



Etude hydraulique de la zone d'activité Agrinove

Direction France Sud et Outre-Mer Agence Aquitaine
2A avenue de Berlincan - BP 50004
33166 Saint-Médard-en Jalles Cedex - France

Agence de Biarritz
69 avenue du Maréchal Juin
64200 BIARRITZ - France



Sommaire

1	Contexte	5
2	Le projet d'aménagement	6
3	Analyse hydrologique	7
	3.1 Préambule : La période de retour	7
	3.2 Calcul des débits de pointe	8
	3.2.1 Présentation du bassin versant.....	8
	3.2.2 Présentation de la Méthode Rationnelle	8
4	Analyse hydraulique	10
	4.1 Construction du modèle.....	10
	4.1.1 Topographie	10
	4.1.2 Structure du modèle	10
	4.2 Résultats	11
	4.2.1 Le Caillau	11
	4.2.2 Le Malé	13
	4.3 Analyse de sensibilité	14
	4.4 Crue exceptionnelle du Malé	16
	4.5 Conclusion	18
5	Remontée de nappes	19
6	Synthèse	20

Tables des illustrations

Figure 1 : présentation des ruisseaux et bassins versants	5
Figure 2 : Emprise prévisionnelle partie Nord zone d'activité – rives gauche et droite du Malé	6
Figure 3 : Emprise prévisionnelle partie Sud zone d'activité – rive droite du Caillau.....	6
Figure 4 : levés topographiques.....	10
Figure 5 : Ligne d'eau pour la crue décennale et centennale du Caillau	11
Figure 6 : zone inondable centennale du Caillau	12
Figure 7 : Ligne d'eau pour la crue décennale et centennale du Malé.....	13
Figure 8 : Impact de la variation rugosité sur la ligne d'eau du Caillau.....	15
Figure 9 : Impact de la variation de rugosité sur la ligne d'eau du Malé	15
Figure 10 : Profil en long de la crue exceptionnelle du Malé.....	16
Figure 11 : Zone de débordement en crue exceptionnelle	16
Figure 12 : Fossé de drainage des parcelles en rive gauche (vue vers l'amont à gauche, vers l'aval à droite).....	17
Figure 13 : Fossé du terrain de rugby (vue vers l'amont à gauche, vers l'aval à droite)	17
Figure 14 : Fossés du terrain de rugby (au Sud) et de drainage (au Nord)	18
Figure 15 : Risque de remontée de nappes (source : http://www.inondationsnappes.fr/).....	19
Figure 16 : Projet de noue	20

Table des tableaux

Tableau 1 : caractéristiques des bassins versants	8
Tableau 2 : résultat de l'analyse hydrologique.....	9
Tableau 3 : surface en m ² du lit mineur	14

1 CONTEXTE

Dans le cadre de sa réflexion sur la création d'une Zone d'Activités Economiques à Nérac (47), à proximité du lycée agricole Armand Fallières, sur la RD131 au sud-est de la ville, la SEM 47 a commandé à SAFEGE une étude hydraulique des ruisseaux du Malé (au nord) et du Caillau (au sud), en particulier la délimitation de leur zone inondable centennale en amont de la RD232.

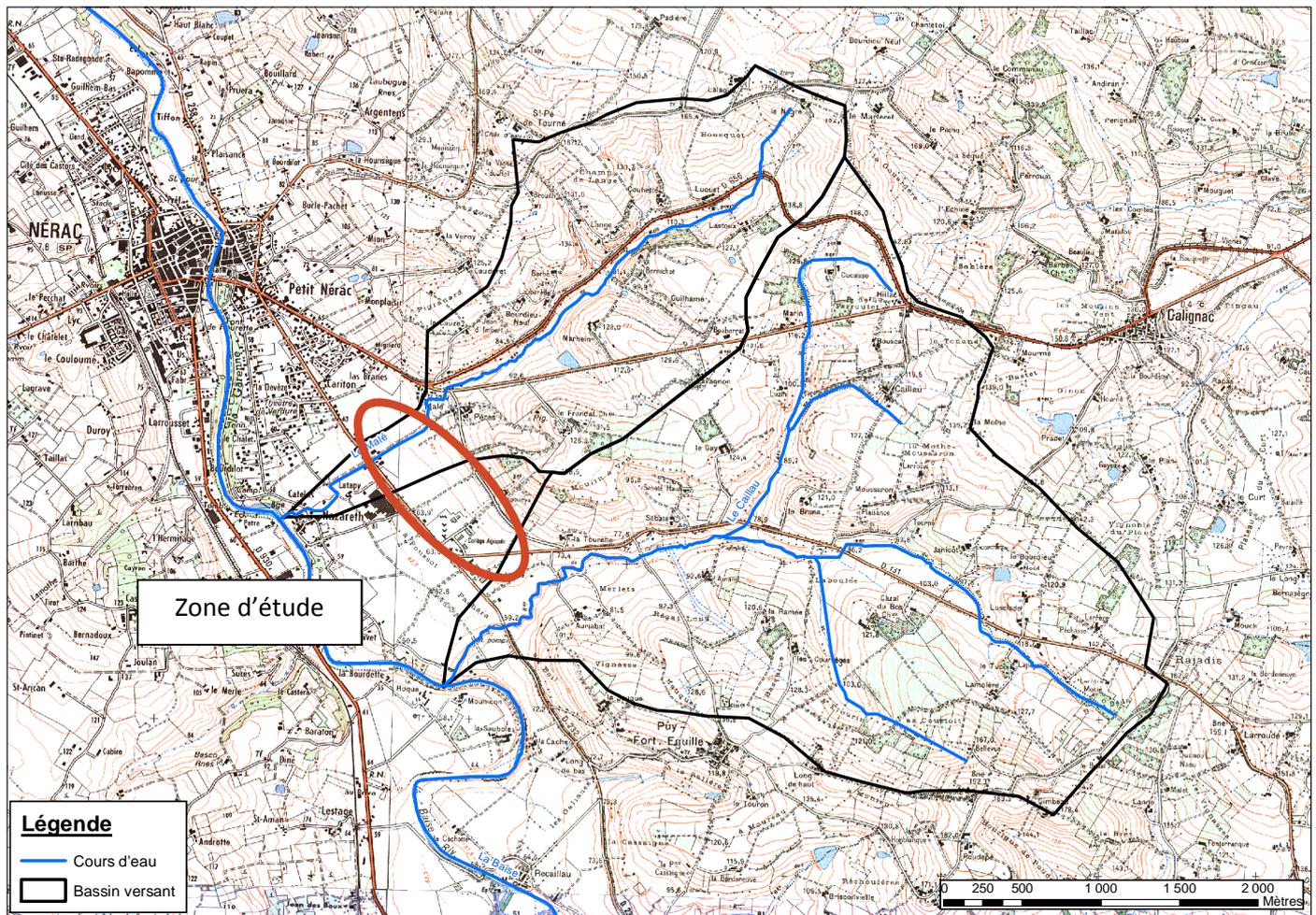


Figure 1 : présentation des ruisseaux et bassins versants

Les problématiques de ruissèlement, gestion des eaux pluviales et compensation d'imperméabilisation ne sont pas intégrées à notre étude.



2 LE PROJET D'AMENAGEMENT

Le projet porté par la SEM47 consiste à développer une zone d'activité de part et d'autre du lycée agricole, au lieu-dit Nazareth au Sud Est de la ville.

La partie Nord du projet est traversée par le ruisseau du Malé.

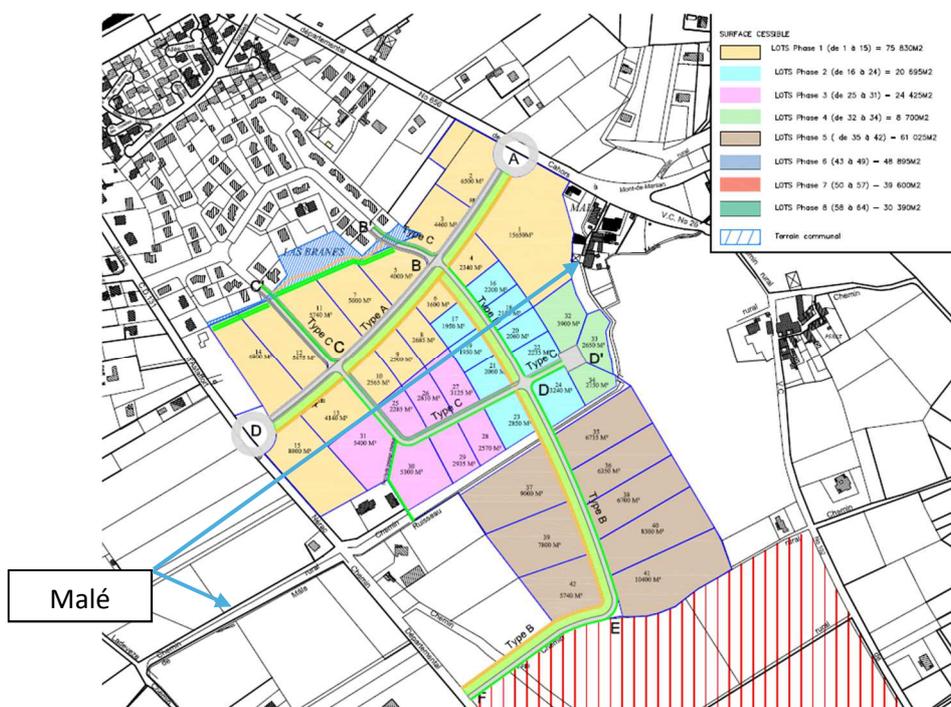


Figure 2 : Emprise prévisionnelle partie Nord zone d'activité – rives gauche et droite du Malé

La partie Sud du projet est au Nord du ruisseau du Caillau, plus de 5 m au-dessus du cours d'eau et semble a priori non concernée par les problèmes de débordements.

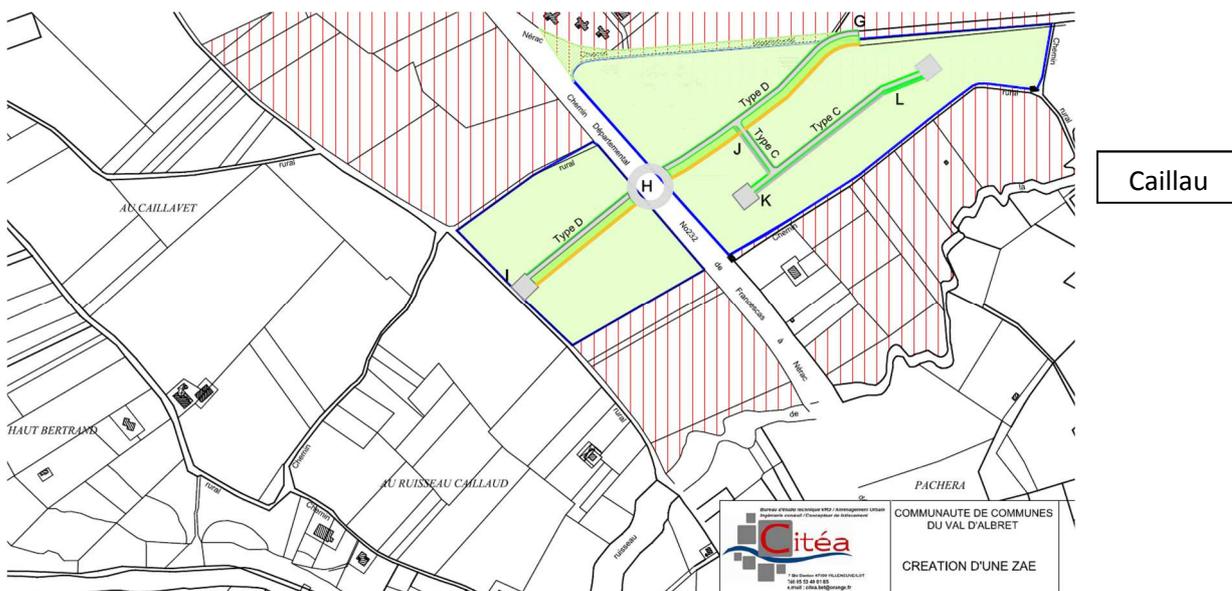


Figure 3 : Emprise prévisionnelle partie Sud zone d'activité – rive droite du Caillau



3 ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1 PREAMBULE : LA PERIODE DE RETOUR

A chaque débit de crue est associé une fréquence d'apparition F ou une période de retour T (liées par la relation $F = 1/T$). La période de retour, exprimée en années, permet d'apprécier le caractère plus ou moins exceptionnel d'un événement.

Un débit de crue qui a une chance sur 10 (ou 100) d'être atteint ou dépassé une année donnée est un débit décennal (ou centennal).

Cette notion de "période de retour" correspond à une durée moyenne, c'est à dire une durée statistique ou théorique sans jamais faire référence à un quelconque cycle.

En effet, une crue décennale peut se produire plusieurs fois au cours d'une décennie comme il peut ne pas s'en produire pendant plusieurs décennies successives.

De même, l'apparition d'une crue décennale en début d'année ne modifie en rien la probabilité d'en observer une autre dans la même année ; les deux événements sont dits « indépendants ». Ces éléments sont également valables si on étudie les pluies au lieu des débits.



Ce qu'il faut retenir...

Pluie ou débit de période de retour X ans = 1 chance sur X de se produire par an et pas une fois tous les X ans

Il faut savoir qu'une pluie décennale n'entraîne pas forcément une crue décennale, la réponse d'un bassin à une même pluie pouvant varier fortement en fonction de :

- **La durée de la pluie.** Une pluie d'une durée bien plus courte que le temps de concentration du bassin versant n'amènera pas à la formation du débit de pointe maximum, les terrains à l'aval pouvant avoir arrêté de ruisseler avant même l'arrivée de la pointe de la partie amont ;
- **La saturation des sols en eau.** Une pluie sur des sols gorgés d'eau suite aux longues pluies d'hiver et/ou avec une nappe affleurante générera un ruissellement plus important ;
- **La répartition spatiale de la pluie.** Suivant si elle est homogène sur tout le bassin versant, concentrée à l'amont ou à l'aval ;
- **Le niveau initial dans la rivière** (à l'étiage ou suivant une petite pluie ayant amené la rivière à plein bords) ;
- **Les consignes de gestion des éventuels ouvrages de stockage.**



Ce qu'il faut retenir

Une pluie de période de retour X ans n'entraîne pas forcément une crue de période de retour X ans



3.2 CALCUL DES DEBITS DE POINTE

3.2.1 PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

Les caractéristiques des deux bassins versants sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : caractéristiques des bassins versants

Bassin	Caillau	Malé
Surface (km ²)	1.0	0.4
Périmètre (km)	14.2	10.4
PLCH (km)	5.7	4.8
Pente (%)	2.3	2.7
Indice de Gravelius	4.1	4.4

Les indices de Gravelius ($0.28 \text{ Périmètre} / \text{Surface}^{0.5}$) sont caractéristiques de bassins versants allongés, avec une réponse hydrologique lente.

3.2.2 PRESENTATION DE LA METHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle permet d'estimer des débits de pointe pour des événements pluvieux de fréquence décennale notamment sur des petits bassins versants agricoles non jaugés. Elle implique l'estimation d'un coefficient de ruissellement pour chaque bassin versant considéré, en fonction du type de sol, de la pente et surtout de l'occupation des sols.

Cette méthode est adaptée pour des bassins versants de petite surface, inférieure à 10 km.

Sa formule est la suivante

$$Q_p = (1/3.6) * C_r * I * S$$

Avec:

- Q_p : débit de pointe de fréquence décennale (m³/s)
- C : coefficient de ruissellement pour une pluie orageuse de fréquence décennale
- S : surface du bassin versant (km²)
- I : intensité de pointe de la pluie de durée égale au temps caractéristique du bassin versant (mm/h), calculée par la formule de Montana $I = a * t^{-b}$



- ◆ Avec t : temps de concentration du bassin versant (min), calculé par la méthode de Passini ($t = 0.108 (S \times L)^{1/3} \times I^{-1/2}$ avec I la pente du bassin versant en m/m et L son plus long chemin hydraulique en km)
- ◆ a, b : coefficients de Montana à la station d'Agen pour $T=10$ ans (Méthode du renouvellement sur la période 1963 – 2009).

Le coefficient de ruissellement est la traduction de :

- L'occupation des sols, déterminée à partir de la base de données Corine Land Cover, à très forte majorité constitués de terres agricoles ;
- La pente et la géologie des terrains, qui joue sur la part d'infiltration et de ruissellement.

L'analyse de la carte géologique du BRGM montre que les couches affleurantes sont des marnes, argiles et molasses, soit des formations plutôt imperméables. De plus, les coteaux des ruisseaux ont des pentes très importantes, dépassant localement 10%.

Ces trois phénomènes favorisent le ruissellement des eaux et donc nous amènent à retenir des coefficients de ruissellement assez importants (59% pour le Caillau et 56 % pour la Malé).

Le débit centennal s'obtient par multiplication du débit décennal par un facteur 2.

A la demande de la DDTM, un test sera réalisé pour le Malé pour une crue exceptionnelle, avec un débit correspondant à 1.5 fois la Q_{100} .



Ce qu'il faut retenir...

Bassins versants de l'ordre du km^2 : calcul des débits par la méthode rationnelle
Sols agricoles très pentus et plutôt imperméables, favorables au ruissellement

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : résultat de l'analyse hydrologique

Bassin	Caillau	Malé
T_c (min)	74	50
Q_{10} (m^3/s)	4.4	2.6
Q_{100} (m^3/s)	8.7	5.1
Q exceptionnel (m^3/s)	13.1	7.7



4 ANALYSE HYDRAULIQUE

4.1 CONSTRUCTION DU MODELE

4.1.1 TOPOGRAPHIE

La construction du modèle numérique s'est faite grâce à :

- 15 profils en travers représentant lit mineur et lit majeur (le profil M1 n'a pas été levé pour des problèmes d'accès) ;
- 6 coupes des ouvrages.

Ils sont positionnés sur la Figure 4.

L'emprise du modèle est celle des levés du géomètre.

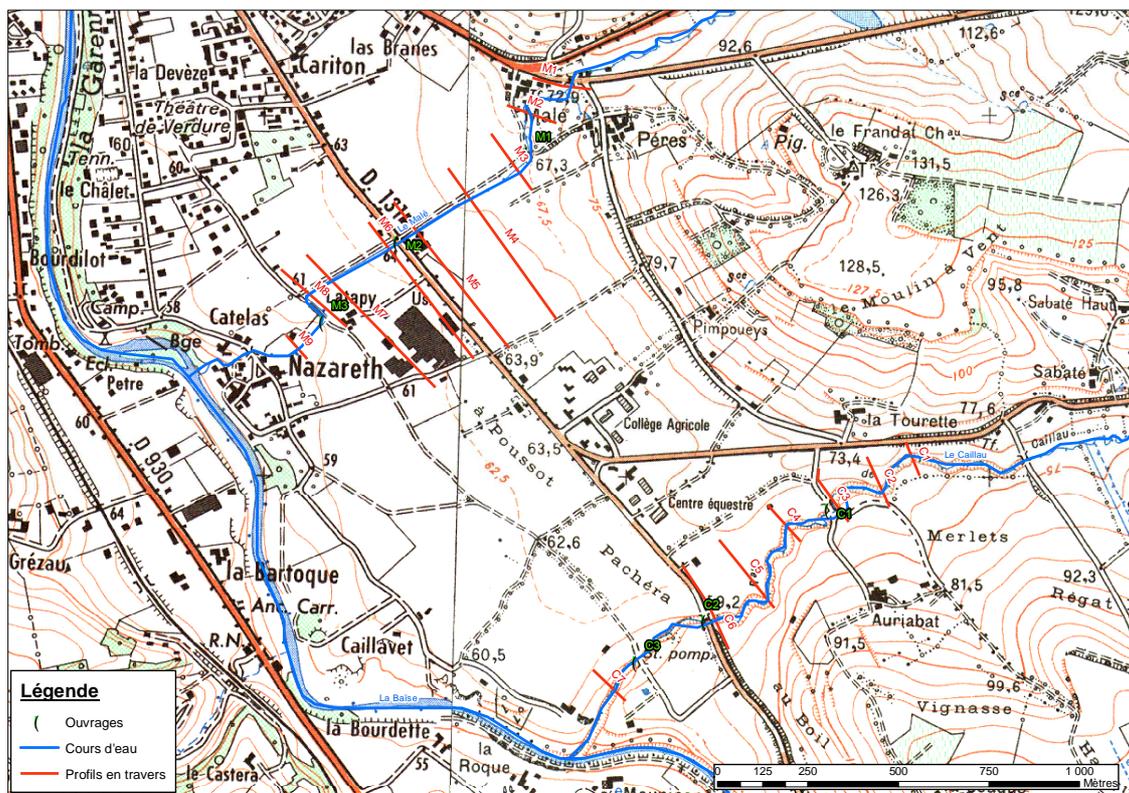


Figure 4 : levés topographiques

4.1.2 STRUCTURE DU MODELE

Le modèle hydraulique est construit sur le logiciel Mike, développé par le DHI (Danish Hydraulics Institute) et considéré comme un des logiciels de référence mondiale pour la modélisation numérique d'écoulements.

Il est exploité ici en régime permanent (débit constant). Les ruissellements directs sur terrain ne sont pas étudiés.

Les rugosités retenues (Strickler) sont de 20 en lit mineur et 15 en lit majeur. Ces coefficients traduisent le frottement lié à la végétation et aux matériaux du lit et des



berges du cours d'eau et le type de sol en lit majeur. Quand le frottement augmente, les vitesses d'écoulement diminuent et donc le niveau d'eau monte.

Les conditions limites sont constituées par :

- **Pour l'aval**, un niveau d'eau déterminé de façon à ne pas avoir d'incidence sur les résultats au droit de la zone d'étude. La forte pente des ruisseaux fait que le dernier profil est plusieurs mètres en dessous de celui en amont des RD ;
- **Pour l'amont**, les débits déterminés précédemment.

4.2 RESULTATS

4.2.1 LE CAILLAU

Pour le Caillau, les débordements sont limités à la crue centennale, près de la RD232, dont l'ouvrage C2 a une section de 2.8 m² contre 5.6 m² pour la passerelle du chemin Auriabat C1 en amont. Les lignes d'eau pour Q10 et Q100 sont présentées sur la Figure 5. La différence entre les occurrences est d'environ 50 cm.

La zone inondable est représentée sur la Figure 6, avec interpolation entre les profils du géomètre. En l'absence de photogrammétrie du bassin versant global, il est possible que des ruissellements annexes ne soient pas identifiés en aval de la RD232. Cependant, ceci est sans conséquences sur l'inondabilité des terrains en amont de la RD232.

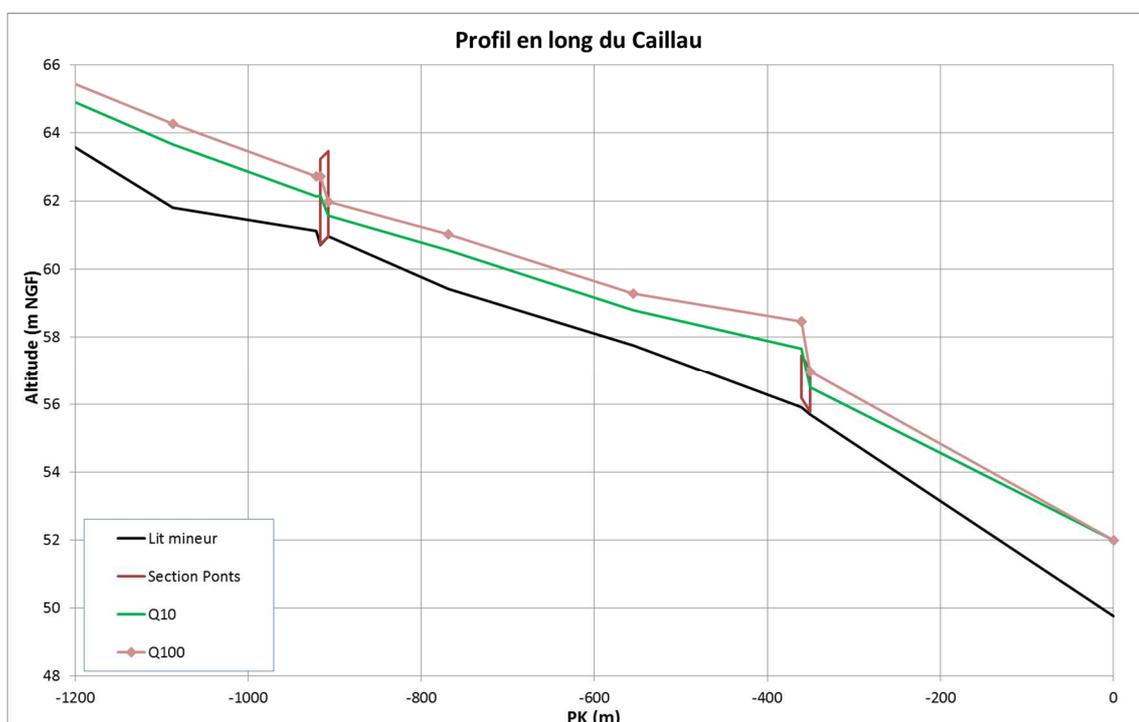


Figure 5 : Ligne d'eau pour la crue décennale et centennale du Caillau



Les vitesses maximales sont de l'ordre de 1 à 2 m/s en lit mineur et peuvent atteindre 3 m/s dans les ouvrages bétonnés. Les hauteurs en lit majeur sont inférieures à 50 cm.

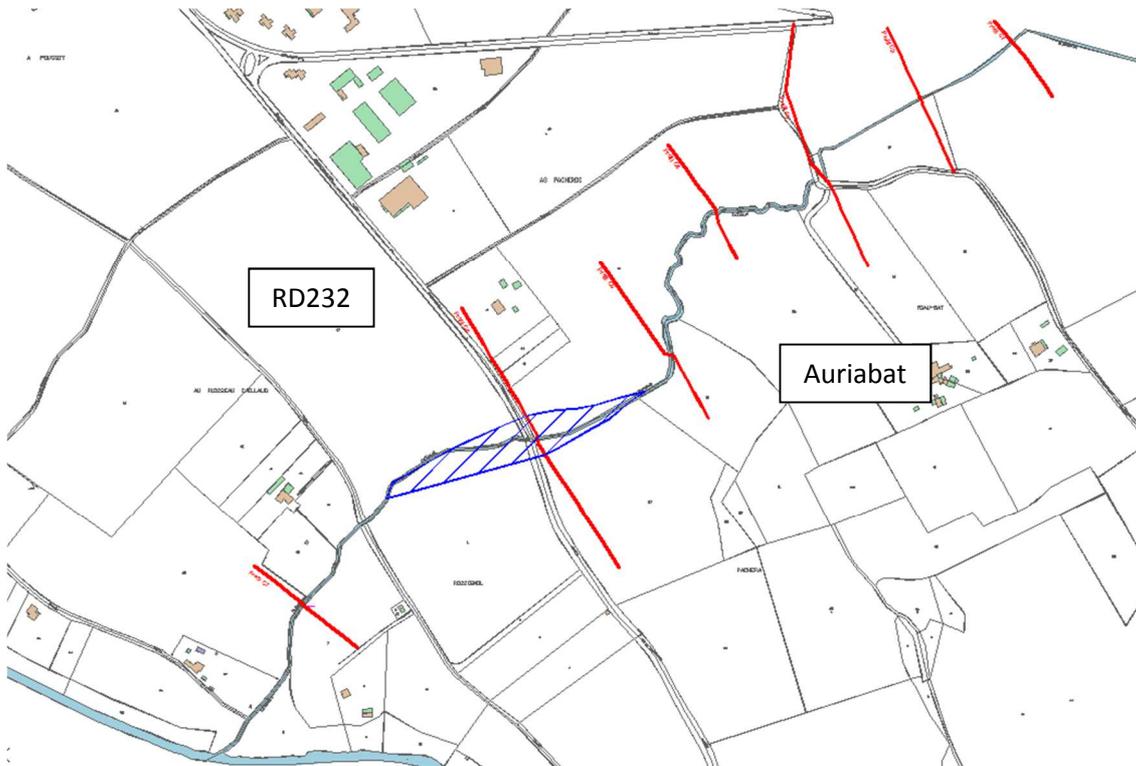


Figure 6 : zone inondable centennale du Caillau



Ce qu'il faut retenir...

Les débordements du Caillau en crue centennale n'atteignent pas la zone du projet.



4.2.2 LE MALÉ

Les lignes d'eau pour Q10 et Q100 sont présentées sur la Figure 7. La différence entre les occurrences est d'environ 50 cm.

Pour le Malé, il n'y a pas de débordement marqué pour la crue centennale : à proximité de la passerelle agricole amont M1, le niveau d'eau est en limite du haut de berge en rive gauche et avec une lame d'eau de l'ordre du centimètre en rive droite.

Cette absence de débordements pour la crue centennale (qui constitue la crue de référence règlementaire quand aucune crue historique supérieure n'est identifiée) est surprenante en première approche, mais logique lorsque l'on analyse les sections des cours d'eau.

Le Tableau 3 présente pour chaque profil en travers la section du lit mineur. En moyenne, elle est de 6 m² pour le Malé et 9 m² pour le Caillau (hors dernier profil). Couplée à une pente du fond du lit importante (environ 1 % sur les profils levés) et donc des vitesses d'écoulement conséquentes, cela induit un débit capable supérieur à la valeur centennale calculée.

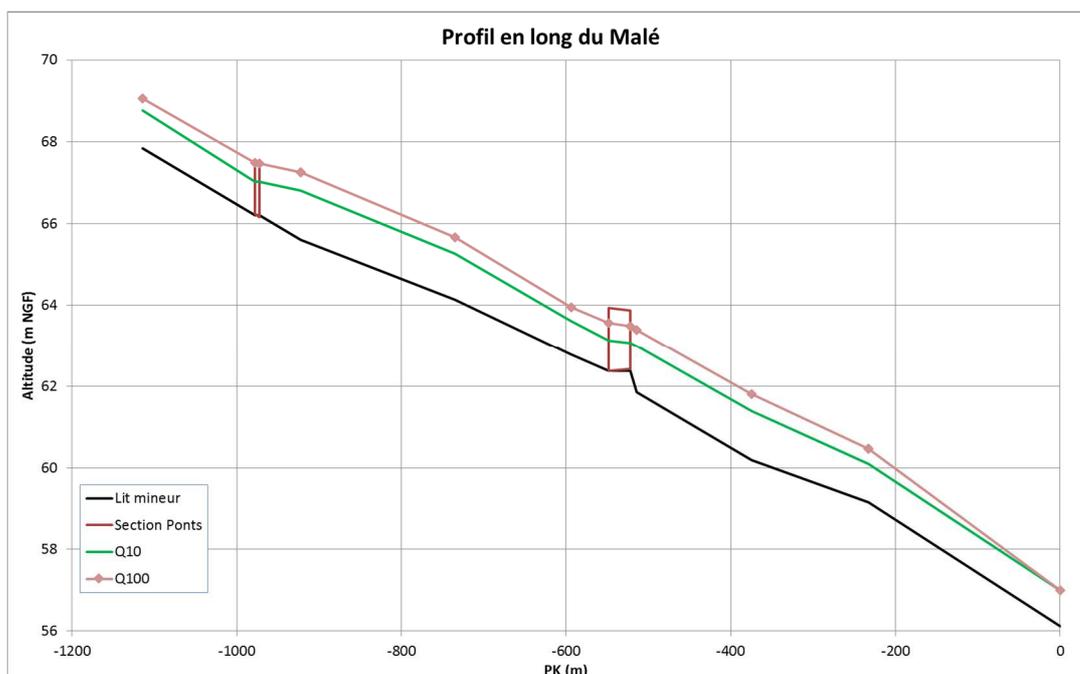


Figure 7 : Ligne d'eau pour la crue décennale et centennale du Malé

Les témoignages des riverains contactés par la SEM47 indiquent une absence de débordement sur les 30 dernières années, seulement la présence de ruissellement direct des pluies sur les terrains, ce qui conforte l'analyse numérique.

Le tracé parfaitement rectiligne en aval de la passerelle agricole M3 et sa forme trapézoïdale confortent l'hypothèse d'un recalibrage du ruisseau d'origine, dont le débit capable aurait été augmenté en élargissant le lit et en mettant les matériaux de curage en haut de berge, de façon à limiter la surverse.



Tableau 3 : surface en m² du lit mineur

Profil	section lit mineur	Profil	section lit mineur
M1	/	C1	5.5
M2	5.5	C2	5.1
M3	4.1	C3	16.0
M4	4.1	C4	10.8
M5	6.5	C5	8.6
M6	6.5	C6	8.3
M7	8.6	C7	27.3
M8	4.9		
M9	5.4		

4.3 ANALYSE DE SENSIBILITE

Les crues décennales et centennales ont été modélisées avec un coefficient de rugosité variant de plus ou moins 10 % (test avec $K = 18$ et 22 , lorsque le coefficient augmente, la rugosité diminue et le niveau d'eau aussi). La Figure 8 superpose les lignes d'eau obtenues pour le Caillau et la Figure 9 celles du Malé.



Ce qu'il faut retenir...

Ecart moyen de niveau pour Q10 : 3 cm
Ecart moyen de niveau pour Q100 : 5 cm

L'influence générale du choix de la rugosité est donc faible.

Cependant, pour la crue centennale du Malé, en limite de berge sur la partie amont, l'écart atteint 6 cm, cela accentue un peu le débordement.

La crue centennale déborde alors de 4 cm en rive gauche et 7 cm en rive droite, pour des débits surversés de l'ordre de 100 l/s (qui sont difficilement modélisables à cette échelle et se traduisent par une lame d'eau très faible en lit majeur). **La surverse reste cependant très faible.**

De plus la valeur de $K=18$ (rugosité +10%), certes sécuritaire, nous semble faible car le fossé est rectiligne, pentu et bien entretenu, sans végétation fortement bloquante.

On touche avec ces résultats la limite de la modélisation 1D, car pour de tels débits, les lames d'eau en lit majeur sont très faibles (quelques centimètres) et leur propagation fortement influencée par le moindre déblai/remblai, qu'on ne pourrait représenter fidèlement (et donc cartographier) qu'avec un levé de semi de points très dense (plusieurs par m²) et une modélisation bidimensionnelle.

Dans tous les cas, les lames d'eau sont très faibles en lit majeur.



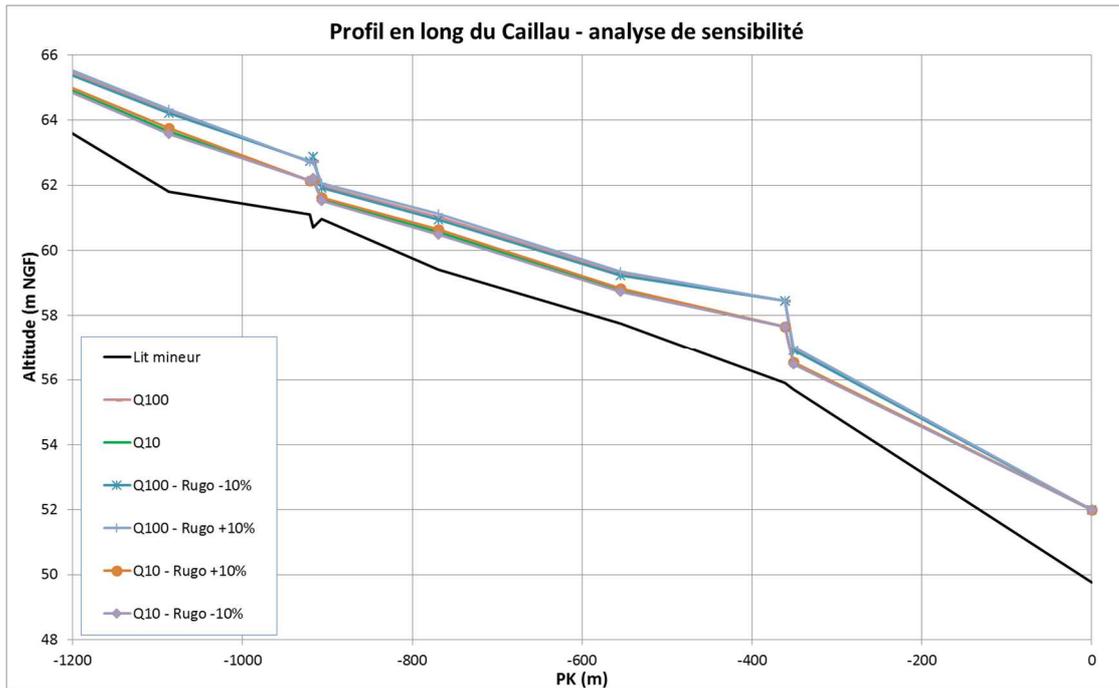


Figure 8 : Impact de la variation rugosité sur la ligne d'eau du Caillau

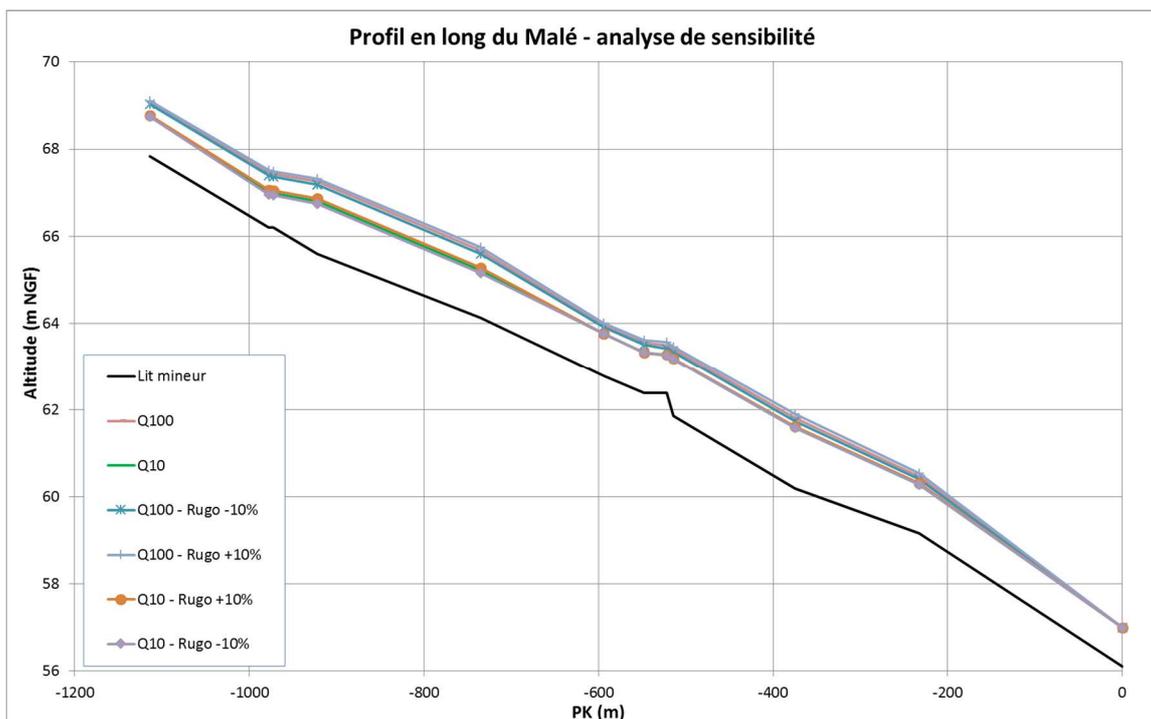


Figure 9 : Impact de la variation de rugosité sur la ligne d'eau du Malé



Ce qu'il faut retenir...

Les débordements du Caillau en crue centennale sont, suivant le coefficient de frottement retenu, nuls ou négligeables.



4.4 CRUE EXCEPTIONNELLE DU MALÉ

Un test complémentaire a été effectué pour la crue exceptionnelle du Malé (1,5 fois la Q100), afin d'étudier la surverse en rive gauche et droite.

La différence avec la Q100 est d'environ 30 cm en moyenne.

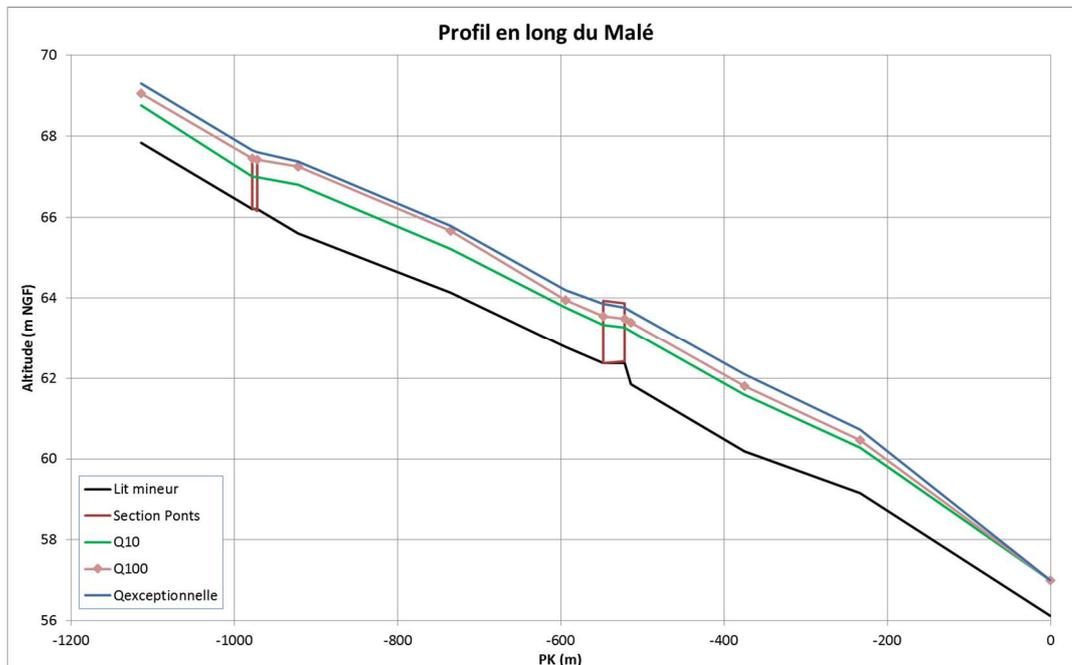


Figure 10 : Profil en long de la crue exceptionnelle du Malé

On observe depuis le coude en aval de la passerelle agricole M1 jusqu'à une cinquantaine de mètres en aval du profil M3 une surverse d'une quinzaine de centimètres au maximum, mais le débordement dans les champs reste limité ($Q < 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ et lame d'eau de quelques centimètres dans le lit majeur), même avec une rugosité à 18.

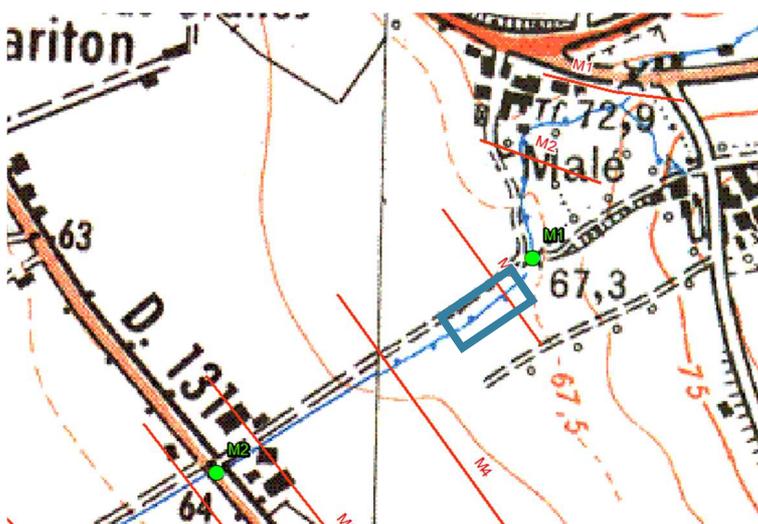


Figure 11 : Zone de débordement en crue exceptionnelle



Les fortes pentes longitudinale et transversale vont induire pour cet écoulement une diffusion bidimensionnelle, que l'absence de photogrammétrie et modèle numérique spécifique ne permettent pas de représenter clairement.

Cependant, les parcelles en rive gauche du Malé possèdent sur leur limite Sud Est un fossé de drainage, collectant les ruissellements dans les champs. Les profils M4 et M5 comprennent la géométrie de ce fossé, qui possède un remblai sur sa partie gauche aval (cf. Figure 12 à Figure 14). Un calcul de débit capable par Manning Strickler montre que le fossé permet de collecter le ruissellement de l'amont.

Un deuxième fossé contournant le terrain de rugby et de dimension bien plus importante est de plus présent plus à l'Est.

Les ruissellements ne semblent donc pas en mesure de s'écouler jusqu'au lycée agricole.

Pour la rive droite, aucun fossé n'apparaît à proximité du ruisseau, l'analyse n'est donc pas réalisée. Les débordements sont cependant minimes.



Figure 12 : Fossé de drainage des parcelles en rive gauche (vue vers l'amont à gauche, vers l'aval à droite)



Figure 13 : Fossé du terrain de rugby (vue vers l'amont à gauche, vers l'aval à droite)



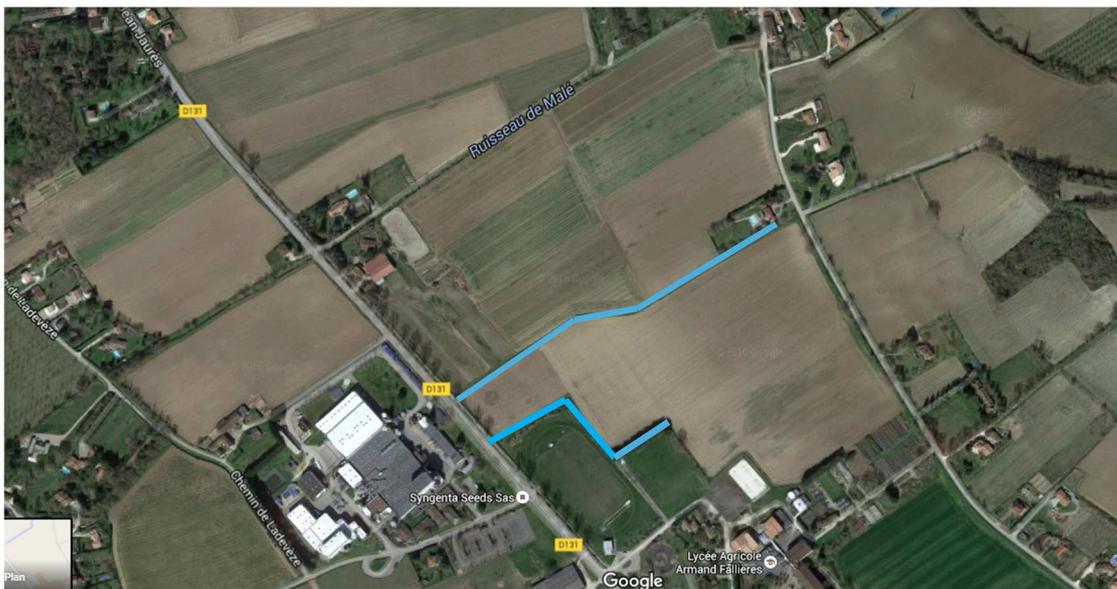


Figure 14 : Fossés du terrain de rugby (au Sud) et de drainage (au Nord)



Ce qu'il faut retenir...

Malgré l'absence de semis de points et d'un modèle 2D, le fossé présent en rive gauche du Malé semble de dimension suffisante pour collecter tous les ruissellements éventuels et peut donc servir de limite maximale d'emprise.

4.5 CONCLUSION



Ce qu'il faut retenir...

Compte tenu des données en présence, les secteurs envisagés pour le projet :

- **ne sont pas inondables en crue centennale (ou peuvent être négligés) par les ruisseaux du Malé ou du Caillau ;**
- **sont légèrement inondables en crue exceptionnelle par le ruisseau du Malé.**



5 REMONTEE DE NAPPES

Le site est classé par le BRGM en sensibilité forte au risque remontée de nappes. La Banque du Sous-Sol ne possède pas d'ouvrages ou données piézométriques à proximité, la présence et l'emprise de nappes souterraines et l'évolution de niveau de nappe sont donc inconnues.

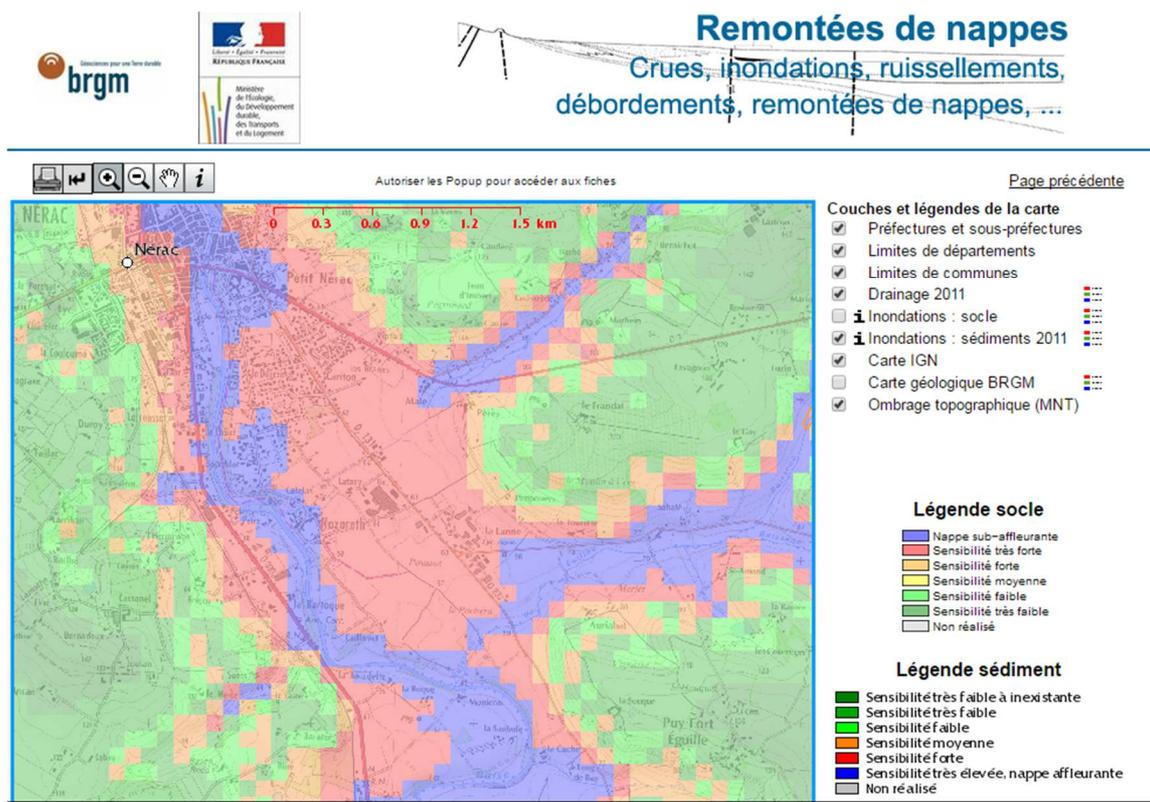


Figure 15 : Risque de remontée de nappes (source : <http://www.inondationsnappes.fr/>)

Par précaution, il est préférable d'éviter tout déblai sur le futur projet (parking en sous-sol) en l'absence d'une étude hydrogéologique locale.



6 SYNTHÈSE

La partie Sud du projet de la SEM47 n'est pas concernée par la zone inondable du Caillau.

La partie Nord du projet est touchée par des ruissellements très limités, voire négligeables, du Malé en rive gauche ou droite en crue centennale (si rugosité forte) ou exceptionnelle (débit de surverse inférieur à 500 l/s, lame d'eau inférieure à 5 cm).

Pour de si faibles débits/lames d'eau, il est difficile sans modélisation 2D précise de détailler le cheminement des eaux de surverse et le volume de stockage perdu, car la présence de butte, modelé de terrain, rigole, va fortement influencer leur propagation. Cependant, réaliser ce type de calcul nous semble un peu démesuré par rapport aux contraintes potentielles et attentes liées au projet.

Nous recommandons donc de prendre une sécurité dans le dimensionnement pluvial du projet de zone d'activité (non compris dans cette étude), par exemple :

- Modelé de terrain le long des berges du Malé en pente ascendante, afin de concentrer la lame d'eau près du ruisseau et l'empêcher de se diffuser vers le Nord-Ouest ou le Sud Est. La faible hauteur des lames d'eau de surverse fait que cela ne pourrait pas être assimilé à des digues ;
- Noues longeant le ruisseau et stockant les eaux de surverse ;
- Marge dans le volume de stockage des noues collectant les eaux pluviales à l'intérieur de la zone d'activité, en particulier celles à proximité du ruisseau.

Nous recommandons de faire commencer cette noue de contournement dès la passerelle jusqu'à la noue de la voirie centrale (isolant les ruissellements des eaux pluviales des lots). Un dimensionnement pour un débit de 1 m³/s sera suffisant. Dans l'idéal, ces noues seraient prolongées par sécurité jusqu'à la limite aval du projet.

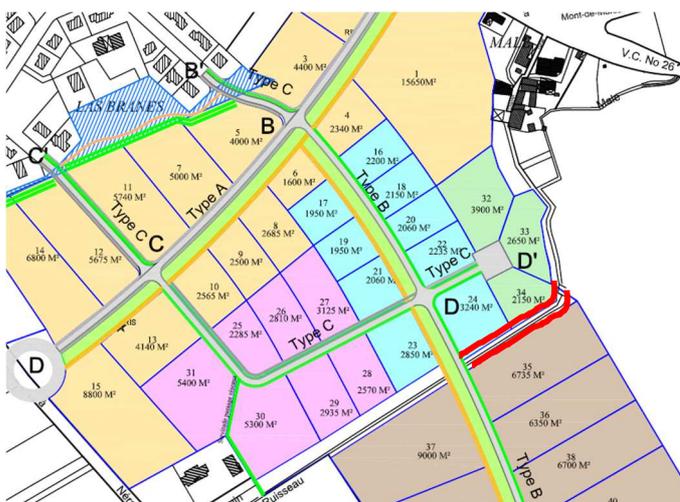


Figure 16 : Projet de noue



Pour protéger les parcelles 32, 33 et 34 (comprises dans les premières phases du projet) des ruissellements directs et de surverse éventuelle dans le cas d'arasement du bourrelet de berge présent en amont de la passerelle, la noue pourrait être prolongée vers l'amont, jusqu'à la parcelle 32. Un modelé de terrain en creux entre les parcelles 32 et 33 et/ou 33 et 34 (sans fossé en tant quel) pourrait aussi concentrer l'écoulement des ruissellements vers les noues de voirie au Sud-Ouest.

Enfin, on évitera la réalisation de murs ou berges à proximité des ruisseaux, les clôtures devant être les plus transparentes possibles hydrauliquement.

