l'aléa résulte du croisement des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement tel que montré **Figure 14**. Pour ce faire, trois cartographies ont été réalisées :

1. **Cartographie des hauteurs,**
2. **Cartographie des vitesses,**
3. **Cartographie des aléas.**

4.3.1 Cartographie des hauteurs d'eau

Cette cartographie présente le champ d'inondation de la crue de référence (type 1940) et figure en annexe 2.

Les limites de zonage correspondent à 0.5m et 1m. Elle est obtenue à partir des hauteurs d'eau estimées au droit des profils en travers extrapolées avec le semi de points topographiques.

4.3.2 Cartographie des vitesses

Il s'agit ici d'un découpage du champ d'inondation de la crue de référence (type 1940) en fonction de la vitesse des eaux : vitesse faible, moyenne et forte (cf. annexe 3).

Ce découpage s'appuie sur la forme de la vallée, et donc des axes privilégiés d'écoulements et des zones les plus rapidement inondées.

4.3.3 Cartographie de l'aléa

Cette carte est issue du croisement des cartes des hauteurs et des cartes des vitesses. Le champ d'inondation est ainsi divisé en trois zones correspondant à l'aléa faible, l'aléa moyen et l'aléa fort. Les critères de détermination de ces zones répondent au schéma présenté **Figure 14**.

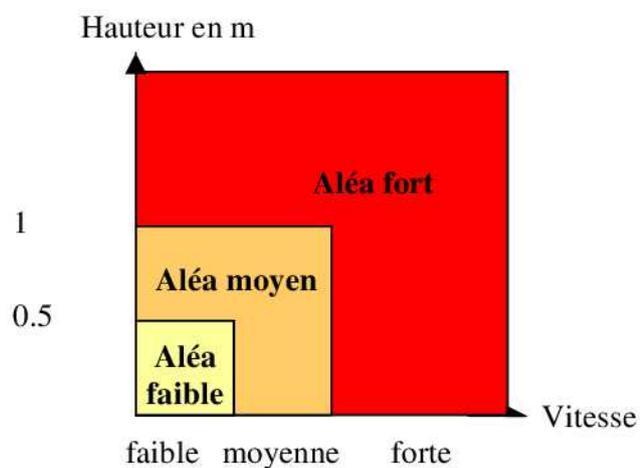


Figure 14 : Définition de l'aléa en fonction des hauteurs et des vitesses d'eau

Les cartes d'aléa sont présentées en annexe 4.

4.4 Commentaires sur la cartographie.

En moyenne, la cote de la crue décennale est inférieure d'un mètre à la cote de la crue de référence. De ce fait l'enveloppe de la première crue est proche de l'enveloppe de l'aléa fort.

L'aléa fort est l'aléa prédominant. Cela provient du fait, qu'hors du centre ville, l'Œil coule dans une vallée relativement encaissée. De ce fait l'augmentation du débit entraîne une augmentation de cote de niveau d'eau mais pas d'augmentation importante du champ d'inondation.

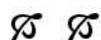
En centre ville, pour la crue de référence, la mise en charge du pont entraîne des inondations importantes en rive droite et en rive gauche.

En dehors de la zone agglomérée, les maisons situées à l'amont immédiat de la confluence(hameau du Sautivais) sont situées en zone inondable. Les hauteurs d'eau coïncident avec les laisses de crues. Il en est de même de la ferme située entre les profils 7 et 8 en rive gauche. Les bâtiments agricoles ont en effet été inondés en 1988.

Au total la surface inondée par l'Œil pour la crue de référence (type 1940) est de 1.26 km² ou 126 ha pour une surface totale de la commune de 25.26 km² ou 2526 ha.

Cette surface se partage en :

- Aléa fort : 1.00 km² soit 79% ;
- Aléa moyen : 0.13 km² soit 10.5% ;
- Aléa faible : 0.13 km² soit 10.5%.



Vérifié par H. TACHRIFT chef de l'Unité Technique **Eau et Risque Inondation**

Les Chargés d'Etude :

Le Chef du Groupe Risques Géotechnique Eau :

T. OJARDIAS

J.N. AUDOUY

M. CHAHINE.

5 ANNEXES

Annexe 1 : cahier des laisses de crues

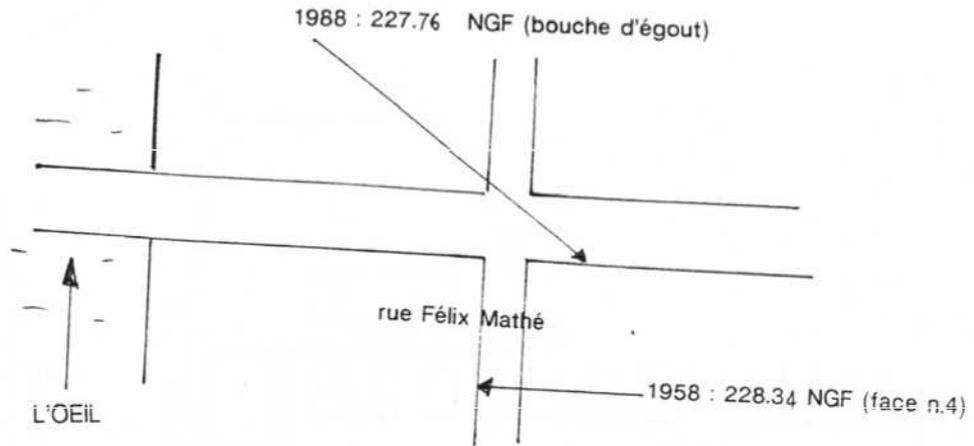
Annexe 2 : cartographie des hauteurs d'eau pour la crue de référence

Annexe 3 : cartographie des vitesses pour la crue de référence

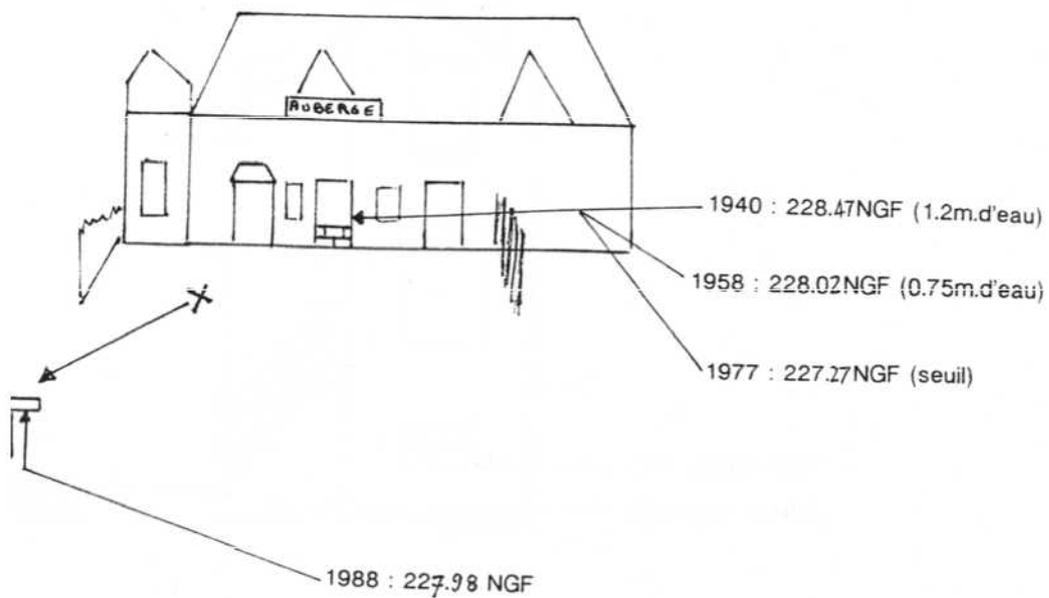
Annexe 4 : cartographie de l'aléa inondation pour la crue de référence

Annexe 1 : cahier des laisses de crues

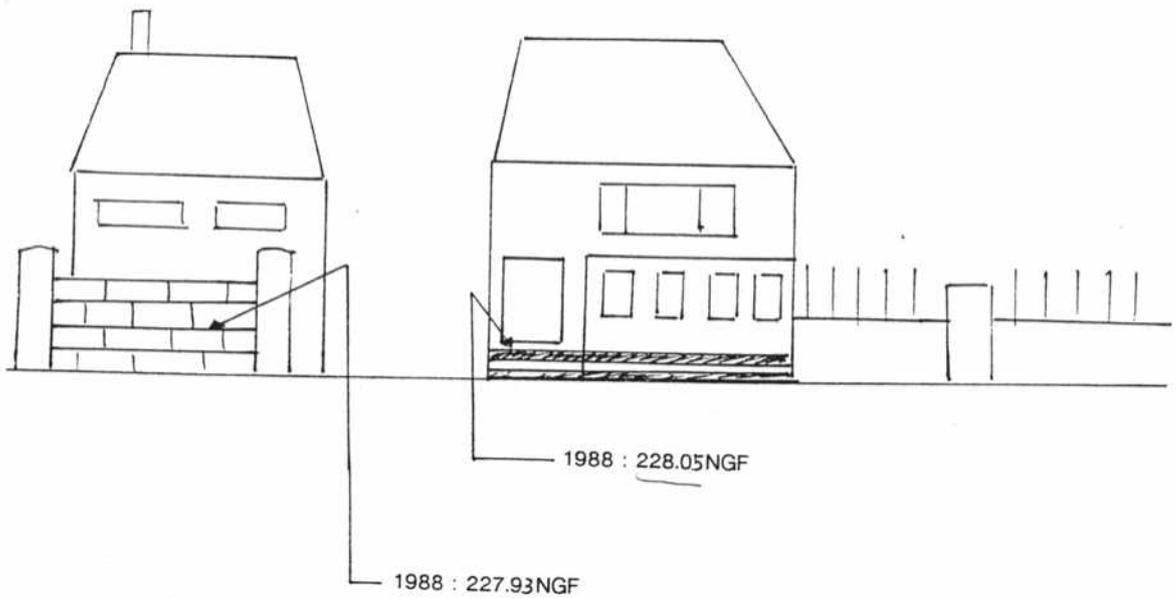
LAISSÉ N 1



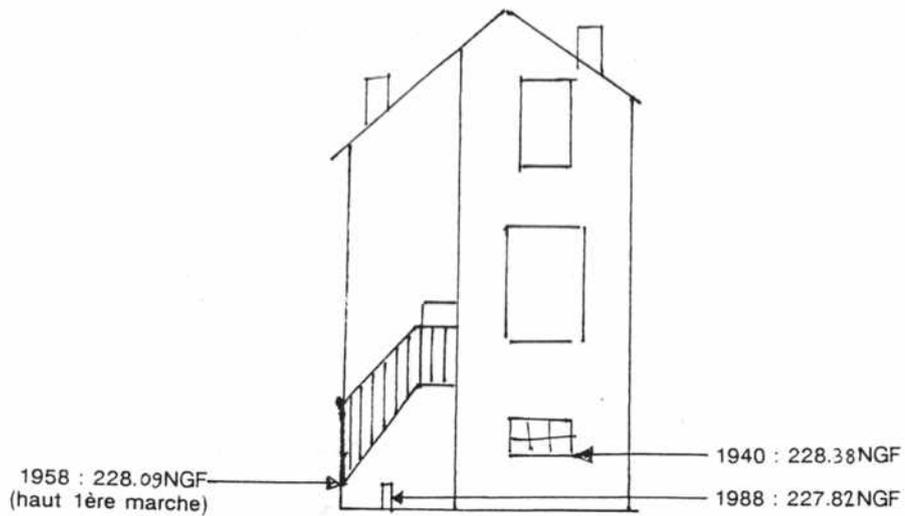
LAISSÉ N 2



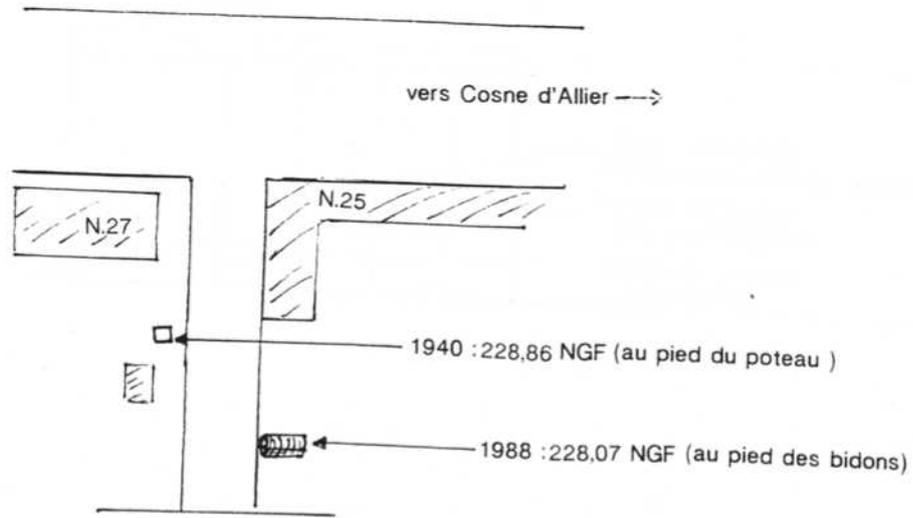
LAISSÉ N 3 (garage FORD)



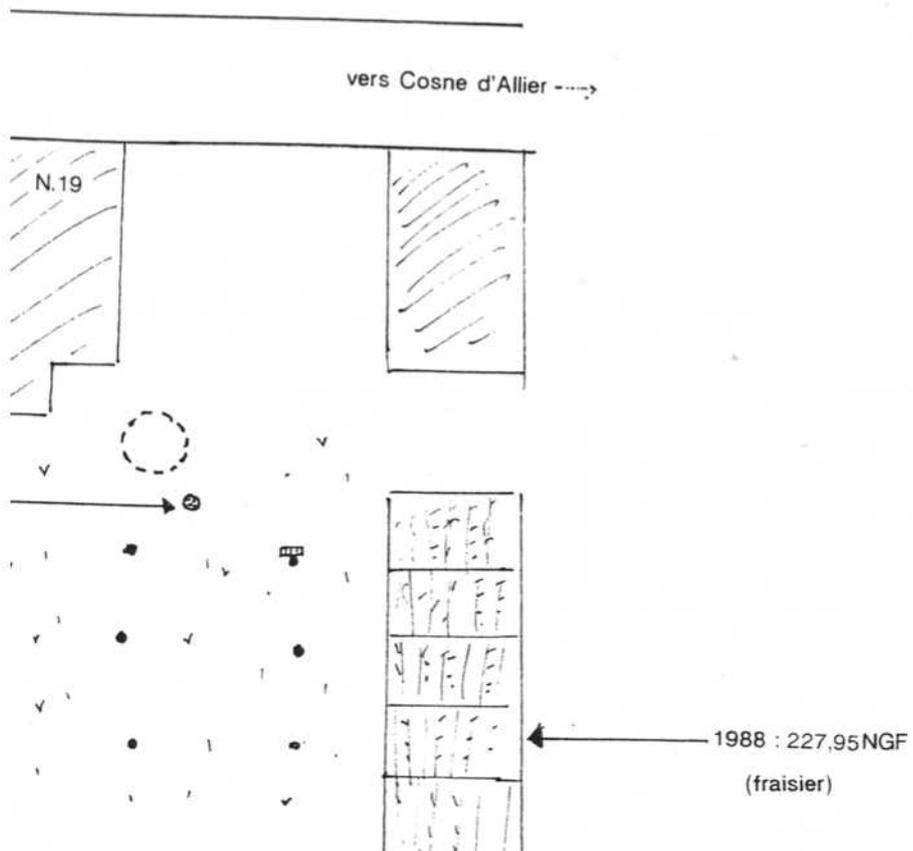
LAISSÉ N 4



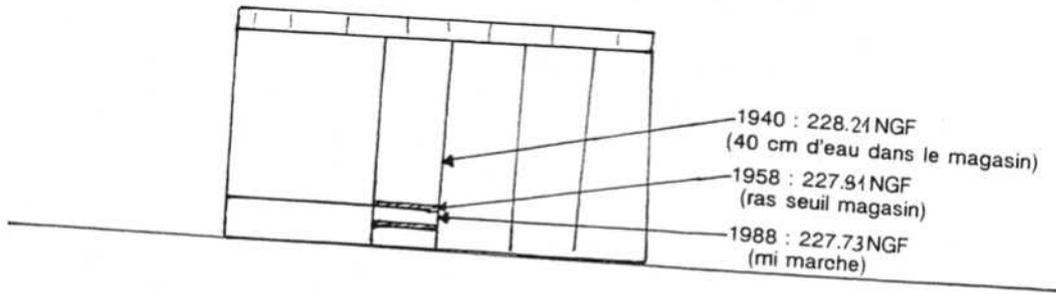
LAISSE N 5



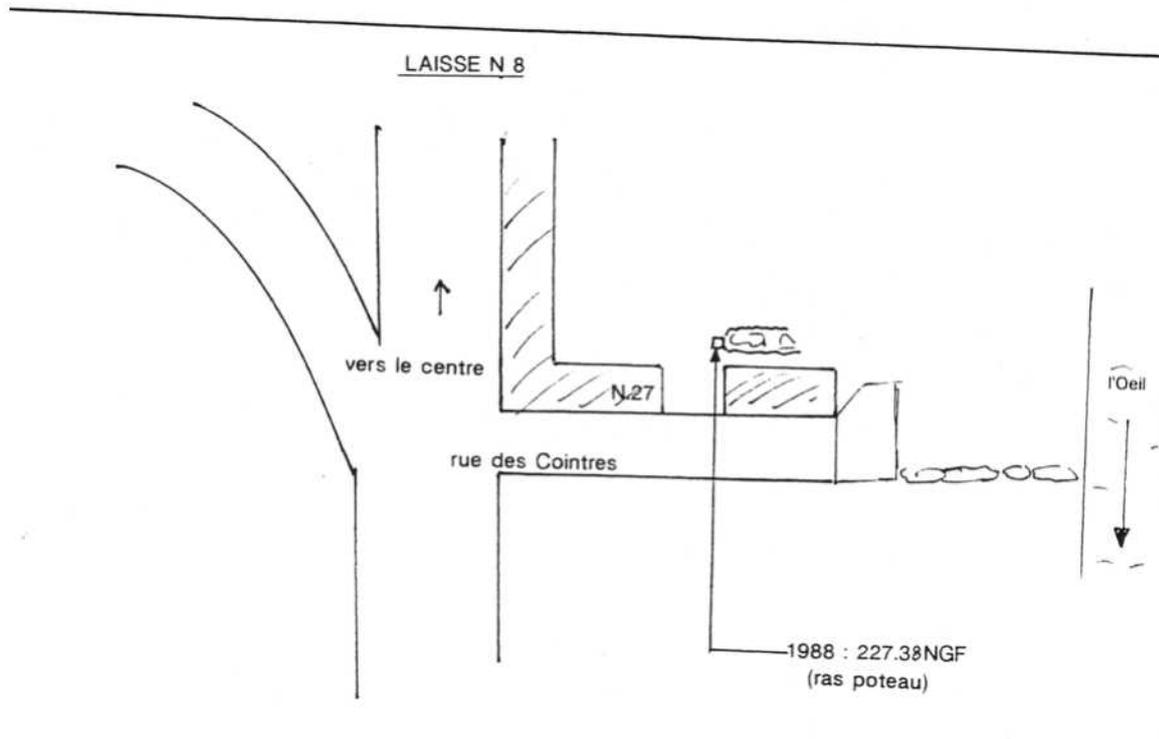
LAISSE N 6

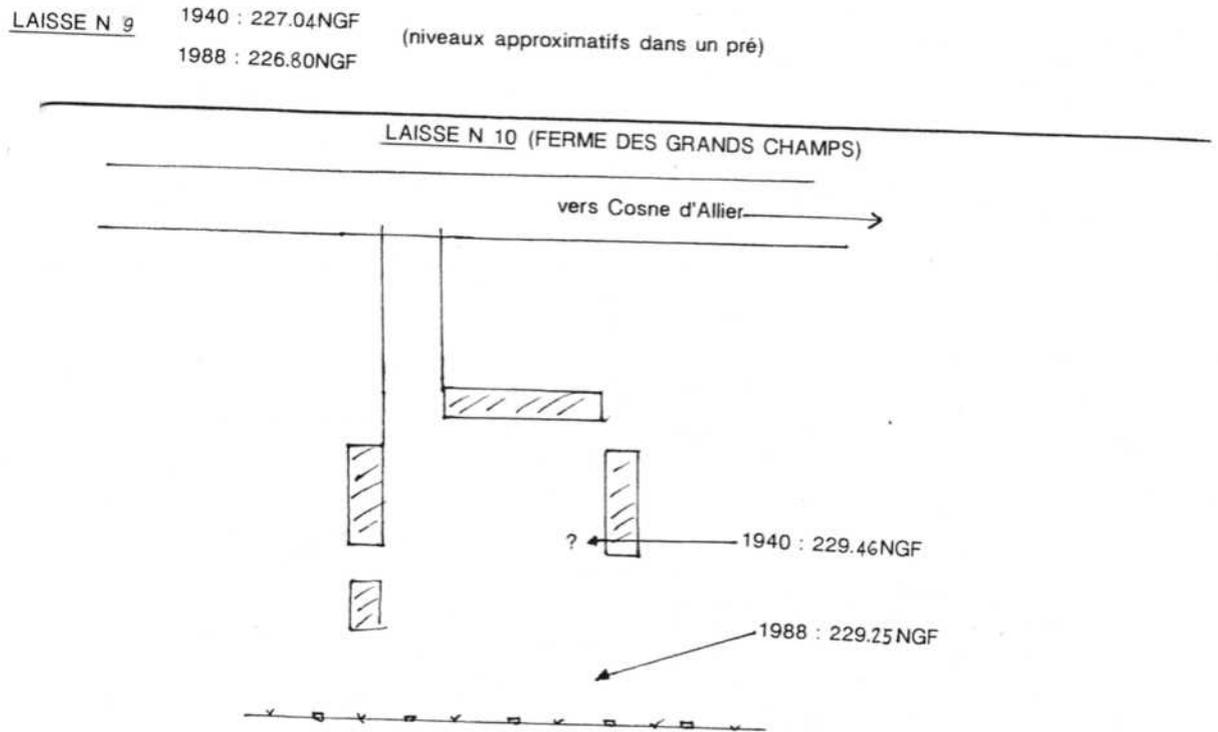


LAISSE N 7 (ANCIEN MAGASIN DE MEUBLES)



LAISSE N 8





en 2001 : 228.6 (cote évaluée par nos soins grâce à la photogrammétrie)

Fiche descriptive de la laisse n°11

Date : 04/05/2009

Levée par : AUDOUY / OJARDIAS

Ruisseau : Oeil

Département : 03

Commune : Cosne d'Allier

Date de la crue de la laisse : 1940 / 1958 / 1910 / 1977 / 1988

Lieu dit : les Sautivais

Rive : droite

Qualité de la laisse : sure

Nature du repère ou de la laisse : seuil de la maison évalué d'après la photogrammétrie à 225.16 m NGF

Hauteur de la laisse par rapport au repère :

année : 4 mai 1940 hauteur : 0.8 m

25 mai 1958 0.45 m

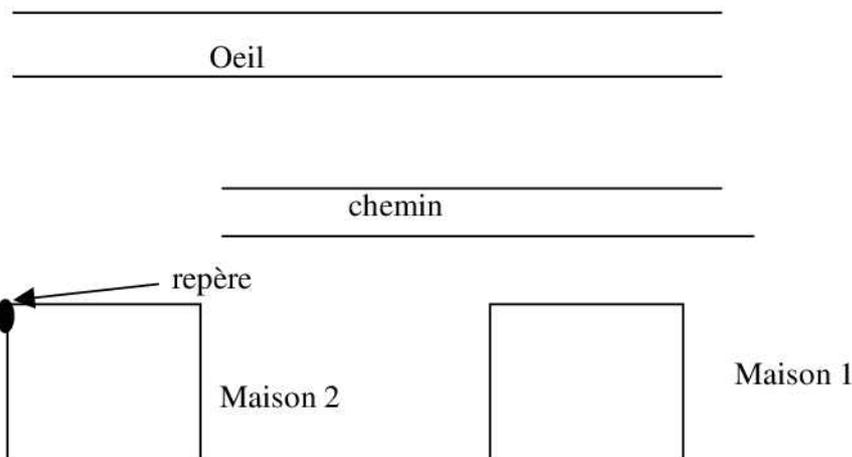
5 juillet 1916 0 m

27 mai 1977 0 m

17 mai 1988 -0.15 m

Heure de la photographie :

Schéma de localisation plan :



Annexe 2 : cartographie des hauteurs d'eau pour la crue de référence

novembre 2011

L'Oeil à Cosne d'Allier

Carte des hauteurs d'eau
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 1

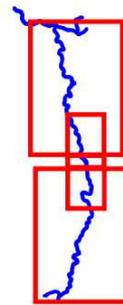
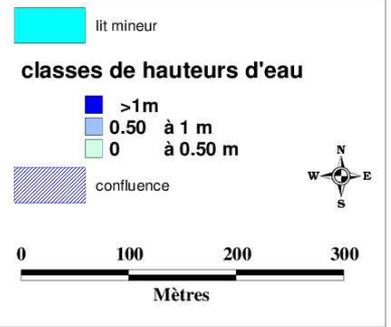


Planche 1

Planche 2

Planche 3

Planche 4



novembre 2011
L'Oeil à Cosne d'Allier
Carte des hauteurs d'eau
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 2

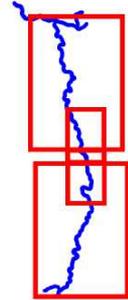
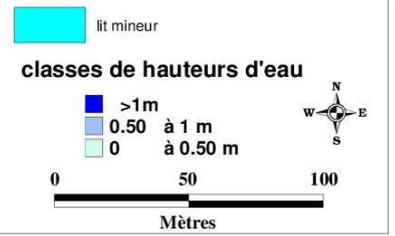


Planche 1

Planche 2

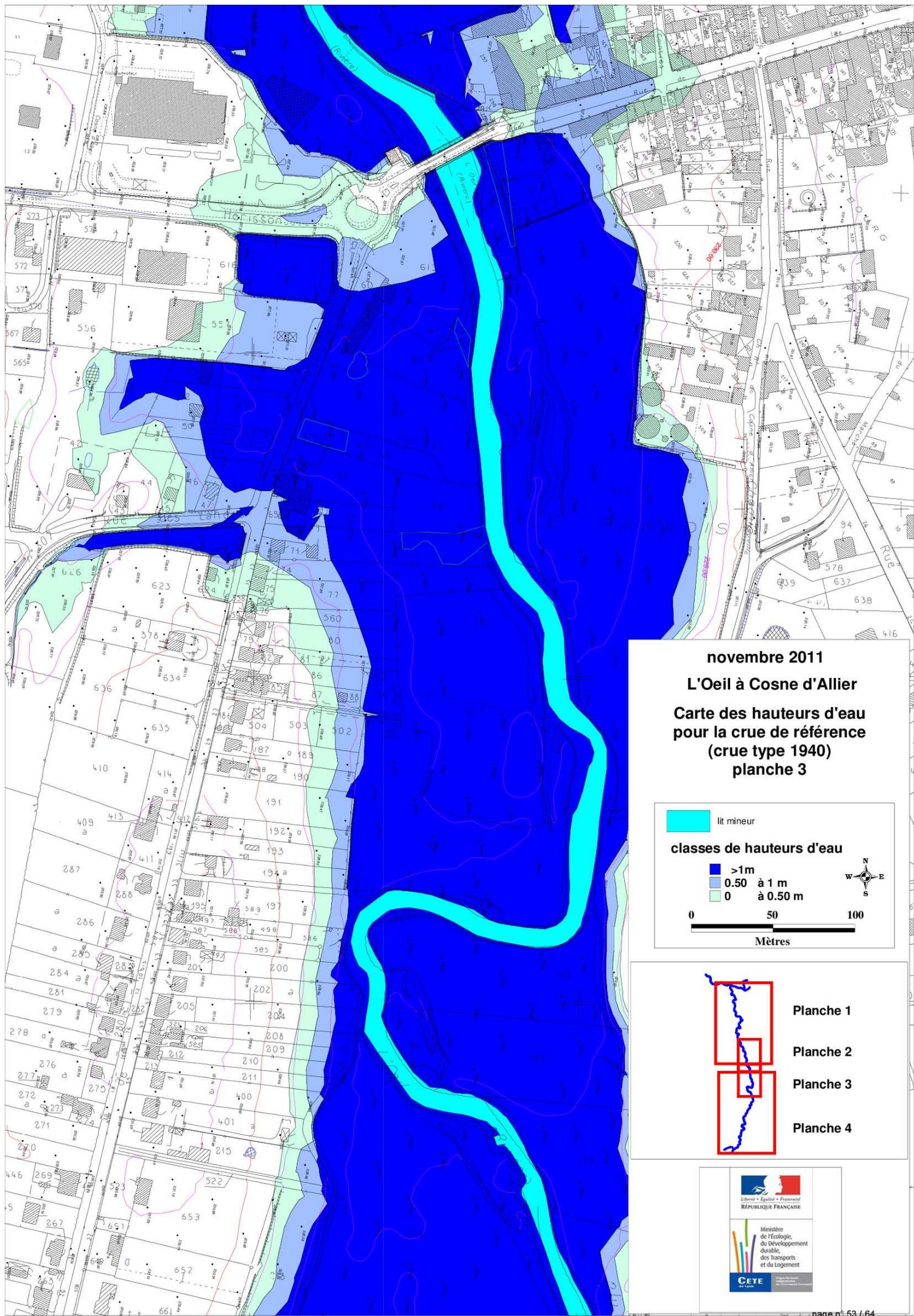
Planche 3

Planche 4



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des transports
et du Logement





novembre 2011

L'Oeil à Cosne d'Allier

**Carte des hauteurs d'eau
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 3**

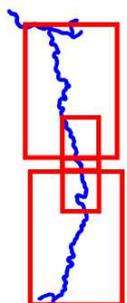
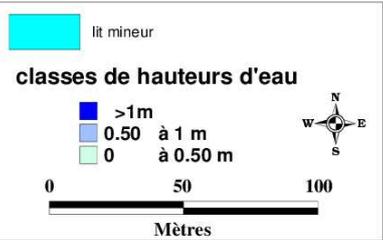


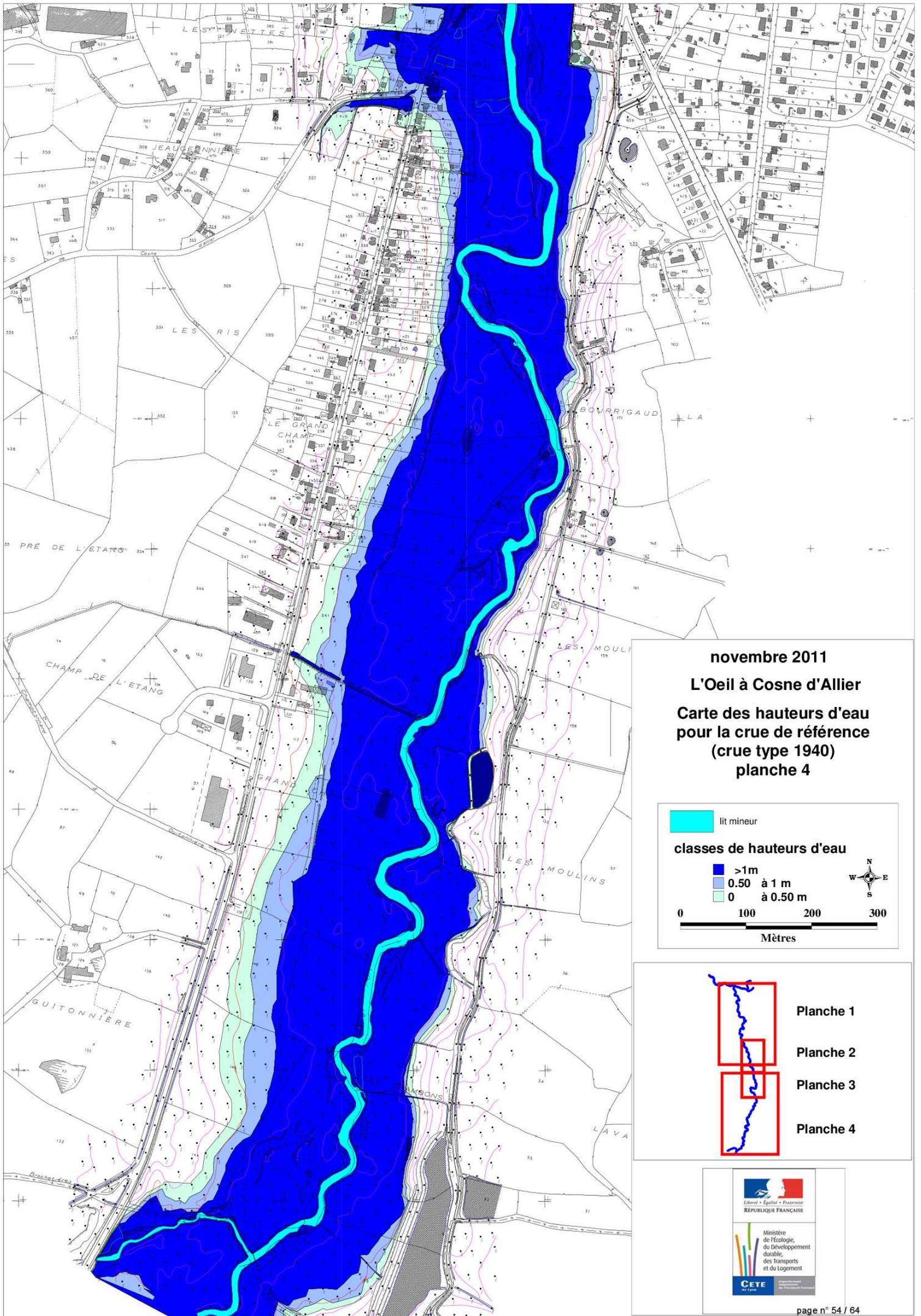
Planche 1

Planche 2

Planche 3

Planche 4





novembre 2011

L'Oeil à Cosne d'Allier

Carte des hauteurs d'eau
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 4

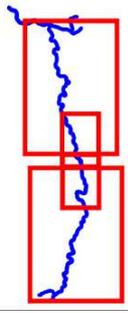
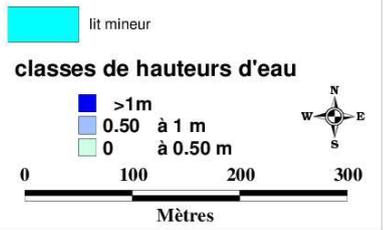
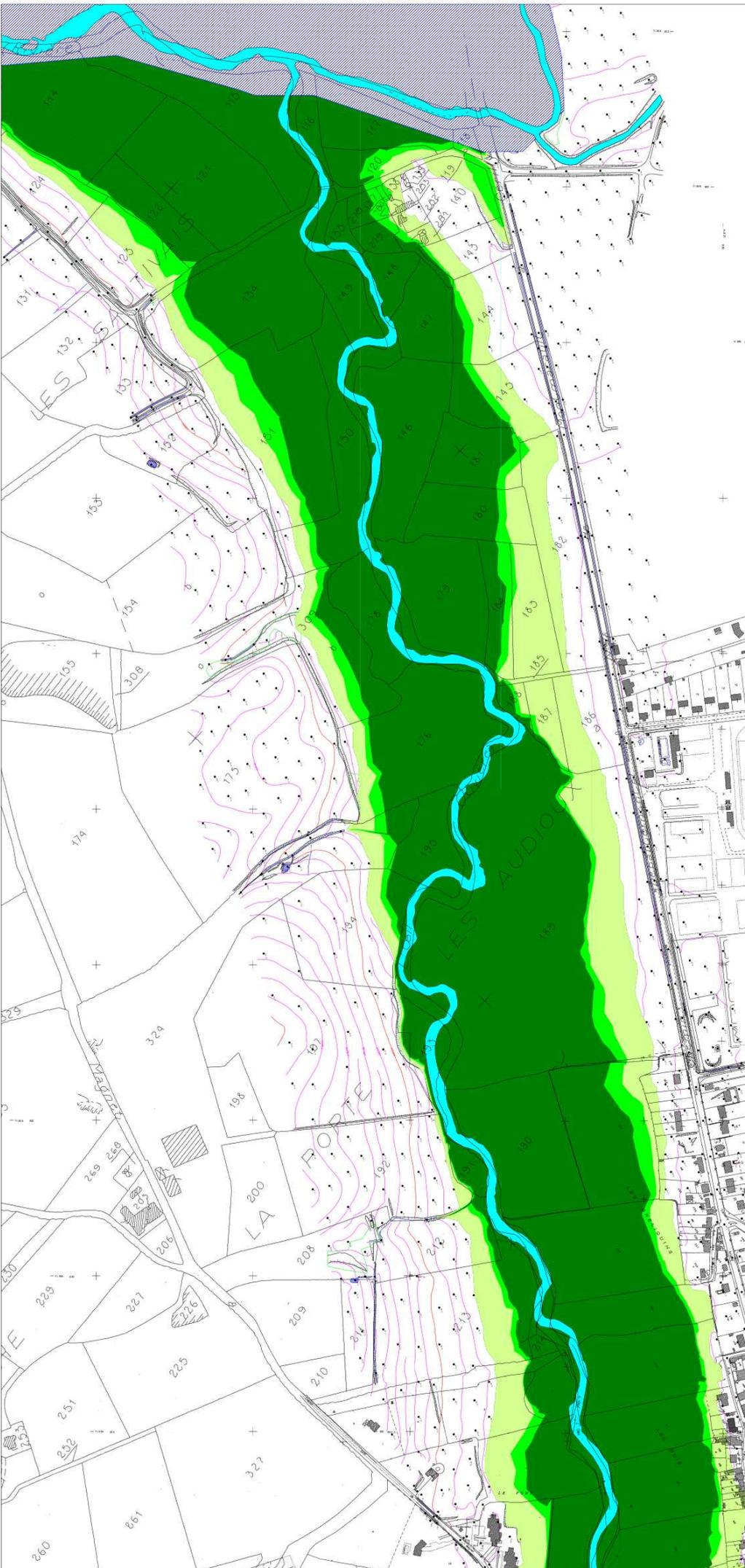


Planche 1
Planche 2
Planche 3
Planche 4



Annexe 3 : cartographie des vitesses pour la crue de référence

novembre 2011
 L'Oeil à Cosne d'Allier
 Carte des vitesses
 pour la crue de référence
 (crue type 1940)
 planche 1



lit mineur

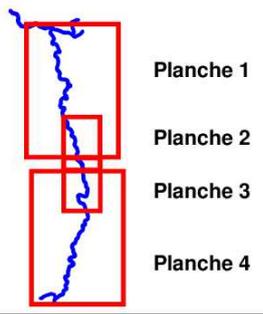
classes de vitesses

- vitesse faible
- vitesse moyenne
- vitesse forte

confluence

N
W — E
S

0 100 200 300
Mètres



Liberté • Égalité • Fraternité
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
 de l'Écologie,
 du Développement
 durable,
 des transports
 et du logement

CETE
 de l'Allier

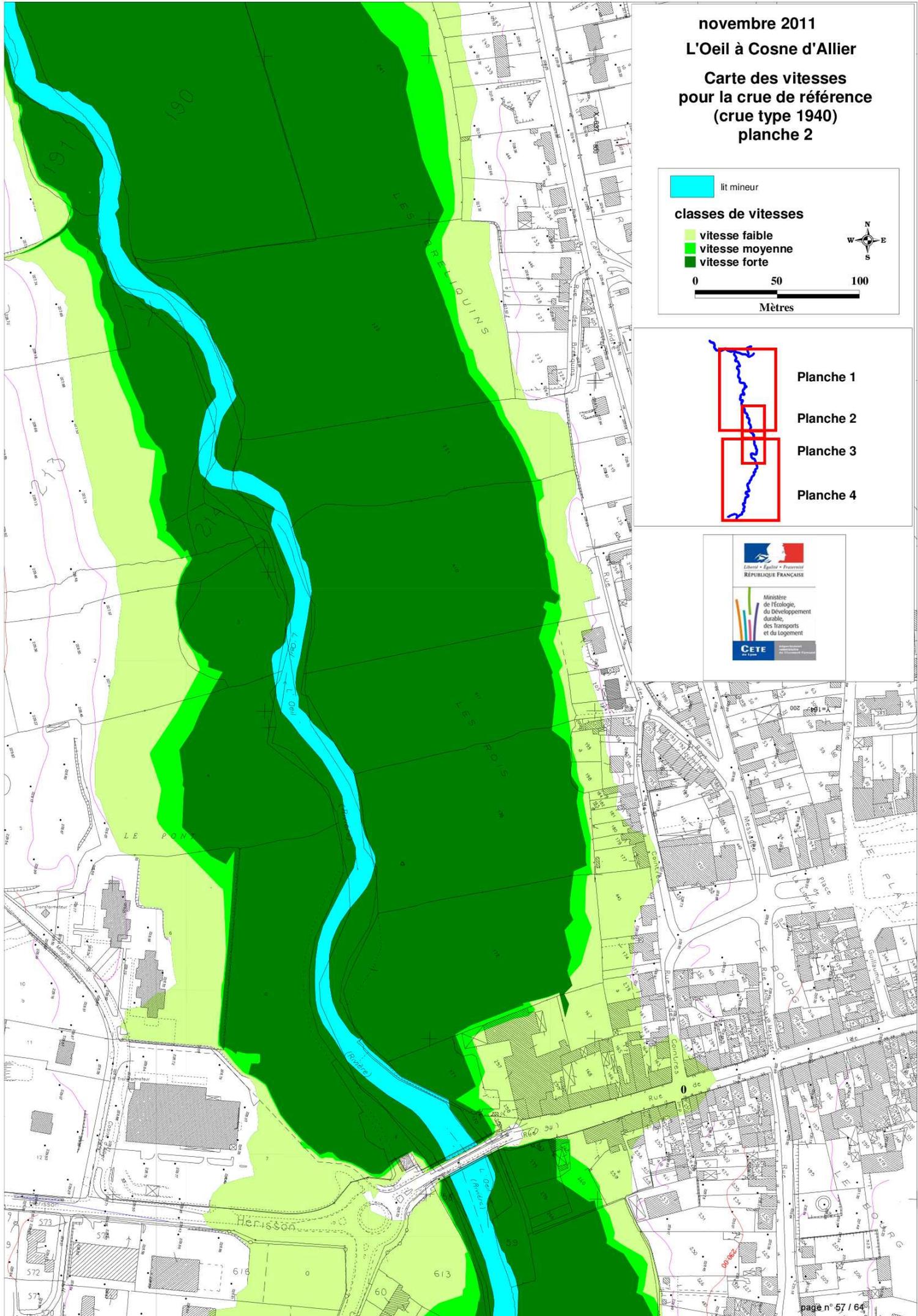
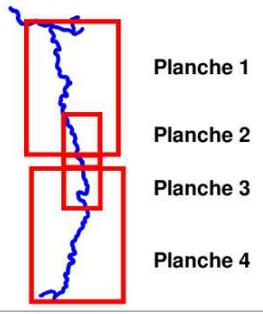
novembre 2011
 L'Oeil à Cosne d'Allier
 Carte des vitesses
 pour la crue de référence
 (crue type 1940)
 planche 2

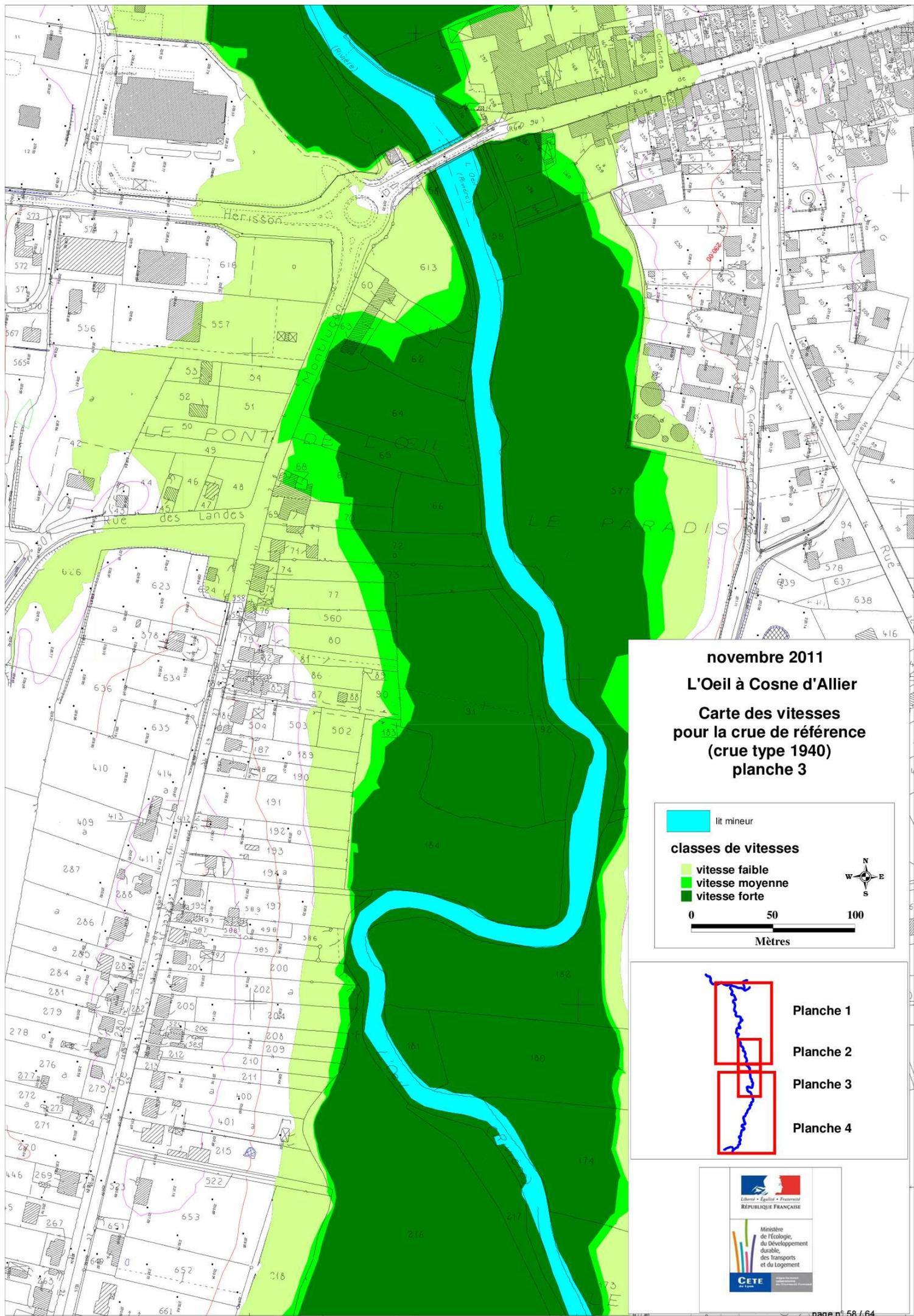
lit mineur

classes de vitesses

- vitesse faible
- vitesse moyenne
- vitesse forte

0 50 100
 Mètres

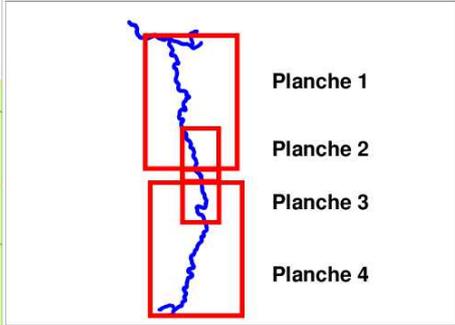



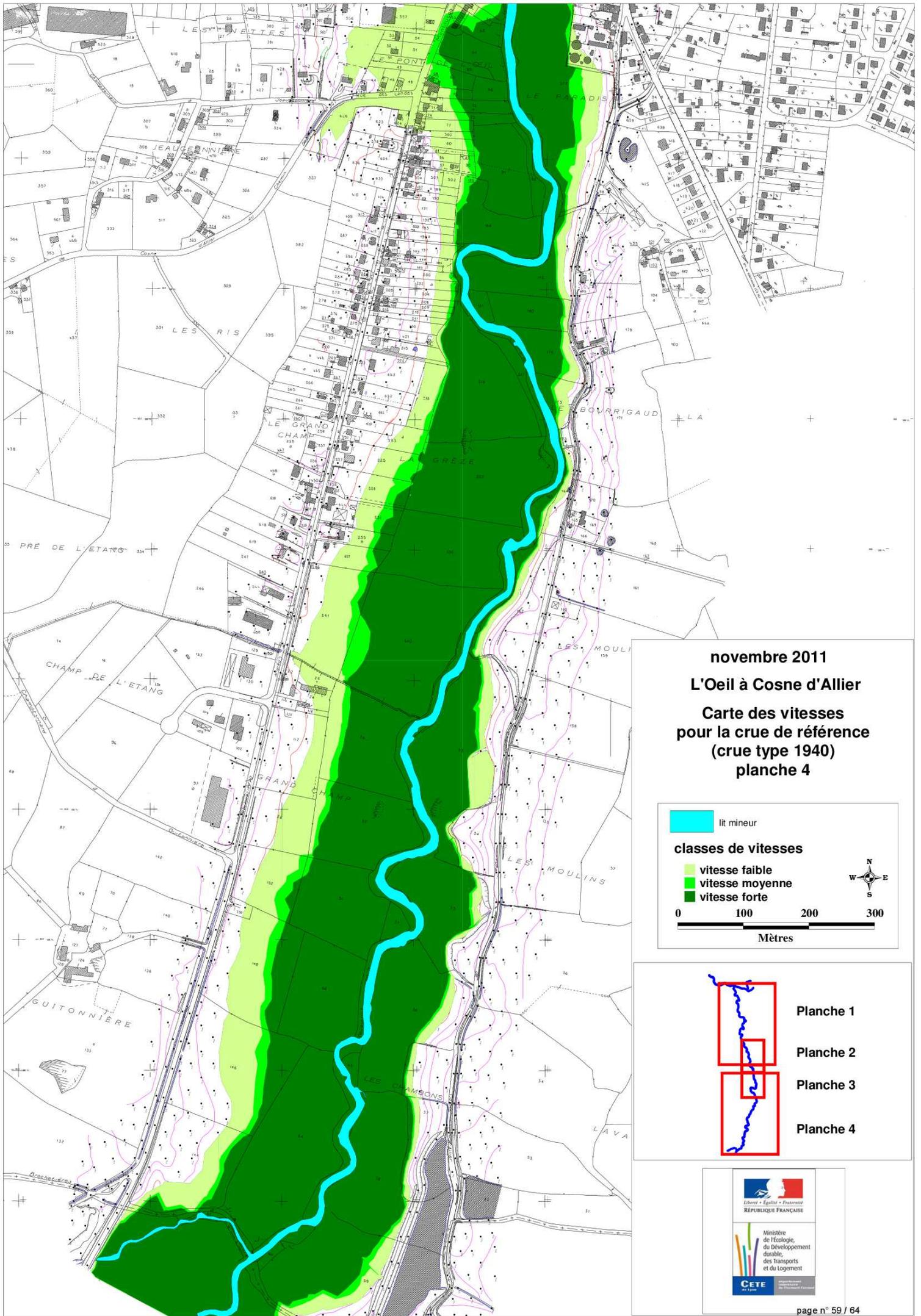


novembre 2011
L'Oeil à Cosne d'Allier
Carte des vitesses
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 3

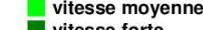
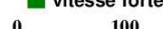
 lit mineur
classes de vitesses
 vitesse faible
 vitesse moyenne
 vitesse forte


 0 50 100
 Mètres

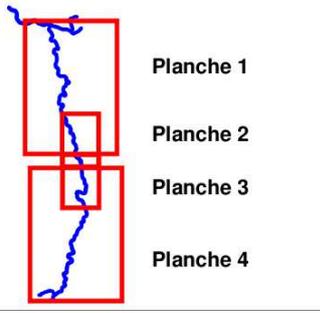




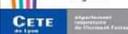
novembre 2011
L'Oeil à Cosne d'Allier
Carte des vitesses
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 4

 lit mineur
classes de vitesses
 vitesse faible
 vitesse moyenne
 vitesse forte

0 100 200 300
 Mètres

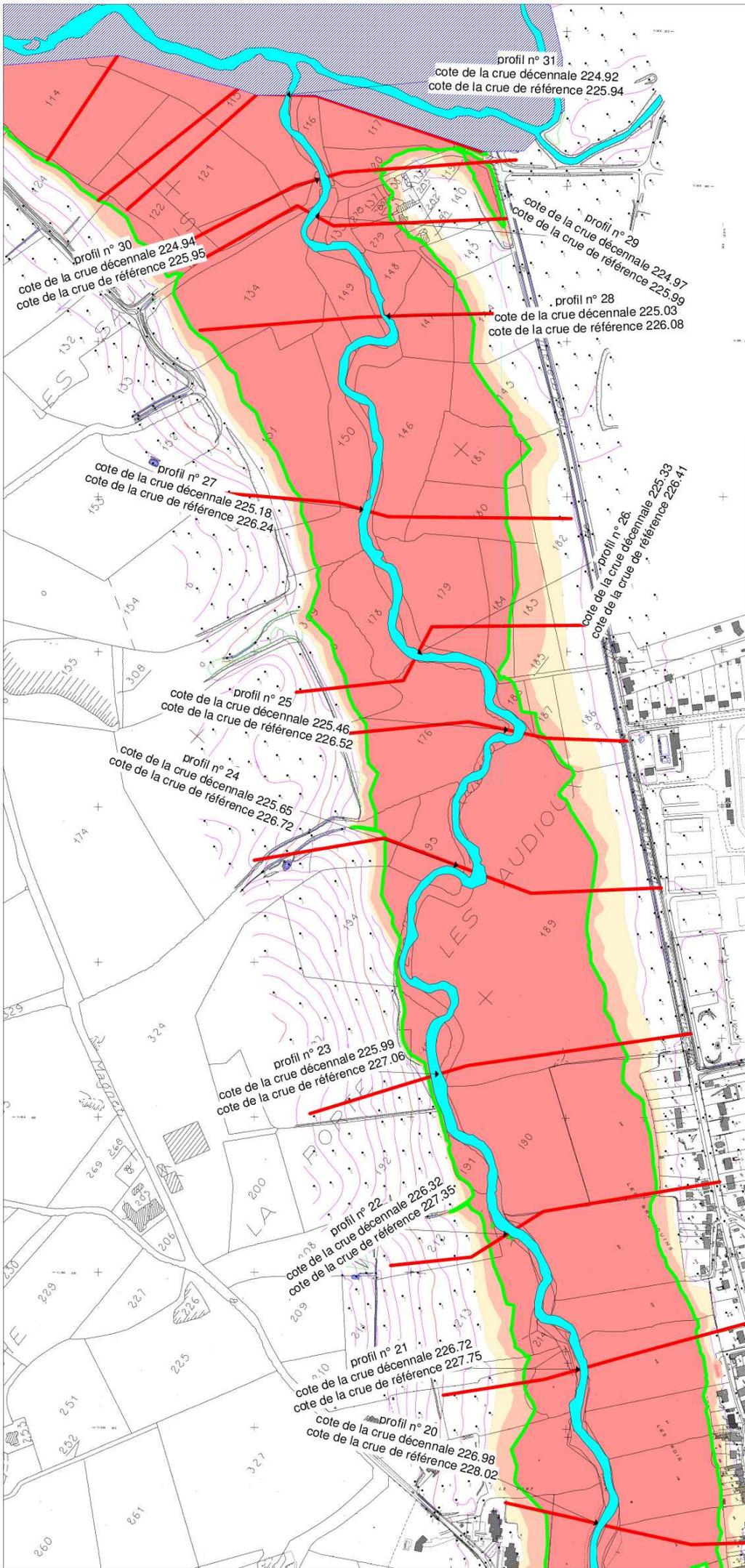




République Française
 Ministère
 de l'écologie,
 du développement
 durable,
 des Transports
 et du Logement



Annexe 4 : cartographie de l'aléa inondation pour la crue de référence

novembre 2011
 L'Oeil à Cosne d'Allier
 Carte des aléas
 pour la crue de référence
 (crue type 1940)
 planche 1



lit mineur

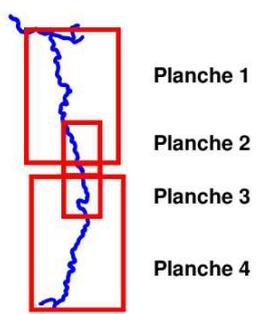
classes d'aléas

- aléa faible
- aléa moyen
- aléa fort

enveloppe de la crue décennale

confluence

0 100 200 300
Mètres



Liberté • Égalité • Fraternité
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

CETE

novembre 2011
 L'Oeil à Cosne d'Allier
 Carte des aléas
 pour la crue de référence
 (crue type 1940)
 planche 2

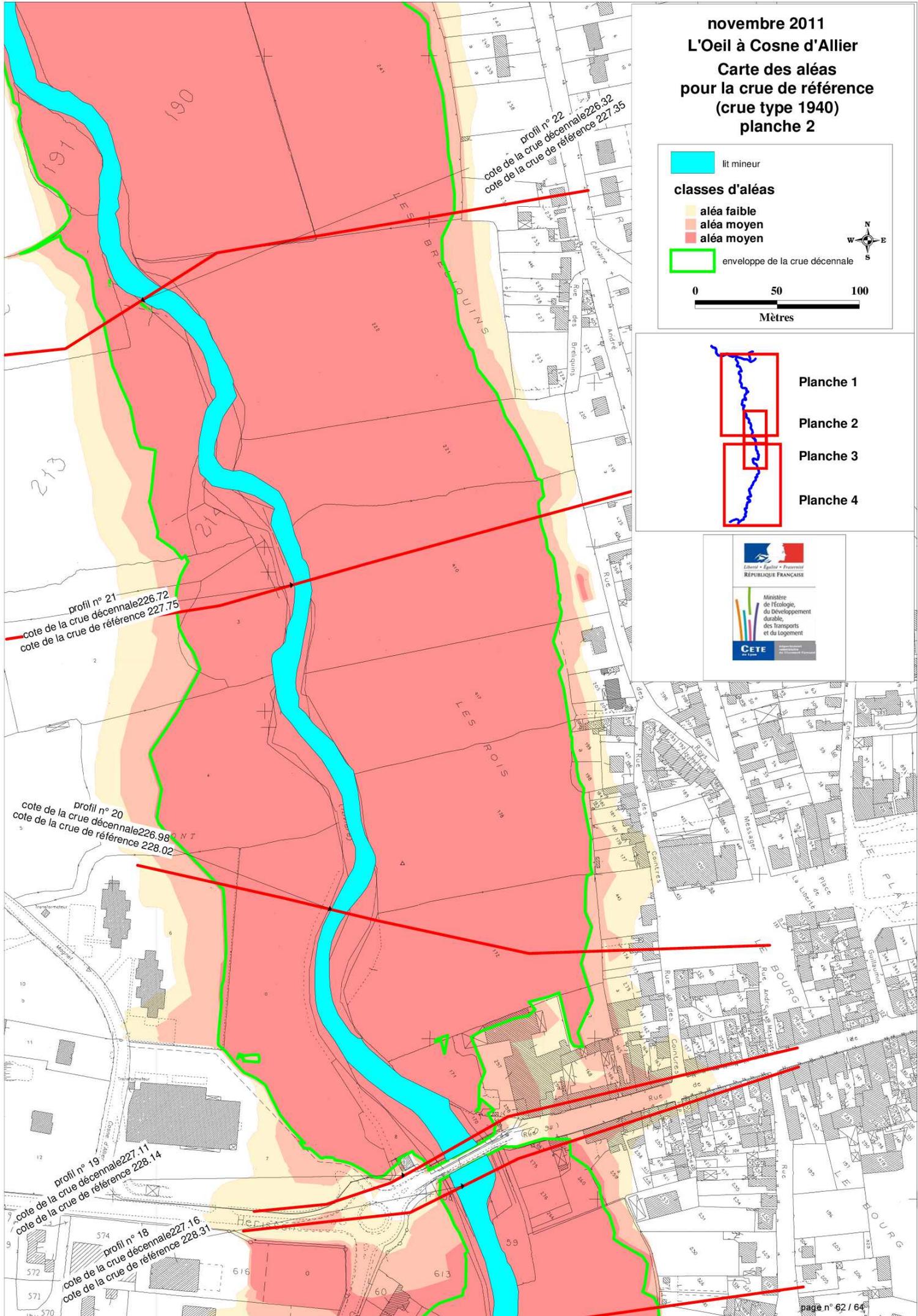
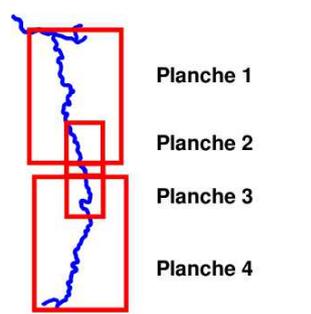
lit mineur

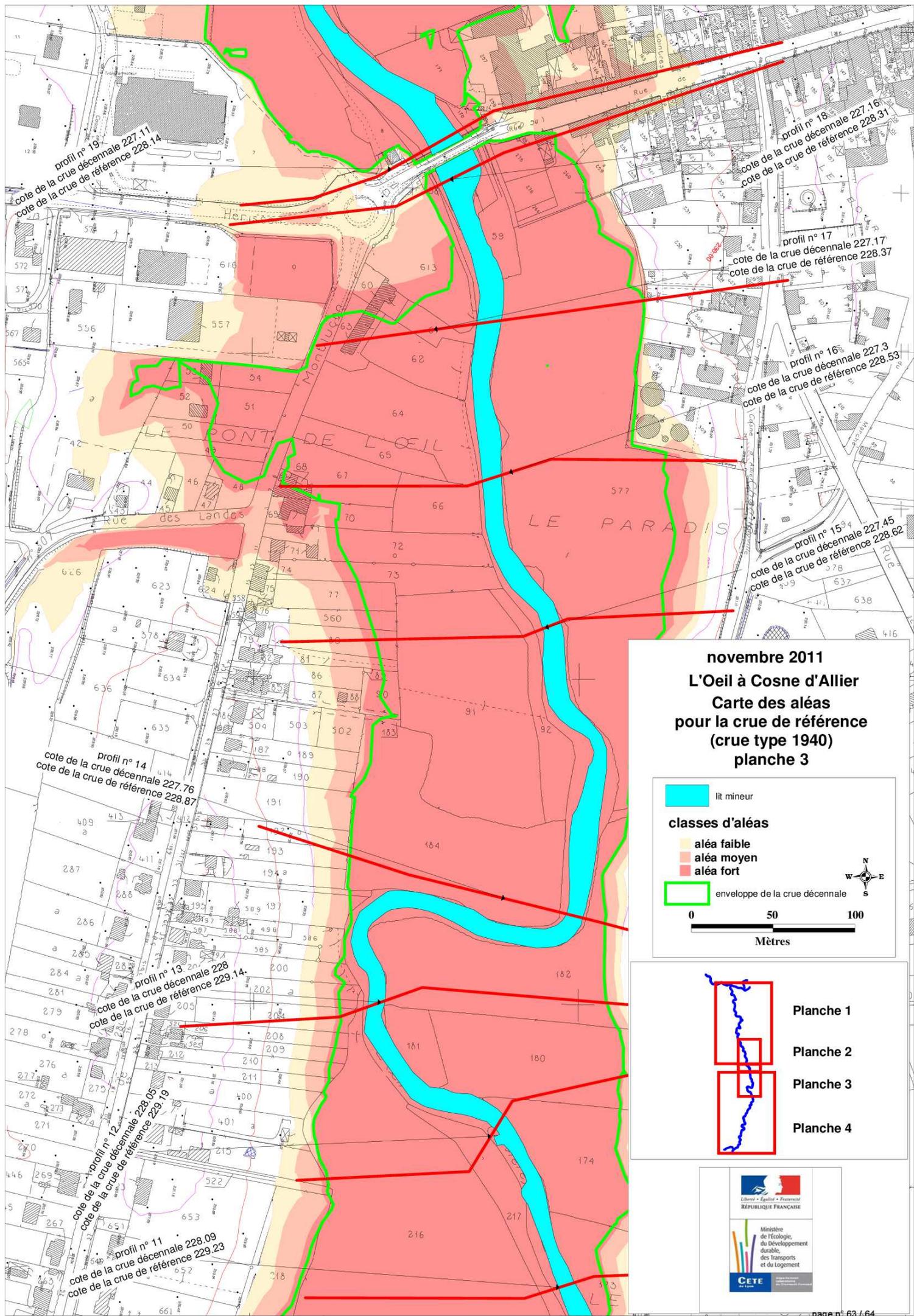
classes d'aléas

- aléa faible
- aléa moyen
- aléa moyen

enveloppe de la crue décennale

0 50 100
Mètres

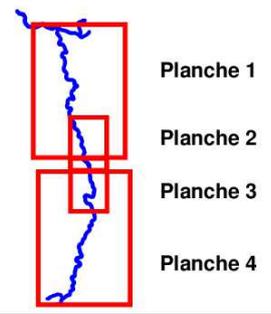


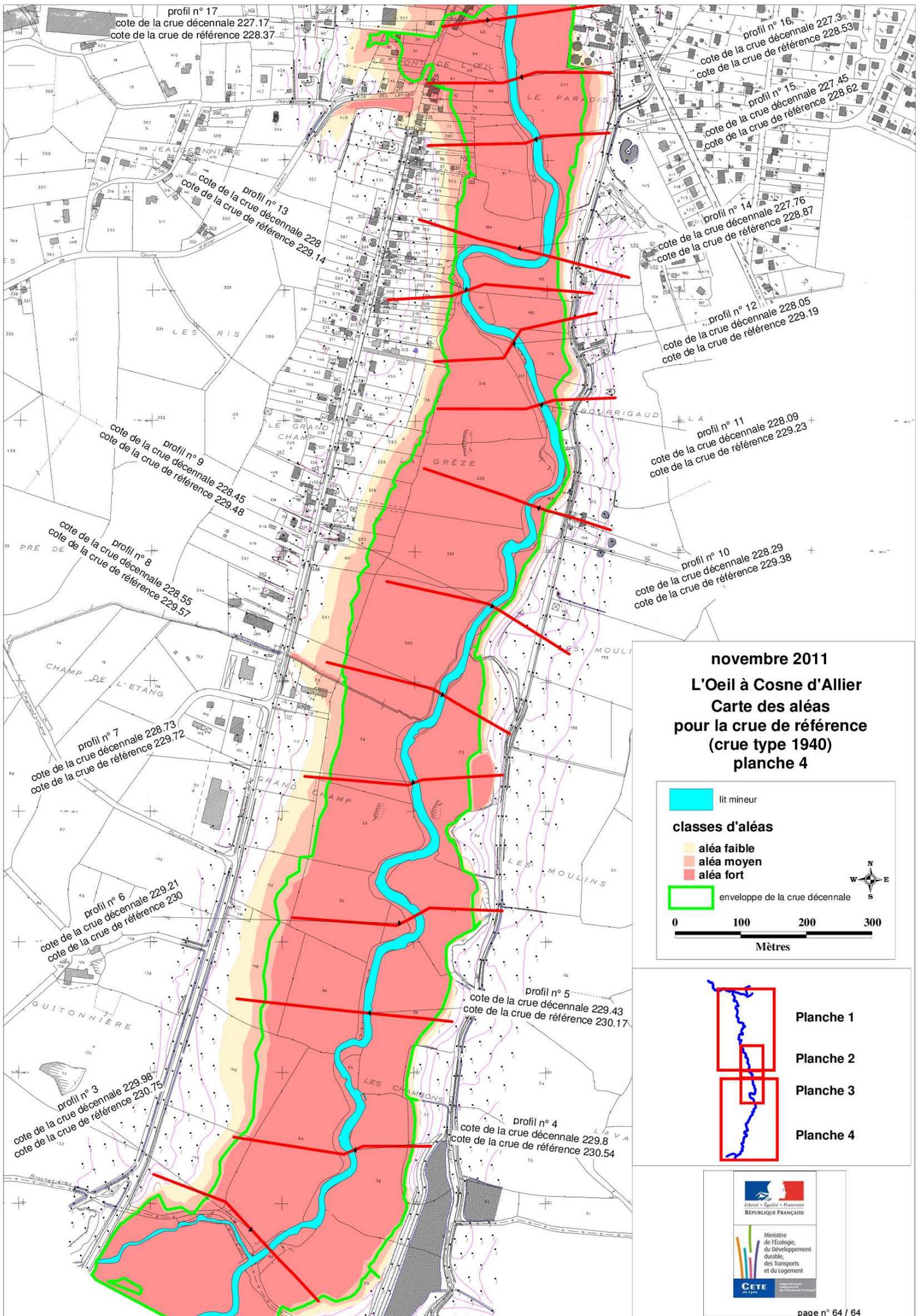


novembre 2011
L'Oeil à Cosne d'Allier
Carte des aléas
pour la crue de référence
(crue type 1940)
planche 3

lit mineur
classes d'aléas
 aléa faible
 aléa moyen
 aléa fort
 enveloppe de la crue décennale

0 50 100
Mètres





profil n° 17
 cote de la crue décennale 227.17
 cote de la crue de référence 228.37

profil n° 16
 cote de la crue décennale 227.33
 cote de la crue de référence 228.53

profil n° 15
 cote de la crue décennale 227.45
 cote de la crue de référence 228.62

profil n° 13
 cote de la crue décennale 228
 cote de la crue de référence 229.14

profil n° 14
 cote de la crue décennale 227.76
 cote de la crue de référence 228.87

profil n° 12
 cote de la crue décennale 228.05
 cote de la crue de référence 229.19

profil n° 9
 cote de la crue décennale 228.45
 cote de la crue de référence 229.48

profil n° 11
 cote de la crue décennale 228.09
 cote de la crue de référence 229.23

profil n° 8
 cote de la crue décennale 228.55
 cote de la crue de référence 229.57

profil n° 10
 cote de la crue décennale 228.29
 cote de la crue de référence 229.38

profil n° 7
 cote de la crue décennale 228.73
 cote de la crue de référence 229.72

profil n° 6
 cote de la crue décennale 229.21
 cote de la crue de référence 230

profil n° 5
 cote de la crue décennale 229.43
 cote de la crue de référence 230.17

profil n° 3
 cote de la crue décennale 229.98
 cote de la crue de référence 230.75

profil n° 4
 cote de la crue décennale 229.8
 cote de la crue de référence 230.54

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

**Présent
pour
l'avenir**

Centre d'Études Techniques de Lyon
25 avenue François Mitterrand
Case n°1
69674 BRON cedex
Tél. : 04 72 14 30 30
Fax : 04 72 14 30 35
CETE-Lyon@developpement-durable.gouv.fr

Département Laboratoire de Clermont-Ferrand
8-10, rue Bernard Palissy
63017 Clermont-Ferrand Cedex
Tél. : 04 73 42 10 10
Fax : 04 73 42 10 01
DLCF.CETE-Lyon@developpement-durable.gouv.fr