



Rapport de l'Inspection générale de l'environnement

IGE/06/012

novembre 2006

**RAPPORT COMPLÉMENTAIRE
À L'EXPERTISE DES PROJETS D'ACTION
DE PRÉVENTION DES INONDATIONS SUR LE BASSIN DU LEZ**

par

Philippe QUÉVREMONT

Ingénieur général du génie rural, des eaux et forêts
membre de l'inspection générale de l'environnement



INTRODUCTION

Par une note en date du 17 août 2006 (voir copie en annexe 1), le directeur de l'eau a demandé à l'inspection générale de l'environnement de préciser le rapport d'expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez qui lui a été remis le 5 juillet 2006¹. Il convient ainsi « d'éclairer... sur les conséquences d'une ré-estimation du débit de la crue centennale pour l'établissement des plans de prévention des risques de Lattes et de Montpellier et sur l'opportunité de réalisation du projet en l'état ».

Ces deux questions appellent une réponse distincte.

1. Conséquences d'une ré-estimation de la crue centennale.

Il doit être d'abord rappelé² que les récentes crues du Lez (2002, 2003, 2005) doivent conduire, selon le rapport de mission remis le 5 juillet 2006, à revaloriser l'estimation des crues de référence du Lez. La mission a ainsi recommandé de retenir une estimation à hauteur de 900 m³/s pour le débit centennial du Lez au niveau de l'autoroute A9, évalué à 755 m³/s depuis 1989. Cette revalorisation ne serait d'ailleurs qu'un retour aux chiffres admis avant l'urbanisation accélérée du lit majeur du Lez à l'aval de Montpellier, soit de 720 à 1200 m³/s pour la crue centennale³.

Compte tenu de la complexité de ce bassin, due en particulier à l'existence d'une très grande zone urbanisée (Montpellier) à l'amont immédiat du delta du Lez, et de l'intérêt qu'il peut y avoir à distinguer l'évaluation du risque de sa gestion⁴, la mission⁵ estimait cependant prudent⁶ de faire réunir une conférence scientifique, afin d'établir durablement une estimation fiabilisée. Dans l'attente de l'organisation de cette réunion, à confier à la Diren Languedoc-Roussillon, la mission a considéré que son avis devait être préparé sur la base d'une estimation à 900 m³/s de la crue centennale.

A la date où ce rapport complémentaire est établi, soit plus de quatre mois après le rapport initial, cette recommandation ne semble pas avoir été suivie d'effet. On ne peut que le regretter. La mission ignore également si la recommandation, faite initialement, de prendre rapidement (d'ici octobre 2006) pour Lattes un plan de prévention des risques (PPR) d'inondation dit « par anticipation (article L.562-2 du code de l'environnement) a été (ou non) suivie.

¹ Expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez, rapport IGE/06/012.

² Voir le rapport IGE/06/012 du 4 juillet 2006, Expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez, partie 3 (la détermination des aléas de référence).

³ Soit une médiane à 960 m³/s, estimation établie par SOGREAH et CNABRL en 1963.

⁴ Les risques sanitaires liés à l'alimentation sont par exemple évalués par une autorité distincte (AFSSA) de celle qui est responsable de leur gestion.

⁵ Voir partie 3 du rapport, dernier alinéa.

⁶ Compte tenu de la multiplication des contentieux affectant désormais les actions de l'État et des collectivités, le document produit à l'issue de cette conférence scientifique doit en effet être particulièrement argumenté.

Le fait d'arrêter un PPR « par anticipation », s'il était immédiat, sur la base de l'estimation de la crue centennale couramment admise jusqu'ici, pourrait être une solution provisoire admissible, à condition que le PPR conforme à l'article L.562-1 suive rapidement, et que ce PPR « définitif » soit établi après revalorisation de la crue centennale. En effet, l'objectif du PPR « par anticipation » est d'abord de renforcer l'application des interdictions de construire actuellement opposées par la commune sur la seule base juridique de l'article R.112-2 du code de l'urbanisme. Cette solution ne saurait cependant être durable, ne serait-ce que parce qu'elle ne permet pas d'intervenir sur l'habitat existant.

La nouvelle définition de la crue centennale devra en revanche faire référence pour l'établissement du PPR de Lattes, à arrêter en 2007 en application de l'article L. 562-1 du code de l'environnement. Cette nouvelle évaluation du risque ne devrait guère modifier la délimitation des zones où l'interdiction de construire doit être maintenue⁷, elle est cependant nécessaire à la qualité juridique du PPR et à la bonne détermination des mesures concernant le bâti existant.

L'adaptation du PPR de Montpellier (mentionnée en partie 10 du rapport) doit également être entreprise sans délai : la revalorisation de la crue centennale à l'amont de Montpellier doit d'ores et déjà être considérée comme certaine, car elle est directement issue du constat des crues passées, si on y inclut bien 2005.

Les principales difficultés techniques sur lesquelles la conférence scientifique à réunir doit se prononcer concernent les points suivants :

- l'estimation faite par la DIREN d'une crue centennale amont à 650 m³/s est-elle appropriée ?
- sur la base de quelles données et/ou de quel raisonnement peut-on estimer les apports de la zone urbaine de Montpellier ?
- comment peut-on estimer la concomitance d'événements pluvieux importants sur le bassin aval (zone urbaine) et des crues affectant le bassin amont ?

Pour contribuer à la préparation des débats de cette commission, il doit être rappelé que le premier point, s'il ne doit pas être exclu du débat scientifique, est apparu suffisamment établi aux yeux de la mission pour qu'elle ait considéré qu'elle devait élaborer les raisonnements qui fondent son avis sur la base de l'estimation de la crue centennale à 900 m³/s⁸. Ce dernier débit ne fait en effet que répercuter en aval l'augmentation amont estimée par la DIREN : la crue centennale antérieure s'établissait à La Valette à 500 m³/s, sa revalorisation à 650 m³/s induit (en première approche) une revalorisation équivalente en aval (de 755 à 900 m³/s).

Un tel raisonnement n'explique pas selon quel parcours une telle crue aboutit en aval, les éléments remis à la mission ne permettant pas de conclure sur ce point. L'hypothèse selon laquelle une part significative de ces écoulements supplémentaires emprunterait le lit majeur du fleuve a été évoquée au cours de la mission ; cette hypothèse mérite examen, mais en ce cas il conviendrait aussi de préciser quelles seraient alors les zones inondées, et d'en tenir compte pour les PPR de Montpellier et de Lattes. Cet élément confirme la nécessité de revoir le plan de prévention des risques de Montpellier, actuellement établi sur la base d'une sous-évaluation de la crue centennale à l'amont de Montpellier.

⁷ C'est essentiellement pour cette raison qu'on peut admettre pour Lattes l'établissement d'un PPR immédiat « par anticipation » sur la base de la crue centennale jusqu'ici évaluée.

⁸ Voir partie 3 du rapport 11^{ème} alinéa.

En résumé, la ville de Lattes est exposée à de très graves risques d'inondation, pourtant elle ne fait l'objet d'aucun plan de prévention des risques. Cette carence doit être comblée en urgence. Le plan actuel concernant Montpellier sous-évalue nettement l'ampleur des risques ; il doit être repris et complété. On pourrait d'ailleurs craindre que cette sous-évaluation, si elle se révélait durable, n'engage la responsabilité de l'État (le plan de prévention relève de l'autorité du préfet), l'écart d'estimation en amont de Montpellier est en effet important (23%).

2. Opportunité de réalisation du projet de protection de Lattes

La question est de savoir s'il convient de soutenir la réalisation immédiate du projet de protection de Lattes préparé par la communauté d'agglomération de Montpellier, malgré le caractère provisoire de la définition des crues de référence sur le Lez.

Avant d'aborder la réponse à apporter à cette deuxième question posée par le directeur de l'eau, il convient de rappeler que l'on ne doit pas confondre deux concepts différents :

- la **crue centennale** est celle dont la probabilité est de 1% chaque année ; sur une très longue série, son observation aurait donc tendance à apparaître une fois par siècle en moyenne (loi des grands nombres). Lorsque aucune crue historique plus importante n'a été observée, le plan de prévention des risques d'inondation est arrêté par le préfet sur la base d'une estimation de la crue centennale, extrapolée à partir des crues déjà observées.
- Les ouvrages hydrauliques, et en particulier les ouvrages de protection des lieux habités contre les inondations, sont conçus pour contenir une crue définie, dite **crue de projet**.

Il est fréquent de retenir le choix d'une crue centennale en tant que crue de projet, le choix d'une crue plus importante étant également constaté si les enjeux humains et matériels à protéger sont particulièrement conséquents. La crue de projet ne correspond donc pas nécessairement à la crue centennale, la mission ne connaissant pas de texte juridique imposant une telle référence.

Le choix d'une crue de projet moins importante (plus fréquente) que la crue centennale est cependant moins courant, son caractère contraignant ne devant pas être sous-estimé : il convient ainsi par exemple de préciser quelles sont les dispositions prises pour assurer correctement la sécurité des personnes, dans le plan de prévision des risques établi par le préfet comme dans le plan de sauvegarde préparé par le maire.

Le choix de la crue de projet relève de la responsabilité de la collectivité maître d'ouvrage, il correspond à une appréciation d'opportunité entre le niveau de risque résiduel et les possibilités techniques et/ou financières disponibles localement.

Selon l'avis de la mission, la crue de projet retenue pour les travaux de protection de Lattes, soit 755 m³/s, serait proche de l'estimation de la crue d'occurrence 50 ans. Ce constat est-il de nature à remettre en cause ou à différer l'investissement prévu par la communauté d'agglomération ?

La mission a estimé⁹ qu'il ne serait pas approprié de retarder ce projet, pour les raisons suivantes :

- l'adaptation du projet actuel à un supplément de débit de l'ordre de 150 m³/s supposerait de le modifier profondément : faute, pour des raisons foncières, de pouvoir élargir le chenal rive gauche, on n'aurait guère le choix qu'entre l'approfondir, et/ou l'accompagner de digues élevées (et non plus de merlons de 1,50 m). Son approfondissement ferait aussitôt ré-apparaître les difficultés d'évacuation des déblais constatées au début de la mission, avant que le projet ne soit adapté. L'érection de digues élevées ne semble pas non plus souhaitable dans un contexte urbain où leur caractère dangereux pose déjà problème.
- La solution alternative visant à mettre en service un 2ème écoulement de crue rive droite doit être alors évaluée. La connaissance précise de la crue centennale à retenir pour l'élaboration du PPR permettra un calage fin du complément de ce projet à venir.
- Le projet actuel est prêt, aux ajustements près signalés par la mission, et il peut être mis en œuvre dans un délai raisonnable, permettant de faire face à une situation où la vie humaine est actuellement en danger. Il convient en effet de rappeler que le projet actuel, s'il laisse probablement intervenir environ 2 inondations par siècle accompagnées de dégâts matériels importants, réduit de manière beaucoup plus significative le risque de rupture des digues et d'atteinte aux personnes, actuellement anormalement élevé. Le risque d'inondation susceptible d'entraîner la rupture de digues et des atteintes aux personnes est en effet actuellement d'environ 5 par siècle.
- Au plan économique le projet actuel a déjà un impact significatif, puisqu'il supprime le risque des dégâts matériels associés à plus d'une inondation sur 2.

La réalisation rapide du projet de protection de Lattes doit donc être recommandée, même si celui-ci ne saurait être considéré comme suffisant dans la durée¹⁰.

Une nouvelle estimation préalable de la crue centennale du Lez, sur des bases scientifiques incontestables, améliorerait cependant la sécurité juridique du projet de protection de Lattes : elle réduirait les difficultés que rencontrerait la police de l'eau à formuler un avis officiel, c'est à dire étayé, sur un projet de travaux, si la crue centennale n'était pas révisée d'ici là. Un dossier d'enquête publique préparé sur la base de l'estimation admise jusqu'ici (755 m³/s à hauteur de l'A9) pourrait aussi être fragile.

Il serait enfin paradoxal de constater que les plus récentes crues, qui ont fortement contribué à accélérer la prise de conscience locale du danger, ne soient pas prises en compte, au plan scientifique, pour l'évaluation chiffrée des dangers.

⁹ Voir par exemple le 3^{ème} alinéa de la conclusion en 11 ou le 4^{ème} alinéa du résumé.

¹⁰ Voir l'avant dernier alinéa de la conclusion du rapport.

3. La protection des personnes.

Le rapport initial recommandait aussi¹¹ à la police de l'eau de faire réaliser dès l'été 2006 une expertise complémentaire, afin de déterminer quelles doivent être les habitations à évacuer en urgence, en cas d'alerte rouge de Météo-France, ou de crue du Lez induisant des dangers significatifs.

Ce travail, initié le 5 juillet 2006, a abouti à la remise d'un rapport technique par le CEMAGREF le 19 septembre 2006 (voir en annexe 2). La mission ignore quelles suites ont été données, en matière de sécurité des personnes, à cette expertise complémentaire : les habitants des maisons les plus exposées au risque de rupture des digues ont-ils été individuellement prévenus qu'une évacuation serait demandée en urgence en cas d'alerte rouge de Météo-France, et/ou pour des crues inquiétantes du Lez ? Des exercices d'évacuation (ne serait-ce qu'en cas d'alerte moins dangereuse) ont-ils été prévus et réalisés ? On doit rappeler qu'en l'absence de ces précautions préalables, il est difficile de croire qu'une évacuation ordonnée dans l'urgence puisse se dérouler correctement.

Philippe Quévremont



¹¹ Voir en particulier l'avant-dernier paragraphe de la partie 6.3 (la mise en sécurité des personnes).



**Direction
de l'Eau**

Sous-direction des milieux aquatiques
et de la gestion des eaux
Bureau de la prévention des inondations
et de la gestion des rivières
Philippe ORIGNAC
tél : 01 42 19 12 29 – fax : 01 42 19 12 35
philippe.orianac@ecologie.gouv.fr

K:\MAGE_\Chrono\MAGE_Chrono_courrier_2006\2006 590 PIGR Pho
mission Inspection Lez complement.doc

Paris, le **17 AOÛT 2006**

Note

**à Monsieur le chef du service
de l'inspection générale de l'environnement**

objet : Expertise des projets d'actions de prévention des inondations sur le bassin du Lez

Ref : votre note du 4 juillet 2006

Dans le rapport cité en référence, transmis par note en date du 4 juillet 2006, la question de l'évaluation de la crue centennale du Lez à Lattes a soulevé des interrogations lors de la réunion tenue avec le préfet, ses services, les élus et les services des collectivités territoriales le 10 juillet 2006.

Je vous saurai gré de m'éclairer plus avant sur les conséquences d'une réestimation du débit de la crue centennale pour l'élaboration des plans de prévention des risques de Lattes et de Montpellier et sur l'opportunité d'une réalisation du projet en l'état. Les niveaux de risques auxquels les populations sont exposées actuellement et après la réalisation du projet sont bien évidemment centraux pour évaluer l'opportunité de réalisation du projet.

En outre, il me serait agréable que vous fassiez part des avantages et des inconvénients d'un calage du déversoir à une cote telle que le chenal de la Lironde soit mobilisé dès 400 m³/s.

Le directeur de l'eau

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pascal Berteaud'.

Pascal Berteaud



Expertise sur le risque lié à la rupture des digues du Lez sur la commune de Lattes

A. Paquier

Département Ressources en Eau, Usages et Risques
Unité de recherche Hydrologie – Hydraulique

Groupement de Lyon
3 bis quai Chauveau CP 220
69336 Lyon Cedex 09

Tél : 04 72 20 87 87 – Fax : 04 78 47 78 75

Septembre 2006

Expertise sur le risque lié à la rupture des digues du Lez sur la commune de Lattes

Rapport final

Objectif de l'expertise

L'objectif de l'expertise consiste en l'établissement d'une classification des bâtiments (et autres installations telles que campings) concernés par la rupture des digues le long du Lez à partir de critères hydrauliques (hauteur et vitesse de l'écoulement).

Le domaine d'étude est limité aux bâtiments situés à moins de 100 mètres des digues sur la commune de Lattes. On examinera uniquement les sollicitations face à une brèche unique lors de l'événement de référence (débit de pointe de 755 m³/s).

Méthode de calcul utilisée

Un modèle hydraulique bidimensionnel simplifié a été bâti. Ce modèle comprend le lit mineur du Lez et le lit majeur jusqu'à des cours d'eau qui peuvent servir d'exutoires aux crues. Le tracé de ces exutoires résulte du fichier en coordonnées Lambert fourni lors de la réunion du 7 juillet 2006. A l'amont, la limite est l'autoroute A9; à l'aval, la limite est un point où dans la simulation de référence, le niveau demeure constant et est égal à 1,5 m (influence du niveau marin).

Le lit majeur courant y compris la voie rapide est interpolé en topographie à partir des points cotés de la topographie 2004_GE_infra [1] fournie à cette même réunion. La position du lit mineur est issue de ces mêmes données alors que sa topographie est issue des profils en travers du modèle STREAM du BCEOM fourni le 19 juillet 2006 par le BCEOM sous forme de profils en travers en abscisse cote. Le niveau des digues et le terrain naturel au pied des digues a lui été interpolé à partir du profil en long fourni lors de la réunion et contenu dans un fichier "plberge.xls". De la non concordance entre ces différentes sources de données (en particulier la définition des longueurs le long de la rivière) résultent des erreurs locales, parfois des erreurs systématiques mais plutôt du côté d'une approche sécuritaire. Pour effectuer un classement général, ces incertitudes n'apparaissent pas importantes ; elles pourraient être levées en retournant à la source des différentes données si un diagnostic local précis l'exigeait.

Le maillage utilisé a aussi été relativement systématique avec un pas d'espace de 50 mètres le long du Lez et 20 mètres dans la direction transversale à proximité des digues (figures 1a à 1d)

Le modèle bidimensionnel (logiciel Rubar 20 du Cemagref) est sommairement calé en lit mineur en retrouvant un niveau similaire au modèle BCEOM pour la crue de référence. Les données utilisées sont les limnigrammes et hydrogrammes (figure 2) du modèle BCEOM fournis le 19 juillet 2006. Ceci correspond à un coefficient de Strickler de 25 pour le lit mineur du modèle 2D (figure 3). Pour le lit majeur, un coefficient de Strickler de 15 a été choisi mais l'influence de cette valeur (dans des limites vraisemblables) est négligeable sur les résultats obtenus à l'aval immédiat des digues. La rupture d'une digue est représentée par un ouvrage simulant l'érosion progressive (voir annexe pour le principe de calcul) de la digue par renard (ce mode, le plus pénalisant, ne pouvant être exclu en général). En fonction de la localisation des brèches et des résultats de l'étude ISL (fournie le 7 juillet 2006 [2]) qui définissait deux classes principales de digues face au risque de rupture, le Strickler à l'intérieur de la digue qui module le rythme d'érosion a été pris égal à 20 (digue fragile) ou 25

(digue peu sensible au renard). L'épaisseur de la digue dépend de la pente des parements et de la largeur de crête mais cette dernière a été systématiquement prise égale à 3 mètres pour simplifier. Les autres paramètres du modèle sont :

diamètre médian des sédiments composant la digue : 0,05 mm

porosité du matériau en place : 30%

masse volumique des sédiments : 2600kg/m³

érosion jusqu'à la cote du terrain naturel côté lit majeur

diamètre initial du renard : 10 cm (ce paramètre joue essentiellement sur la durée d'initialisation du renard)

46 sites de brèches ont été identifiés (figures 1a à 1d) le long des digues correspondant à des bâtiments ou à des groupes de bâtiments pour lesquels on souhaite une classification de l'aléa. Chaque site a fait l'objet d'un calcul où une seule brèche était ouverte.

Classification de l'aléa

Pour la classification, les critères utilisés dans les PPRI (Plan de prévention des risques d'inondation) ont été retenus. On distinguera finalement douze classes correspondant au croisement de quatre classes pour les vitesses (une classe de très forte vitesse ayant été rajoutée) et trois classes pour les hauteurs d'eau:

- v1 : $v < 0.2$ m/s

- v2 : $0.2 \text{ m/s} < v < 0.5$ m/s

- v3 : $0.5 \text{ m/s} < v < 1$ m/s

- v4 : $v > 1$ m/s

- h1 : $h < 0.5$ m

- h2 : $0.5 \text{ m} < h < 1$ m

- h3 : $h > 1$ m

où h et v correspondent aux hauteur et vitesse maximales obtenues par le calcul (moyenne dans une maille de calcul) dans la période suivant la rupture de digue (une inondation par retour amenant des hauteurs plus fortes n'est donc pas prise en compte)..

Les classes h3 v4, h3v3, h2v4 et à un moindre degré h2v3 et h3v2 constituent des zones d'aléa extrême en cas de rupture.

Par ailleurs, compte tenu du pas d'espace adopté, dans la bande de 100 mètres étudiés, 5 résultats différents peuvent être obtenus correspondant à des tranches de distance de 20 mètres dans lesquelles les bâtiments seront rangés.

On a finalement retenu de fournir les résultats du calcul sous forme d'un tableau donnant pour chaque calcul de brèche, les classes d'aléa selon la distance à la digue. Il s'agit d'une première interprétation des résultats. On pourra aussi remarquer qu'à l'intérieur d'une même zone, sauf cas particulier entraînant une augmentation locale de vitesse ou de hauteur que la proximité de la digue est un facteur aggravant dont il faut tenir compte.

A partir de ce tableau et en vérifiant la cohérence des résultats pour des brèches situées à proximité dans un même environnement, on peut affecter une classe d'aléa à chaque bâtiment. Il s'agit donc d'une deuxième interprétation des résultats. Il est nécessaire de prendre en compte la différence entre le calcul (frottement homogène) et la réalité du terrain où se trouvent de nombreux obstacles. Les résultats du calcul doivent donc être réinterprétés dans le cas de zones urbaines denses : zone rive gauche entre les PK 1550 et 2100 et à un moindre degré zones de rive droite entre les PK 4800 et 4900 ainsi que en rive gauche pour les PK de 3600 à 3900 car la proximité des maisons peut

augmenter les vitesses et donc accroître le risque. Un calcul test sur la brèche 6 en incluant les bâtiments dans la modélisation a ainsi montré que le relèvement des niveaux d'eau pouvait être très important (figures 4a et 4b) atteignant un maximum de surélévation de 0,64 m pour ce cas précis. C'est pour cela que pour la zone à plus forte concentration de bâti, la classe de vitesse à proximité de la digue a été augmentée par rapport au calcul de base pour les bâtiments situés à moins de 40 mètres de la digue.

Finalement, une carte (figures 5a à 5d) indique, pour chaque bâtiment ou groupe de bâtiments (issu de [3]), la classe d'aléa qui est associée à la ou les mailles dans laquelle ou lesquelles il se situe.

Références des documents consultés

[1] GE - INFRA Plan photogrammétrique, prises de vue du 23/05/03 (11 planches).

[2] ISL Bureau d'Ingénieurs Conseils. Diagnostic - Dignes de protection contre les crues du Lez à Lattes. juin 2006. Montpellier Agglomération.

[3] Communauté d'agglomération de Montpellier CD de données - plan du cadastre - commune de Lattes. 4 juillet 2006. (format shape)

BCEOM Etude pour la protection contre les inondations de la basse vallée du Lez. Commune de Lattes - octobre 2004 (Note de synthèse des parties B et C; partie B, rapports d'étape 1, 2 et 3)

BCEOM PPRI de Lattes Compléments de modélisation - Note technique. Mars 2005. Direction Départementale de l'Équipement de l'Hérault. (rapport + 2 cartes hauteurs et vitesses)

BCEOM PPRI de Lattes Compléments de modélisation Brèches sur le Lez et le Lantissargues - Note technique. Mai 2006. Direction Départementale de l'Équipement de l'Hérault. (rapport provisoire)

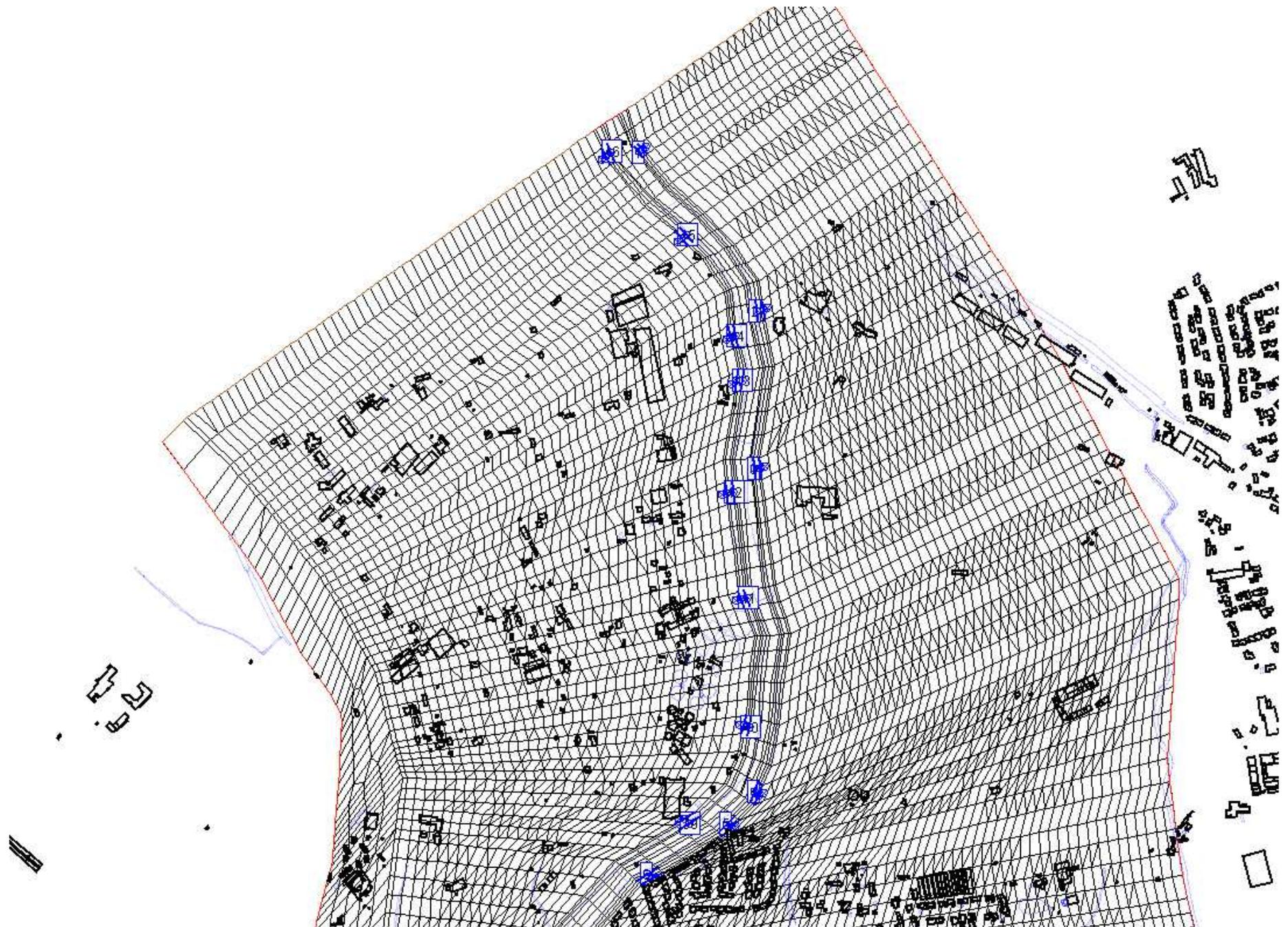


Figure 1a - Maillage de calcul et localisation des brèches (planches a à d du Nord au Sud)

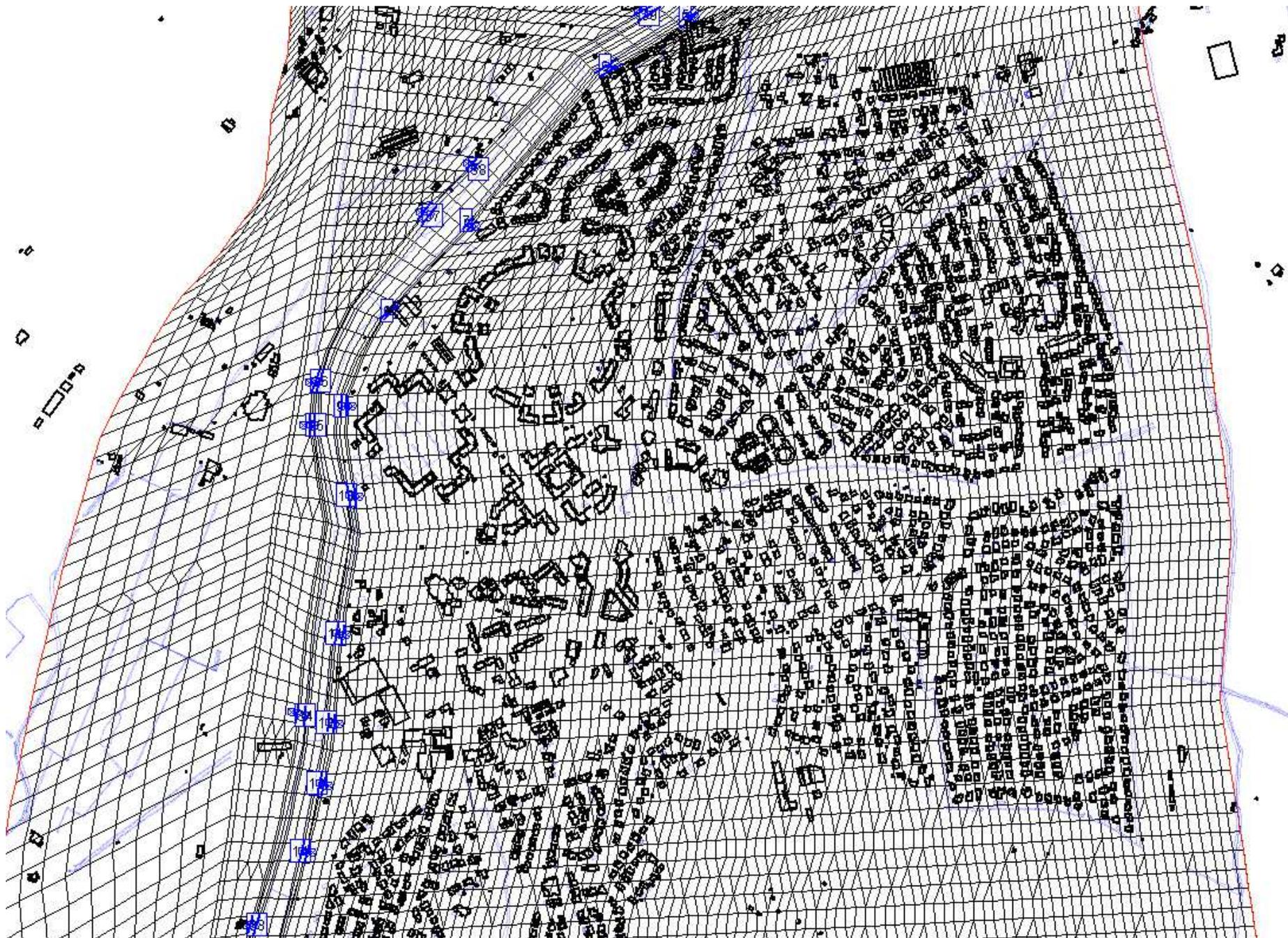


Figure 1b - Maillage de calcul et localisation des brèches (planches a à d du Nord au Sud)



Figure 1c - Maillage de calcul et localisation des brèches (planches a à d du Nord au Sud)

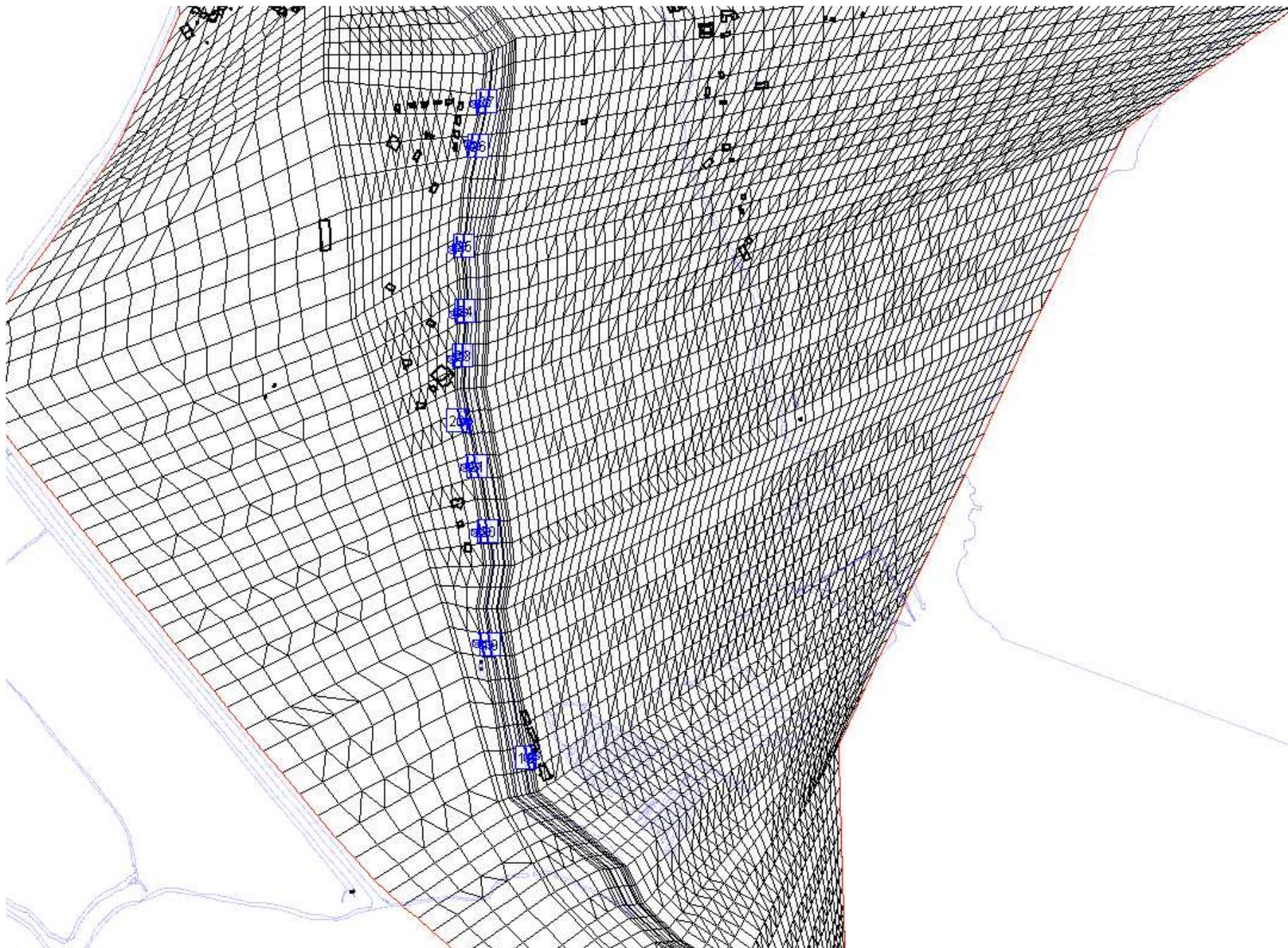


Figure 1d - Maillage de calcul et localisation des brèches (planches a à d du Nord au Sud)

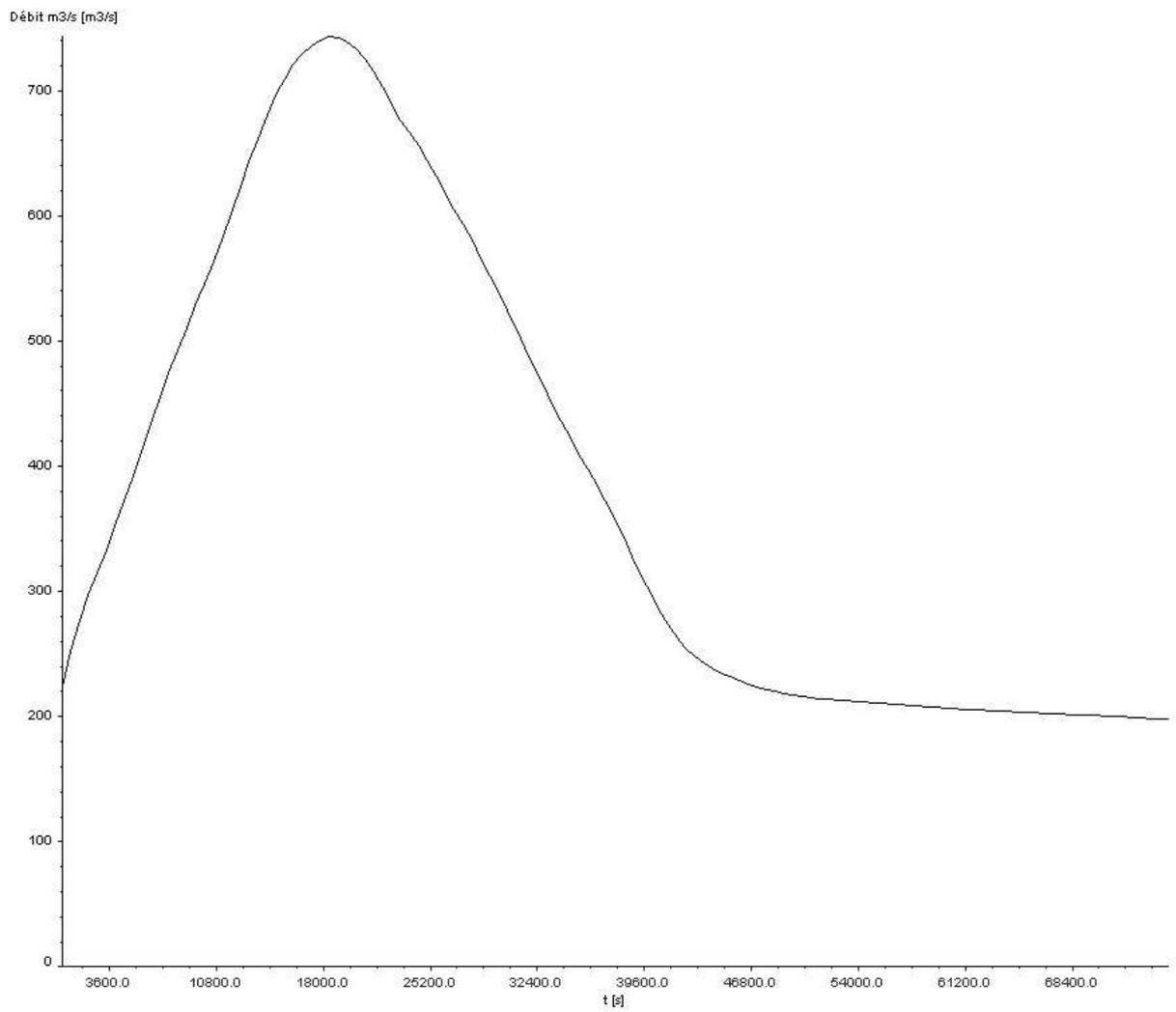


Figure 2 - Hydrogramme utilisé à l'amont du modèle



Figure 3 - Coefficients de Strickler utilisés

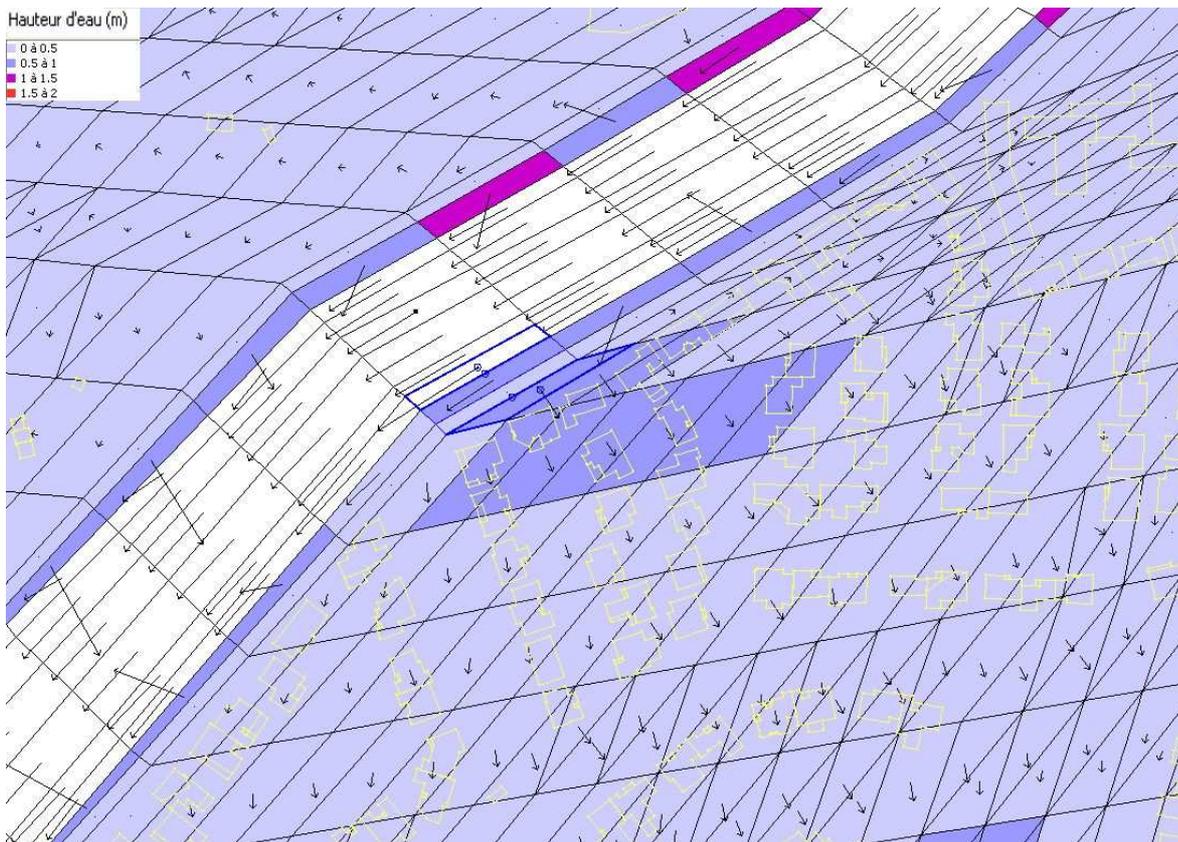


Figure 4a - Exemple de résultat de calcul à l'aval d'une brèche (située au centre)

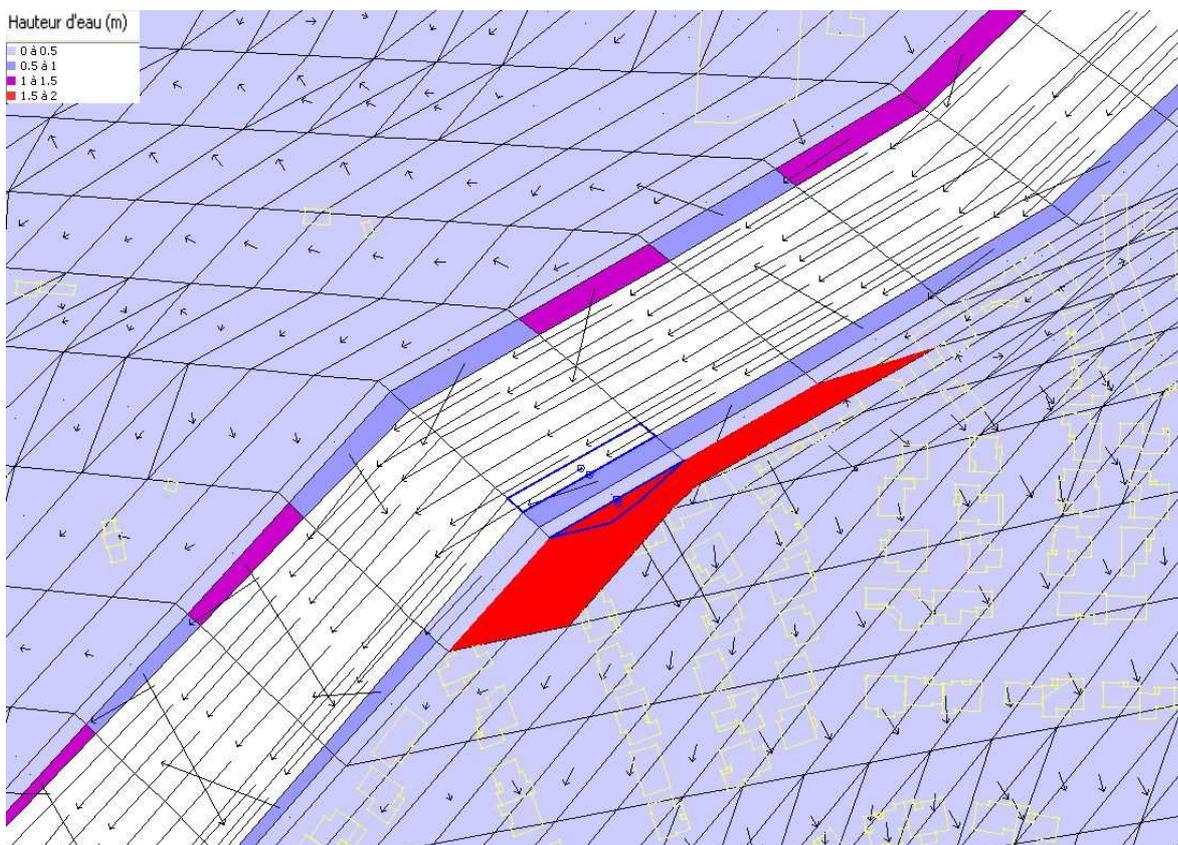


Figure 4b - Exemple de résultat de calcul à l'aval d'une brèche (située au centre) avec prise en compte des bâtiments (supposés résister)

Classes d'aléa

- h1v1
- h1v2
- h1v3
- h2v2
- h1v4
- h3v2
- h2v3
- h2v4
- h3v3
- h3v4

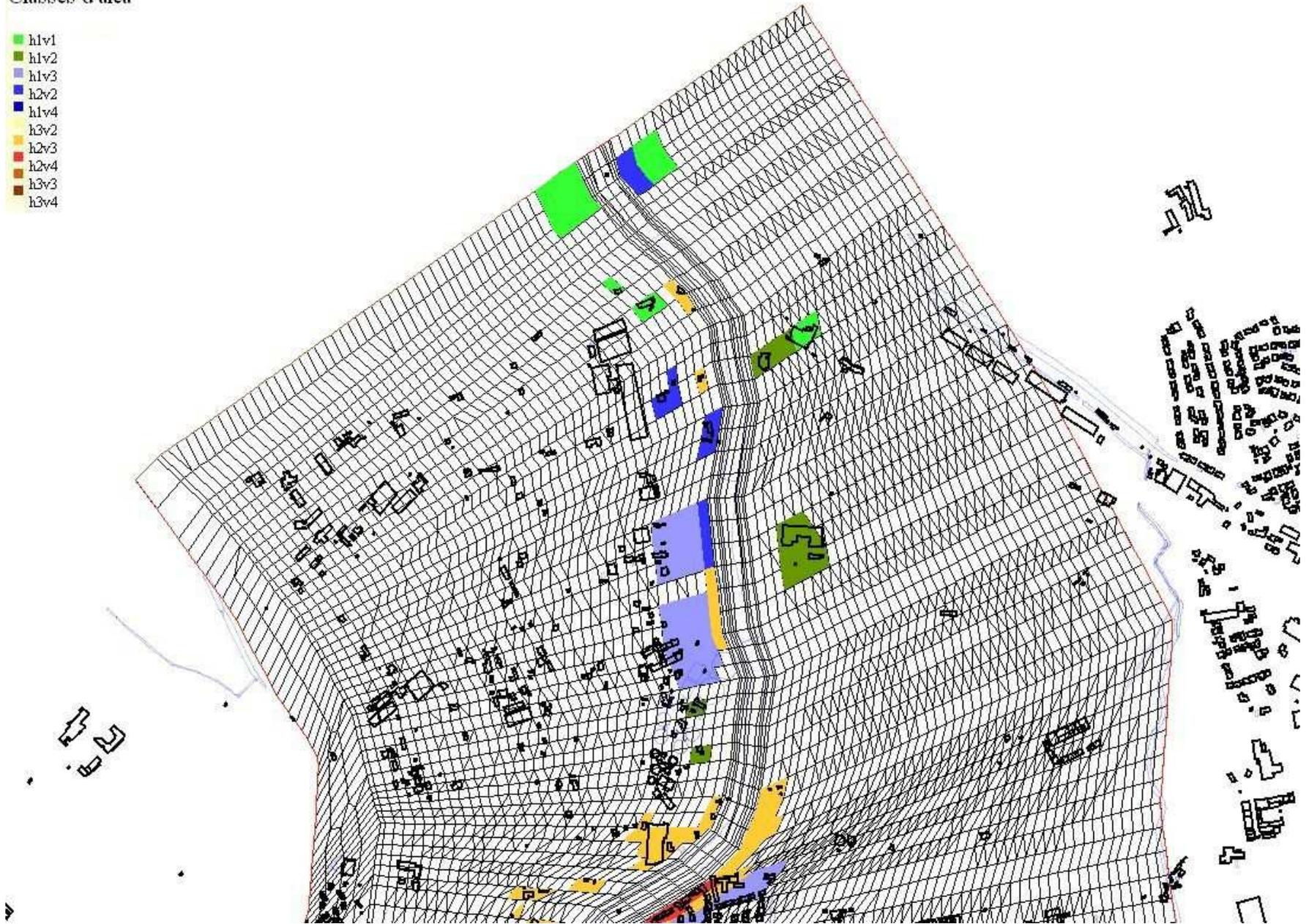


Figure 5a - Classes d'aléa pour les bâtiments



Figure 5b - Classes d'aléa pour les bâtiments

Classes d'aléa

- h1v1
- h1v2
- h1v3
- h2v2
- h1v4
- h3v2
- h2v3
- h2v4
- h3v3
- h3v4

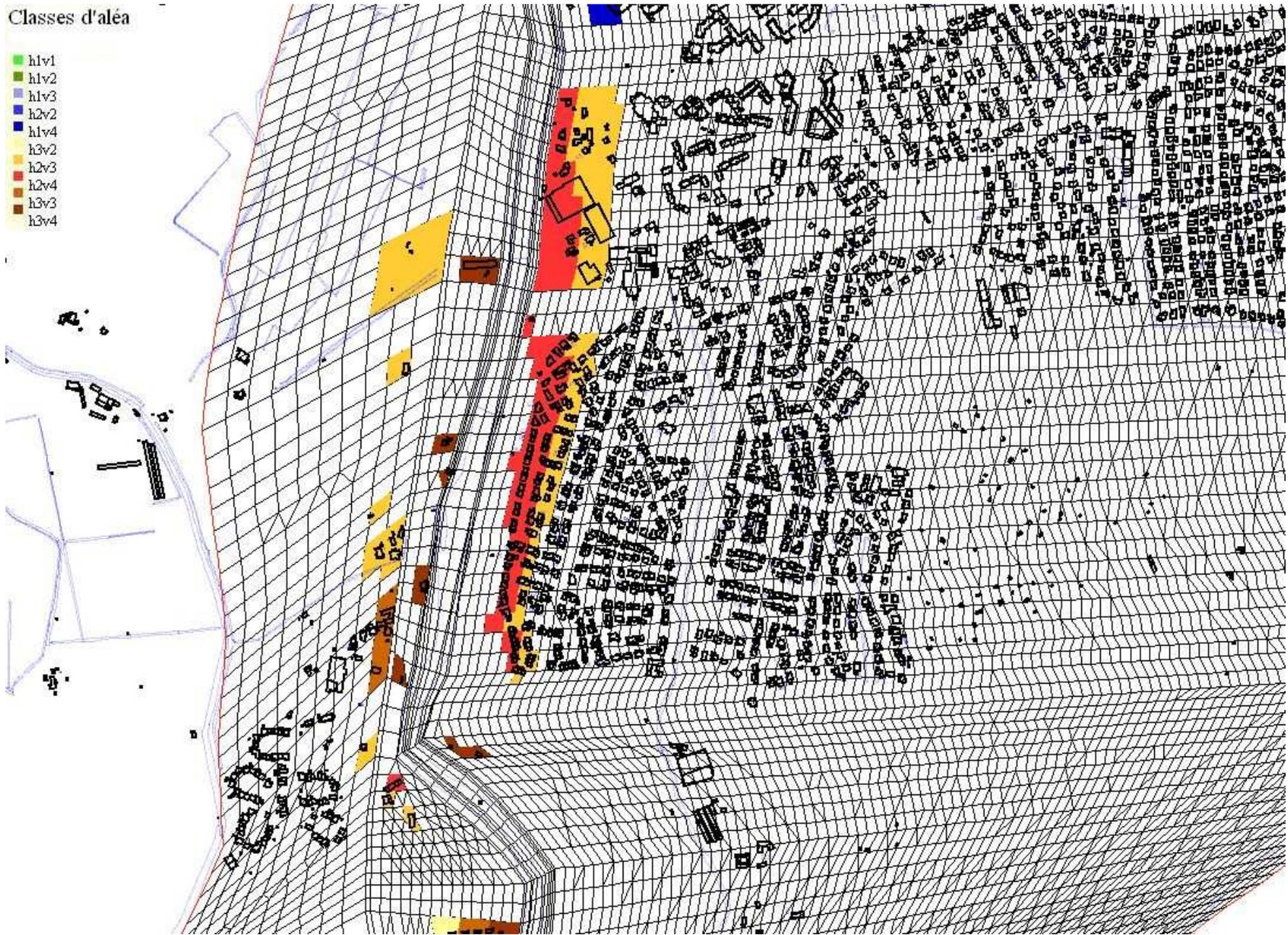


Figure 5c - Classes d'aléa pour les bâtiments

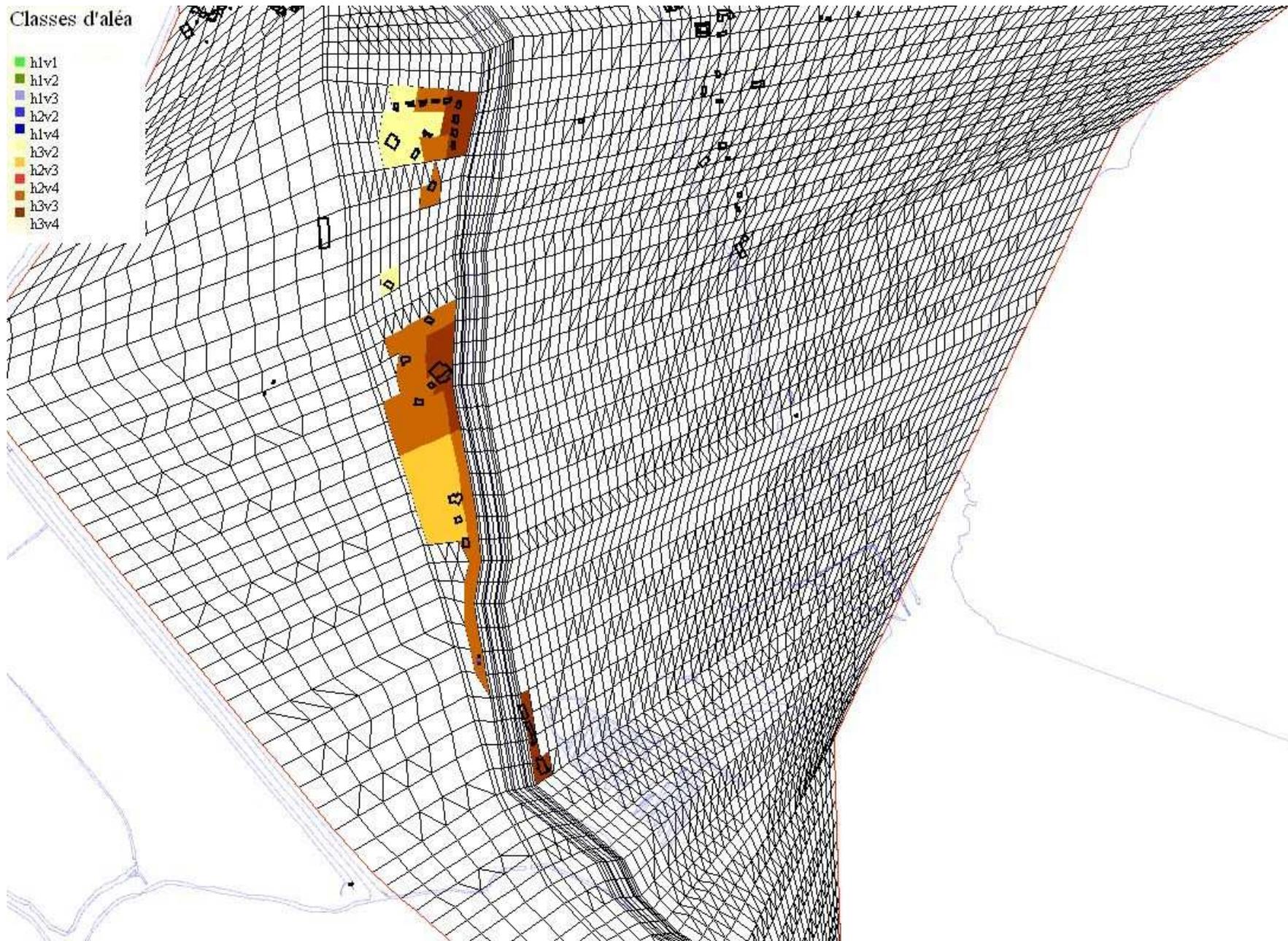


Figure 5d - Classes d'aléa pour les bâtiments

N° brèche	Temps pointe (h)	Débit pointe (m3/s)	Largeur maximale (m)	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Commentaires
				classe	distance maximale (m)	classe	distance maximale (m)	classe	distance maximale (m)	
1	8	8	11	h2v2	40	h1v1	100			digue peu élevée
2	6	8	40	h1v2	100					digue peu élevée
3	6,25	34	44	h2v3	20	h1v3	60	h1v2	120	
4	5,75	41	49	h2v3	60	h1v3	160			
5	6,5	47	45	h2v3	40	h1v3	100			
6	6,5	48	49	h2v3	60	h1v3	80	h1v2	100	
7	6,5	1	2	h1v1	100					digue peu élevée
8	6,75	85	44	h2v4	120	h2v3	160			
9	6,25	98	39	h3v4	40	h2v4	80	h2v2	>200	
10	8	42	9	h2v3	40	h1v2	100			a réinterpréter, digue très large
11	6,25	106	38	h2v4	40	h2v3	140			
12	6	113	36	h3v4	20	h2v4	80	h2v3	160	
13	6	134	47	h2v4	120	h2v3	>200			
14	6	124	39	h2v4	40	h1v4	120	h1v3	>160	
15	6	131	36	h2v4	100	h2v3	>200			
16	5,75	160	40	h3v4	60	h2v4	100	h2v3	>200	
17	6	111	38	h3v4	40	h2v4	100	h2v3	200	
18	6,5	111	46	h3v4	20	h1v4	40	h2v3	160	
19	6	116	47	h3v3	20	h2v3	40	h2v2	100	
20	6	95	45	h3v3	60	h3v2	80	h2v2	>100	
21	6	82	44	h3v3	20	h2v3	80	h2v2	100	
22	6	80	44	h3v4	20	h2v3	80	h2v2	120	
23	6,75	116	43	h3v4	40	h3v3	100	h3v2	140	
24	6,5	148	44	h3v4	40	h3v3	100	h3v2	140	
25	6,25	94	39	h2v4	40	h3v3	100	h3v2	200	
26	6,5	110	43	h3v4	60	h3v3	80	h3v2	200	
27	6,25	92	43	h3v4	60	h3v3	120	h3v2	200	
28	6	125	44	h3v4	20	h2v4	60	h2v3	100	
29	6	154	44	h3v4	20	h2v4	40	h2v3	100	
30	5,75	121	41	h3v4	40	h3v3	100	h1v3	>150	
31	6	96	41	h3v4	20	h2v4	40	h3v3	100	
32	6,25	87	41	h3v3	20	h2v3	100	h1v3	>150	
33	6	127	37	h3v4	60	h3v3	100	h1v3	>150	
34	6	104	36	h3v4	60	h3v3	80	h2v3	150	
35	5,75	53	43	h2v3	40	h3v3	80	h1v2	>100	
36	5,75	65	47	h2v4	30	h2v3	50	h2v2	100	
37	6,75	55	43	h3v3	20	h2v3	200			
38	6,75	37	33	h3v3	20	h1v4	40	h1v3	100	
39	6,5	49	47	h2v3	>100					
40	6,25	78	37	h2v3	20	h1v3	60	h1v2	100	

41	5,5	35	32	h2v3	20	h1v3	140			
42	6	45	45	h2v2	60	h1v2	120			
N° brèche	Temps pointe (h)	Débit pointe (m3/s)	Largeur maximale (m)	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Commentaires
				classe	distance maximale (m)	classe	distance maximale (m)	classe	distance maximale (m)	
43	5,75	65	45	h2v3	20	h2v2>100				
44	5,25	36	46	h2v3	40	h2v2>100				
45	5,75	26	39	h2v3	20	h1v3	40	h1v1	100	
46		0		h1v1						digue peu élevée

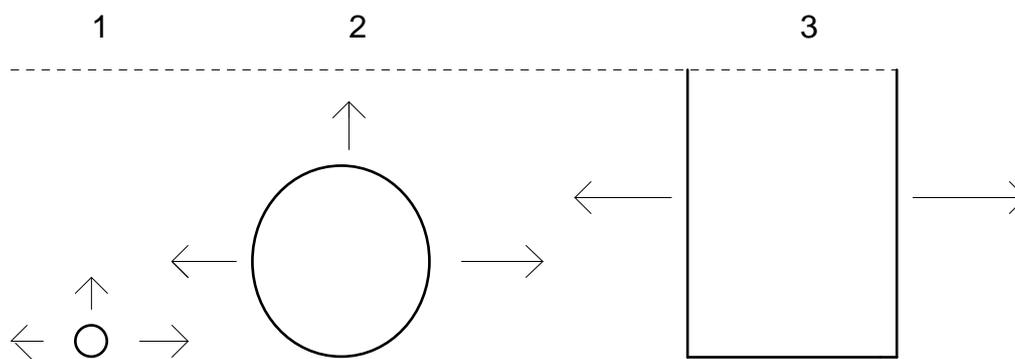
Tableau 1 Résultats synthétisés des calculs à l'aval de chaque brèche

Annexe : principe de modélisation de l'érosion progressive dans le logiciel Rubar20

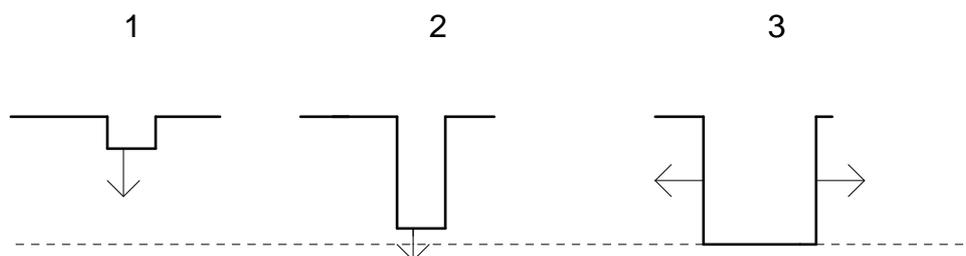
Dans le logiciel Rubar 20, l'érosion progressive d'un remblai est simulée grâce à un ouvrage particulier qui correspond à un élargissement progressif d'une brèche initiale. Le modèle d'élargissement reprend la modélisation définie dans le logiciel Rupro (rupture progressive d'un remblai en terre) développé par le Cemagref et couplant un calcul hydraulique déterminant les variables hydrauliques moyennes sur la digue à un calcul de transport solide qui suppose l'érosion uniforme dans l'ensemble de la digue. La digue est décrite par un profil en travers type trapézoïdal défini par une largeur en crête, une largeur en pied, une cote en crête et une cote en pied.

Le logiciel ne permet de simuler que 2 types de rupture :

- une érosion par renard ; le renard est schématisé par une conduite circulaire qui s'élargit progressivement (le point bas du cercle restant fixe) jusqu'à ce que son diamètre atteigne les 2/3 de la hauteur de la digue; il y alors effondrement et la brèche devient rectangulaire puis s'élargit (sans s'approfondir).



- une érosion par submersion ; la brèche est supposée rectangulaire; elle s'approfondit sans s'élargir jusqu'à atteindre le substratum puis s'élargit jusqu'à atteindre la longueur de la digue à moins que l'amont ne se soit vidé auparavant.

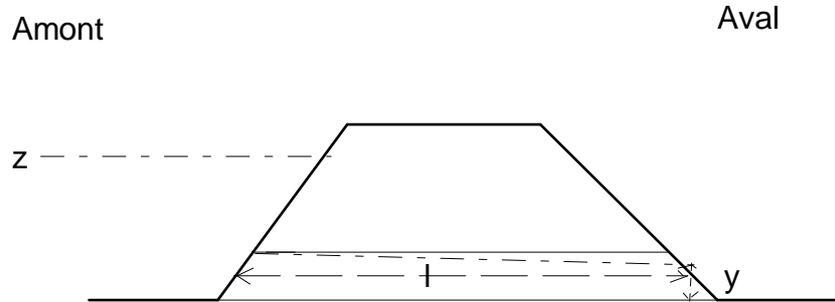


Le calcul hydraulique est mené à surface libre en résolvant l'équation de BERNOULLI avec comme condition aval la cote d'eau à l'arête aval de l'ouvrage et comme condition amont, la cote d'eau à l'arête amont de l'ouvrage. Les pertes de charge sont soit linéaires (formule de MANNING-STRICKLER) soit singulières localisées sur le parement amont de la digue.

Par exemple, pour un renard, l'équation en y résolue est :

$$z = y + \frac{S}{2l} \left(1 + \eta \frac{S^2}{S_e^2} + \frac{2gl}{K^2 R^{4/3}} \frac{S^2}{\bar{S}^2} \right)$$

où z est la cote de l'arête amont, y la cote à l'arête aval, S la section correspondant à y , S_e la section amont, \bar{S} la section moyenne égale à $(S+S_e)/2$, R le rayon hydraulique correspondant à \bar{S} , l la longueur du renard calculée au centre du renard donc dépendant de y , η le coefficient de perte de charge à l'entrée du renard.



Le logiciel effectue un calcul simplifié d'érosion progressive pour un matériau non cohésif et supposé homogène. Le débit solide est déterminé à partir de la formule de MEYER-PETER et MULLER :

$$Q_s = \frac{8\sqrt{g}}{(\rho_s - \rho)\sqrt{\rho}} (\rho J R - 0,047 D_{50} (\rho_s - \rho))^{3/2}$$

où Q_s est le débit solide par unité de largeur (à multiplier dans notre cas par le périmètre mouillé moyen), ρ_s la masse volumique du matériau solide, ρ la masse volumique de l'eau, D_{50} le diamètre médian des grains du matériau, J la perte de charge par frottement au fond exprimée par un coefficient de Strickler moyen K . La porosité du matériau est utilisée pour obtenir le volume érodé à chaque instant.