



**HAL**  
open science

# **Etude Hydrologique des débits de plein-bord des cours d'eau de tête des bassins versants (TBV) du Champalaune et du Quincampoix (dep. Ille-et-Vilaine, 35) JUIN 2018**

Pascal Breil

## **► To cite this version:**

Pascal Breil. Etude Hydrologique des débits de plein-bord des cours d'eau de tête des bassins versants (TBV) du Champalaune et du Quincampoix (dep. Ille-et-Vilaine, 35) JUIN 2018. [Contrat] INRAE UR-RiverLy. 2018. <hal-03786894>

**HAL Id: hal-03786894**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03786894v1>**

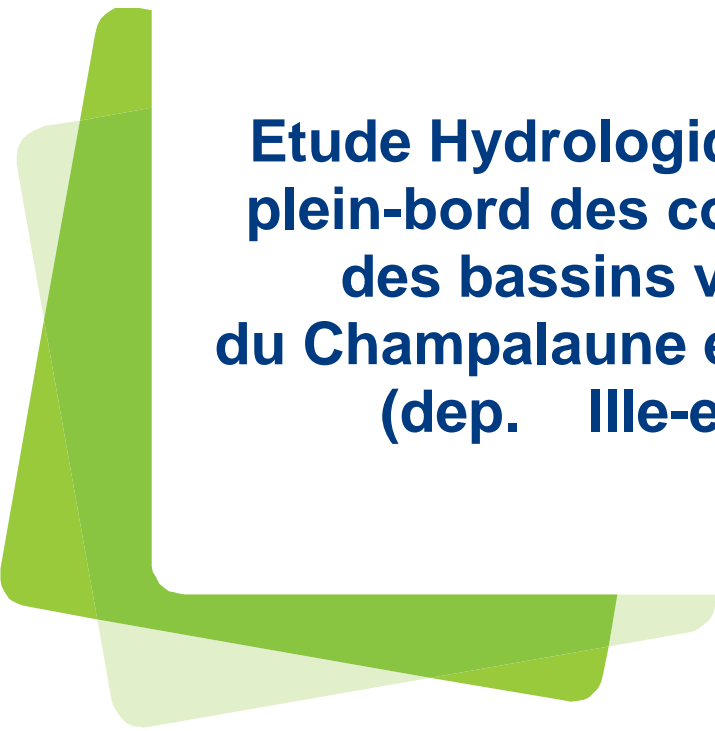
Submitted on 23 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



# Etude Hydrologique des débits de plein-bord des cours d'eau de tête des bassins versants (TBV) du Champalaune et du Quincampoix (dep. Ille-et-Vilaine, 35)

JUIN 2018

PASCAL BREIL

IRSTEA, UNITE DE RECHERCHE RIVERLY  
5 RUE DE LA DOUA  
CS 20244  
69625 VILLEURBANNE CEDEX

[WWW.IRSTEA.FR](http://WWW.IRSTEA.FR)





## Contenu

VERSION PROVISOIRE.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Partie I : Etude hydrologique.....	5
1. Problématique.....	5
2. Débit de plein bord (Qpb) – peut-on calculer une référence ?.....	7
3. La modélisation régionale en débits-durées-fréquences (QdF).....	8
4. Choix des stations hydrologiques.....	8
5. Choix du modèle régional.....	9
6. Choix du modèle régional.....	10
7. Utilisation du modèle régional QdF calé. ....	11
8. Calcul des débits de plein bord dans les bassins anthropisés.....	13
9. Production des débits de plein bord anthropisés aux sections de mesure de l'étude .....	15
10. Etude du lien entre les débits de plein bord non naturel et les descripteurs hydromorphologiques des sections de cours d'eau.....	17
11. Un lien avec les analyses multi-facteurs des sections de cours d'eau .....	20
12. En conclusion.....	21
Partie II : Eléments de gestion.....	23
1. Zones Humides et Milieux humides Potentiel-le-s.....	23
2. Limiter les inondations à l'aide des zones / milieux humides.....	25
3. Etude du risque de coulées boueuses sur route et dans cours d'eau.....	28
Partie III .....	29
ANNEXES.....	29
Débits de plein bord des cours d'eau de tête de bassins versants dans la région de Rennes.....	30
Modélisation du ruissellement intense pluvial : La méthode IRIP .....	32



# Partie I : Etude hydrologique

## 1. Problématique

Les cours d'eau de tête de bassin versant (TBV) présentent une grande sensibilité aux actions anthropiques, cela du fait d'un rapport d'échelle défavorable. En effet, les activités agricoles ou pastorales ne sont possibles qu'après une déforestation poussée. Les pratiques agricoles remontent au moyen âge mais ont connu un essor considérable avec la mécanisation et l'agriculture intensive mise en place après la 2<sup>em</sup> guerre mondiale. Les terres à nues fournissent beaucoup de sédiment, ce qui a conduit à un nouvel équilibre morphodynamique des TBV sur le long terme. Cependant les pratiques de rotation des cultures et de jachère modifient ces apports à des échelles de temps bien inférieures à celles de mise à l'équilibre dans les cours d'eau. Différents cas de figure apparaissent alors : les terres à nu sont à l'origine des apports de sédiments fins qui provoquent le colmatage du substrat grossier, processus néfaste à l'activité biologique depuis les micro-organismes aux espèces supérieures. Les terres à nu ruissellent plus souvent et avec des écoulements plus rapides qu'en présence de végétation arborée et (ou) herbacée, ce qui diminue les temps de concentration et augmente les débits de pointe. Cela augmente l'énergie d'écoulement dans les cours d'eau et peut générer des débordements plus fréquents, sans gêne réelle dans les parties agricoles, mais à même d'initier des processus d'incision dans les parties situées très en amont des TBV. Par ailleurs, l'assainissement des terres humides repose sur l'usage de drains ou de fossés profonds afin de rabattre le niveau des nappes, en particulier dans les bas-fonds le long des cours d'eau. La dissipation de l'énergie motrice dans des fossés souvent sur-calibrés, conjuguée aux apports de sédiments des terres à nu impose un curage récurrent des axes drainant à ciel ouvert, dont les TBV qui ont souvent été rectifiés à l'aide d'engins mécaniques agricoles. Les débordements plus fréquents entrent en concurrence avec l'activité humaine riveraine sensible des zones urbanisées riveraines situées en aval. La réduction des débordements passe alors par des actions de recalibrage du lit, de confortement de berges, de passages en buse des cours d'eau. C'est donc une chaîne de rétroactions qui conduit à détériorer l'équilibre hydromorphologique des cours d'eau en modifiant les bilans de matière et les énergies hydrauliques. **Le chevelu hydrographique ne répond plus à une logique amont-aval mais à des alternances de tronçons qui sont en déficit ou en excès d'apports sédimentaires et d'énergie hydraulique.** Les effets alors indésirables sont corrigés localement par l'action de l'homme, ce qui éloigne à nouveau d'un équilibre hydromorphologique. Cela impacte le fonctionnement écologique des TBV dont le linéaire représente de 70% à 80% du réseau de rivière en France métropolitaine<sup>1,2</sup>. La

---

<sup>1</sup> LE BIHAN M., 2009, L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57), Rapport de stage, ONEMA/Université Paul Verlaine Metz, 49 pages.

<sup>2</sup> MALAVOI, 2011, Formation ONEMA sur l'hydromorphologie des cours d'eau, Supports de présentation, 1014 pages.

détérioration durable de ce linéaire remet en cause les efforts d’amélioration réalisés sur les cours d’eau d’ordre supérieur, cela en particulier dans l’objectif du bon état écologique fixé par la Directive Cadre sur L’eau de l’Europe qui s’impose aux états membres<sup>3</sup>. Les altérations physiques et chimiques ont des répercussions rapides sur les TBV. Elles impactent directement la capacité d’autoépuration, qui est réduite par l’altération géomorphologique mais aussi dépassée par des apports excessifs en azote, phosphore et réduite par les pesticides.

Le tableau suivant, qui ne prétend pas à l’exhaustivité des situations, est une tentative de résumer les causes humaines et leurs motivations toujours locales, aux conséquences possibles soit d’une augmentation du gabarit du cours d’eau, soit d’une diminution de celui-ci. L’hypothèse est que l’interventionnisme direct de l’homme sur le cours d’eau ou les effets indirects de son activité via des changements annuels dans le cas de l’agriculture, entraînent des déséquilibres entre les flux d’eau, les flux de sédiments et la capacité de débit des TBV. Ces déséquilibres se manifestent pour l’essentiel soit par du colmatage, soit par de l’incision, cela en réponse à des interventions humaine en versants ou dans le cours d’eau et qui dans ce deuxième cas modifient les gabarits de manière « instantanée ». La surface à plein bord (Spb), qui représente la section d’écoulement juste avant débordement et un marqueur d’équilibre géomorphologique pour un cours d’eau naturel. Elle constitue une métrique de référence. De même que le débit qui peut y circuler. L’intervention humaine conduit à des valeurs supérieures (Spb+) ou inférieures (Spb-) à ce que l’on observe en règle générale à l’équilibre et selon les types d’action humaines.

Actions humaines	Lieux		Effets		Perception		Motivation / conséquence
	Versant	Cours d'eau	Colmatage	Incision	Spb -	Spb +	
Drainage agricole par fossés	x			x		x	abaissement niveau nappe - accélération
Drainage agricole par drain	x		x		x		abaissement niveau nappe - ralentissement
Ruissellement routier	x			x		x	drainage chaussée - accélération
Agriculture --> Ruissellement	x			x		x	pratiques culturales - accélération
Urbanisation --> Ruissellement	x			x			intensité rejets urbains sans apports solides - accélération
Confortement de berge avec rétrécissement		x		x	x		réduction érosion - accélération / débordement
Rehausse de berge rurale- terre		x		x		x	réduction inondation - accélération
Rehausse de berge urbaine - béton / enrochement		x		x		x	réduction inondation - accélération
Elargissement & curage --> perte énergie		x	x		x		stockage - réduction débordement - ralentissement
Agriculture --> Rectification cours d'eau		x		x		x	facilité d'exploitation des parcelles en rural
Urbanisation --> Rectification cours d'eau		x		x		x	réduction inondation urbaine

Tab.1 : Actions anthropiques et conséquences possibles sur les sections plein bord des TBV.

Les TBV constituent une masse d’eau particulière pour laquelle des méthodes et métriques de caractérisation spécifiques sont à mettre en place, cela afin d’en caractériser l’état par rapport à une situation d’équilibre hydromorphodynamique qu’il faudrait savoir entretenir

<sup>3</sup>Lassaletta L. et al. (2010) Headwater Streams: Neglected Ecosystems in the EU Water Framework Directive. Implications for Nitrogen Pollution Control. Environmental Science & Policy 13(5):423-433. DOI: 10.1016/j.envsci.2010.04.005

mais aussi évaluer. A ce titre la note technique (Février 2017) de l'AFB sur la « Méthode d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau de tête de bassin versant... » est un début de réponse.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer si des écarts importants à un régime d'équilibre hydro-morphodynamique existent sur les TBV des bassins du Champalaune et du Quincampoix. D'interpréter puis d'identifier si possible les causes de ces écarts afin d'imaginer les stratégies de mitigation et de réduction des causes.

**L'objectif ne peut être celui d'un retour à un état où le bassin serait recouvert de forêts mais à celui où les pressions physiques et chimiques exercées seraient en équilibre avec la capacité naturelle des cours d'eau à s'auto-entretenir.** C'est le principe de gestion basé sur l'approche Ecohydrologique<sup>4</sup> du système bassin versant – milieux aquatiques.

## 2. Débit de plein bord (Qpb) – peut-on calculer une référence ?

Les débits des cours d'eau augmentent avec la superficie des bassins versants, ce qui se traduit par l'accroissement du gabarit des cours d'eau de l'amont vers l'aval. Le gabarit ou section de plein bord correspond à la section de l'écoulement avant débordement. De nombreuses études ont tenté d'établir un lien avec la fréquence du débit de plein bord, le débit dominant ou encore des caractéristiques d'hydraulique locale pour résumer les forces tractrices. Les nombreuses études et observations<sup>5</sup> confirment que la période moyenne de retour du débit de plein bord est située entre 1 et 3 ans<sup>6</sup>. La période de retour tend à diminuer pour les petits bassins versants car les écoulements se concentrent et s'additionnent alors plus rapidement. La détermination d'un débit de plein bord (Qpb) sur une section naturelle de cours d'eau, n'est pas toujours chose aisée ; le recours à des levés topographiques sur plusieurs profils en travers d'une section homogène (au sens hydromorphologique) de cours d'eau peut s'avérer nécessaire. Une détermination précise est alors possible moyennant l'utilisation d'un modèle hydraulique et de données de calage entre hauteur d'eau et débit<sup>7</sup>. Une autre méthode consiste à analyser la fréquence des variations des hauteurs d'eau<sup>8</sup> mais cela nécessite de disposer d'un enregistreur de hauteur d'eau dans la zone d'étude, ce qui est assez rare. D'autres facteurs peuvent cependant influencer la valeur du Qpb comme la facilité d'érosion des berges, la nature des sédiments disponibles, la pente du cours d'eau qui permet de développer plus ou moins d'énergie motrice. Une autre caractéristique des petits bassins versants est l'amplitude des variations de débits par comparaison aux bassins plus grands dont les gammes de variation sont plus resserrées autour du débit moyen. Cela indique que les TBV sont des transformateurs directs

<sup>4</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Ecohydrology>

<sup>5</sup> <http://www.glossaire.eaufrance.fr/concept/d%C3%A9bit-morphog%C3%A8ne>

<sup>6</sup> <http://www.glossaire.eaufrance.fr/concept/d%C3%A9bit-morphog%C3%A8ne>

<sup>7</sup> Navratil O., Breil P., Schmitt L., Grosprêtre L., Albert M.B.(2013). Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (yzeron river basin, France). Journal of Hydrology, Vol. 485: 24-36.

<sup>8</sup> Navratil O., Alber M.B., Breil P.(2010). Water level time-series contribution for over-bank flows analysis in alluvial rivers. Hydrological Processes, 24, Issue 17 : 2352–2564

des influences climatiques régionales et des perturbations anthropiques locales qu'ils subissent. Cela se traduit sans doute aussi par des temps d'ajustement variables, selon l'érodabilité des berges et du lit, entre le gabarit d'un cours d'eau et la modification anthropique des régimes hydrologique et sédimentaire.

Pour lever ces limites, la recherche d'une valeur de référence basée sur une approche dite régionale et statistique du Qpb peut être développée. La connaissance du Qpb de référence est nécessaire pour l'évaluation des causes exogènes qui expliquent les conséquences évoquées en introduction.

### **3. La modélisation régionale en débits-durées-fréquences (QdF)**

L'absence de mesures de débit sur les petits bassins versants impose d'utiliser une modélisation de ces débits validée par ailleurs sur une large gamme de régimes hydrologiques et de surfaces de bassins versants. Ce type de modèle a été développé par Irstea sur l'ensemble du territoire français<sup>9</sup>. Il permet de reconstituer en tout point de ce territoire un débit associé à une fréquence et une durée, ceci avec une incertitude connue. Afin de calculer au mieux les débits associés aux périodes moyennes de retour de 1 et 3 ans, il convient de développer une étude hydrologique régionale car les bassins versants du Quincampoix et du Champalaune ne disposent pas de stations hydrologiques.

### **4. Choix des stations hydrologiques**

Le principe consiste à identifier dans la banque nationale des données hydrologiques (Banque Hydro)<sup>10</sup> un ensemble de stations hydrométriques situées dans la région des bassins étudiés. L'hypothèse sous-jacente est celle d'une climatologie comparable. Il est aussi regardé les aspects de géologie et de pédologie. Ces stations hydrométriques doivent présenter au moins 10 années d'observation de manière concomitante et de préférence jusqu'à la période actuelle pour être représentatives des conséquences observées aujourd'hui car les TBV sont supposées répondre très rapidement aux perturbations. La durée de 10 années permet d'étudier de manière statistique la distribution des débits fréquents de période de retour de 1 à 3 ans sans difficulté. Par ailleurs il convient de vérifier dans la banque Hydro que les débits des stations sélectionnées ne sont pas significativement influencés par des ouvrages hydrauliques. Il faut aussi s'assurer que les débits de pointe des petits bassins versants sont bien représentés. Cela implique d'utiliser les données de débit dites à pas de temps variable dont il faut vérifier la disponibilité pour choisir les stations de débit. Des bassins de surfaces aussi petites que possibles sont recherchés en priorité pour l'étude des TBV. Cela constitue cependant une limite car les stations de débit sont rarement

---

<sup>9</sup> G. Galéa et C. Prudhomme. 1997. Notions de base et concepts utiles pour la compréhension de la modélisation synthétique des régimes de crue des bassins versants au sens des modèles QdF. Revue des sciences de l'eau. Volume 10, Numéro 1, 1997, p. 83–101. <http://id.erudit.org/iderudit/705271ar>

<sup>10</sup> <http://www.hydro.eaufrance.fr/selection.php>

installées sur de petits cours d'eau et que la durée des chroniques tend à augmenter avec la surface des bassins versants, ceci car la quantité des enjeux à protéger augmente alors aussi.

Le tableau et la figure suivante illustre les stations retenues et qui rassemblent les critères listés ci-dessus. Il a ainsi été sélectionné 12 stations hydrométriques, dont la Flume à Pacé (J721401001). Le tableau liste les codes des stations et donne leurs surfaces qui varient de 9.3 à 468 km<sup>2</sup>. Après traitement des chroniques de débit, deux stations ont été rejetées de ce jeu (J736422001 - 9.3 km<sup>2</sup>) et J061161001 - 153 km<sup>2</sup>) car elles présentaient des régimes de crues suggérant des débits influencés. En particulier, la station à 9.3 km<sup>2</sup> reçoit la surverse de la queue de retenue d'un barrage d'une autre vallée, ce qui augmente donc de manière fictive ses débits de crue.

code Hydro	Surface km2
J736422001	9.3
J751301001	26.3
J860241001	30.2
J702401001	31
J110581001	38.5
J062661001	82
J721401001	93
J111401001	102
J110301001	104
J708311001	153
J061161001	153
J735301001	468
Période 2006 à 2018	

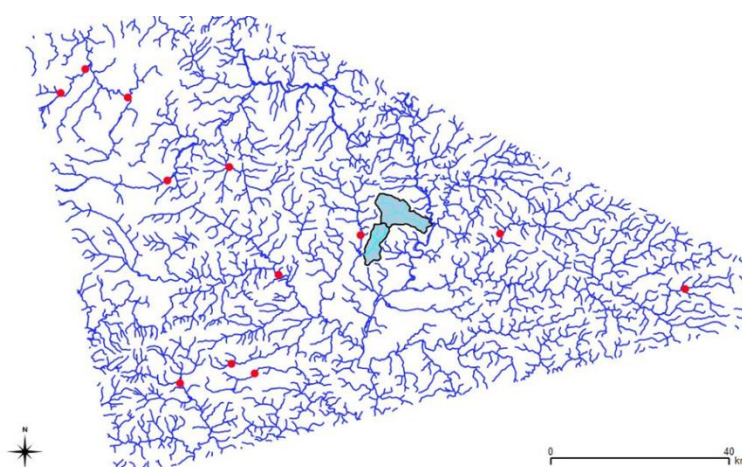


Fig.1 : Références et positions des stations hydrométriques (points rouges) de l'étude régionale.

## 5. Choix du modèle régional

Les débits associés aux crues sont extraits à l'aide d'un module informatique d'échantillonnage qui permet de ne garder que les crues indépendantes les unes des autres. Cette condition est nécessaire pour l'application d'un modèle probabiliste tel que celui retenu dans cette étude. Chaque échantillon de débits de crue est ensuite comparé au modèle national dit QdF (pour débit(Q)-(d)urée-(F)réquence) qui est décliné selon 3 jeux de paramètres. L'expertise consiste à identifier quel jeu de paramètres permet de mieux représenter les débits observés en une station. Si l'un des 3 jeux de paramètres permet de représenter l'ensemble des débits observés sur les stations hydrométriques d'une région, et cela dans une gamme de surface (ici de 26 à 468 km<sup>2</sup>), alors il est considéré comme modèle régional de référence pour calculer les débits de crue en tous les points du réseau hydrographique de la région concernée.

Le graphique suivant illustre la distribution des débits de pointe « normalisés » par la crues décennale de chacun des bassins versants. Cela permet d'évaluer la dispersion des débits de crues échantillonnés autour du modèle QdF régional (ici appelé S5) en fonction de la période moyenne de retour. On constate une dispersion maximale de l'ordre de +/- 30% autour du modèle central (courbe bleue). Ce résultat montre la cohérence du modèle hydrologique régional.

Le débit de période de retour 2 ans à une probabilité de 88% d'être compris entre + et - 20% du modèle régional central.

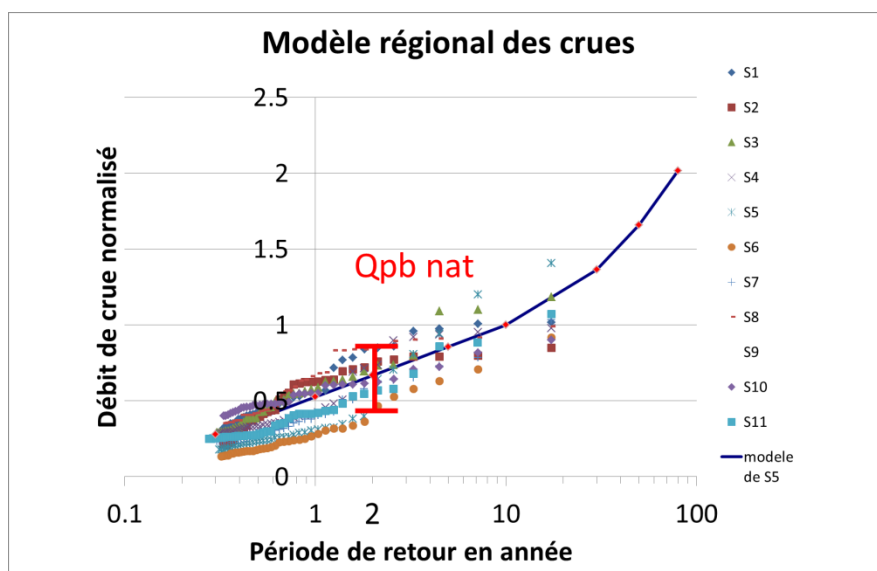


Fig.2 : Illustration de la convergence des débits de pointe de crue autour modèle hydrologique régional, en fonction des périodes de retour (T)

## 6. Choix du modèle régional

Il nous faut maintenant vérifier la cohérence du modèle régional avec les débits de plein bord estimés à partir de sections dites naturelles du cours d'eau. Un point est cependant ressorti concernant le protocole AFB appliqué par le bureau d'étude qui a conduit les relevés de terrain : la mesure précise de la pente des tronçons homogènes sur le plan hydromorphologique, c'est à dire à la lunette de topographe qui autorise une précision du centimètre, n'a pas été réalisée. La connaissance de la pente est cependant nécessaire dans la formule de Manning-Strickler pour calculer ici le débit de plein bord. Il s'agit donc d'un calcul approximatif qui utilise la pente fournie par le modèle numérique de terrain de l'IGN qui présente ici deux limites : les valeurs d'altitude sont connues au mètre près et la taille de la maille en plan (25m X 25m) à laquelle est attribuée la valeur d'altitude s'avère être plus

grande que la largeur du cours d'eau. Nous ne disposons donc pas des altitudes dans les cours d'eau eux-mêmes. Cela signifie que la pente calculée par les soins des syndicats des deux bassins est celle des berges. Les TBV sont généralement situées dans des zones de relief, ce qui compense un peu l'imprécision sur la mesure de l'altitude. Nous pouvons cependant apprécier l'effet possible de cette imprécision sur le débit calculé à partir de la formule de Manning-Strickler rappelée ci-après :

$$Q = K * R^{(2/3)} * I^{(1/2)}$$

Avec Q le débit en m<sup>3</sup>/s ; K le coefficient de rugosité ; R le rayon hydraulique ; I la pente de la surface libre qui se confond avec celle du lit du cours d'eau en régime d'écoulement permanent et uniforme.

En supposant les valeurs de K et R correctement estimées, l'erreur sur le débit calculé selon la formule de Manning-Strickler varie de 16%, pour une sous-estimation de la pente de 30%, à 14% pour une surestimation de la pente de 30%. Nous gardons cette amplitude d'erreur à l'esprit pour la suite des comparaisons.

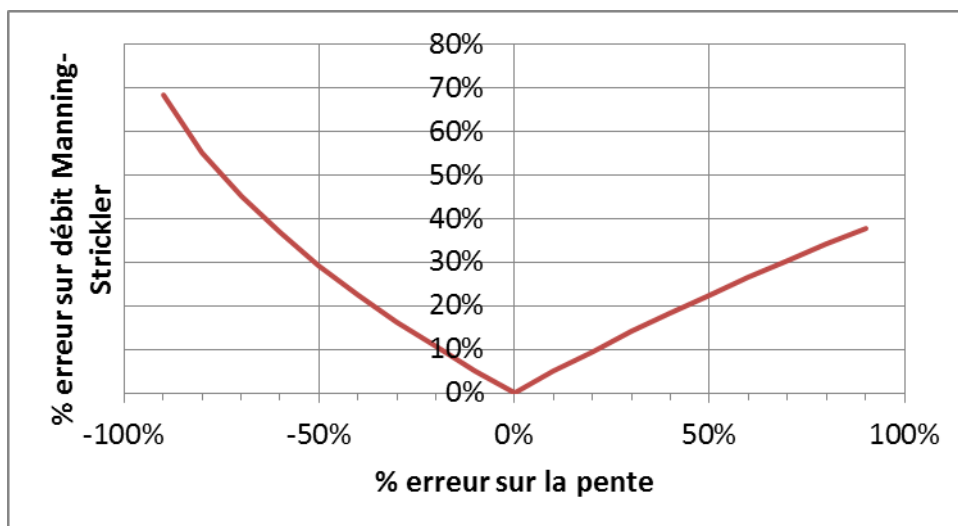


Fig.3 : Illustration de l'erreur d'estimation des débits selon l'erreur d'estimation de la pente dans la formule de Manning-Strickler.

## 7. Utilisation du modèle régional QdF calé.

Etant estimé l'erreur sur les débits de plein bord, nous avons regardé à encadrer le débit de période de retour 2 ans par des débits de périodes de retour à même de représenter l'erreur sur ce débit. Les débits de période de retour 1 an et 3 ans représentent respectivement une sous-estimation du débit 2 ans de 21% et une surestimation de 12%. Cela représente une erreur de -36% à + 22% sur l'estimation de la pente.

Nous retenons les débits de période de retour 1 an et 3 ans pour intégrer l'erreur sur la pente dans le calcul des débits de plein bord.

Cela va nous permettre de vérifier si les débits des sections déclarées de référence et naturelle sont proches du débit de période de retour 2 ans, comme de nombreuses études le montre. Le résultat est illustré dans la figure 4.

Les courbes rouges représentent les limites du domaine des débits naturels de référence de plein bord attendus (points verts). Seulement 5 sections sur 35 déclarées naturelles sont dans le domaine attendu. Si l'on regarde dans ce graphe la distribution des débits de plein bord de référence (points rouges) situés hors de la zone des débits de 1 an à 3 ans, on s'aperçoit de l'absence de cohérence avec les surfaces de bassin versant. Hors il s'agit de débits calculés pour l'essentiel sur des sections connexes. La variabilité des surfaces plein bord ( $S_{pb}$ ) qui sont calculées à partir des mesures réalisées directement sur le terrain montre aussi ce manque de cohérence amont-aval (cf. étude hydromorphologique), cela même si les changements des pentes locales peuvent expliquer une partie de cette variabilité. Par ailleurs, l'erreur sur les débits de plein bord du fait de l'erreur sur les pentes, que l'on a encadré par les débits de périodes de retour 1 et 3 ans, ne permet pas d'expliquer les écarts observés avec le modèle régional. En effet, la courbe noire représente les débits de période de retour 30 ans et correspond à une erreur de 104% sur le débit de plein bord de période de retour 2 ans (c.a.d. que le débit est doublé). Nous sommes bien au-delà de l'erreur de -36 % à + 22% liée au modèle régional sur les débits de plein bord.

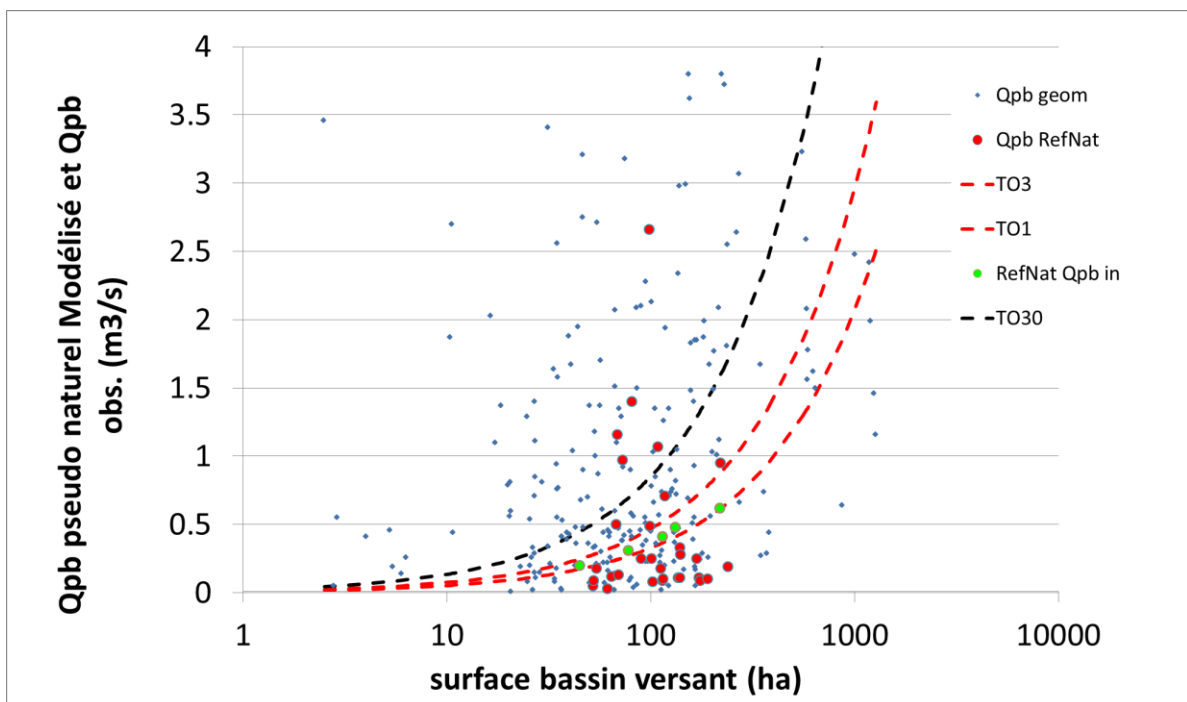


Fig.4 : Les débits de plein bord géomorphologiques par rapport aux périodes de retour 1, 3 et 30 ans.

Au final, la distribution dans la figure 4 de l'ensemble des débits de plein bord (264 sections) semble traduire des sections de cours d'eau qui sont peu à très artificialisées avec 73% de sections *a priori* surdimensionnées et 27% de sections sous-dimensionnées. Seul 10% des

débites de plein bord sont dans l'intervalle 1 an à 3 ans. **Quelles sont alors les causes possibles de ces écarts ?**

- Le sous dimensionnement du gabarit de plein bord peut résulter de l'accumulation de la (sur-) charge solide provenant de l'amont ou depuis les berges. Ce processus d'aggradation s'est enclenché depuis plusieurs décennies déjà et une étude des sédiments carottés sur 0.5 m permettrait de vérifier cette hypothèse. Le cours d'eau peut aussi être contraint localement par une protection de berge pour protéger des enjeux latéraux. Ces sections sont alors normalement connues pour déborder fréquemment. Si ce n'est pas le cas, cela signifie qu'une partie du ruissellement est détournée puis transférée plus en aval par un réseau pluvial urbain par exemple.

- Les gabarits plein bord élargis et (ou) approfondis, y compris par rehausse des berges, sont quant à eux souvent le fait de travaux de drainage agricole pour lesquels la section du cours d'eau est déterminée par celle du godet de l'engin utilisé. Cela peut aussi répondre à un objectif de protection contre les inondations. Les effets induits sur l'équilibre hydromorphologique sont en principe la perte d'énergie motrice accompagnée de dépôts liés à une perte de capacité tractrice. Il s'en suit la végétalisation de banc dans le lit du cours d'eau (ou du fossé) qui reçoit par ailleurs des fertilisants agricole. Ce processus déclenche une nouvelle opération de curage qui ne fait que recréer un déséquilibre entre dépôt et érosion. Les dépôts concernent la fraction plutôt grossière (qui piège ensuite des fines) car l'objectif des fossés de drainage est l'évacuation de l'eau. Les sédiments fins de l'érosion des terres agricoles sont transportés vers l'aval et se déposent dans les zones de moindre énergie.

A partir de ce constat il est considéré que le modèle régional permet de fixer un ordre de grandeur du débit de plein bord naturel.

## 8. Calcul des débits de plein bord dans les bassins anthropisés

Le modèle régional peut aussi être utilisé en combinaison avec l'influence des zones imperméables. Cette approche a été validée par différentes études<sup>11</sup> de cas où des données mesurées de débit et d'imperméabilisation étaient disponibles. L'influence des zones imperméables, essentiellement urbaines, est transcrite par des paramètres dédiés dans le modèle des débits naturels régional. Deux débits sont alors considérés :

L'influence urbaine peut être maximale si les débits de pointe de la crue rurale et urbaine s'additionnent. C'est le cas de figure des bassins versants qui s'urbanisent par le haut. Cela tient au fait qu'une crue urbaine arrive au cours d'eau plus rapidement qu'une crue rurale. Pour prendre en compte cette configuration, les débits des parties rurale et urbaine sont additionnés.

---

<sup>11</sup> Braud, I. Breil, P & al..(2013). Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France. Journal of Hydrology ,Vol 485: 5-23. Journal of Hydrology, 485, 5-23.

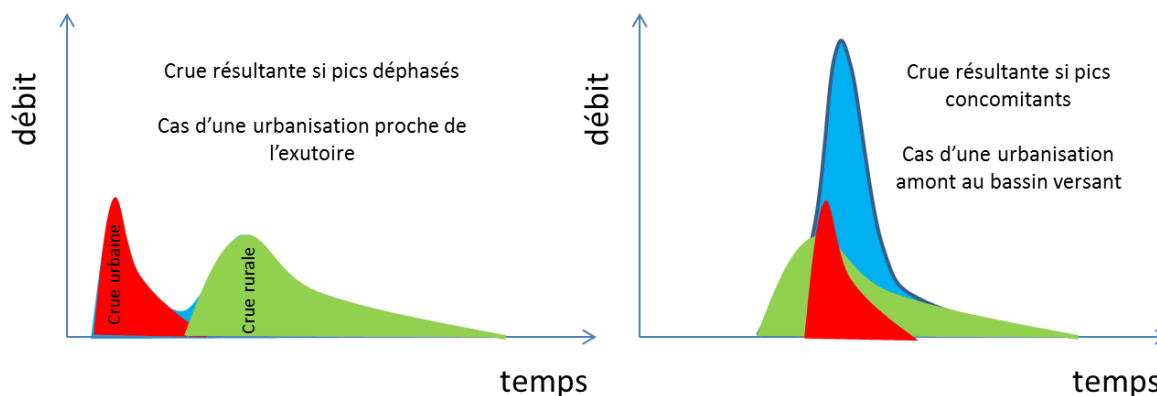


Fig.5 : Illustration des combinaisons extrêmes des débits ruraux et urbains selon position de l'urbanisation dans un (petit) bassin versant.

L'influence peut aussi être nulle si l'urbanisation est localisée au point de calcul du débit (à l'exutoire) de plein bord car la pointe de la crue urbaine s'écoule avant celle de la crue rurale. Dans le cas des TBV il faut cependant bien considérer que dans bien des cas les débits de pointe des zones urbaines dépassent de fait le débit de plein bord naturel. Pour prendre en compte ce cas de figure, il est considéré le débit de plein bord le plus fort entre la partie rurale et la partie urbaine. Ces deux situations extrêmes sont illustrées dans la figure 5.

Une autre méthode peut être utilisée pour calculer le débit de période de retour 2 ans ; il s'agit de la méthode dite « rationnelle ». Celle-ci est présentée et utilisée dans l'étude conduite par les syndicats des deux bassins. Nous comparons ici les résultats des débits de période de retour 2 ans obtenus par le modèle régional avec composante urbaine et par la méthode rationnelle qui utilise un coefficient de ruissellement pour prendre en compte les différents types d'occupation des sols.

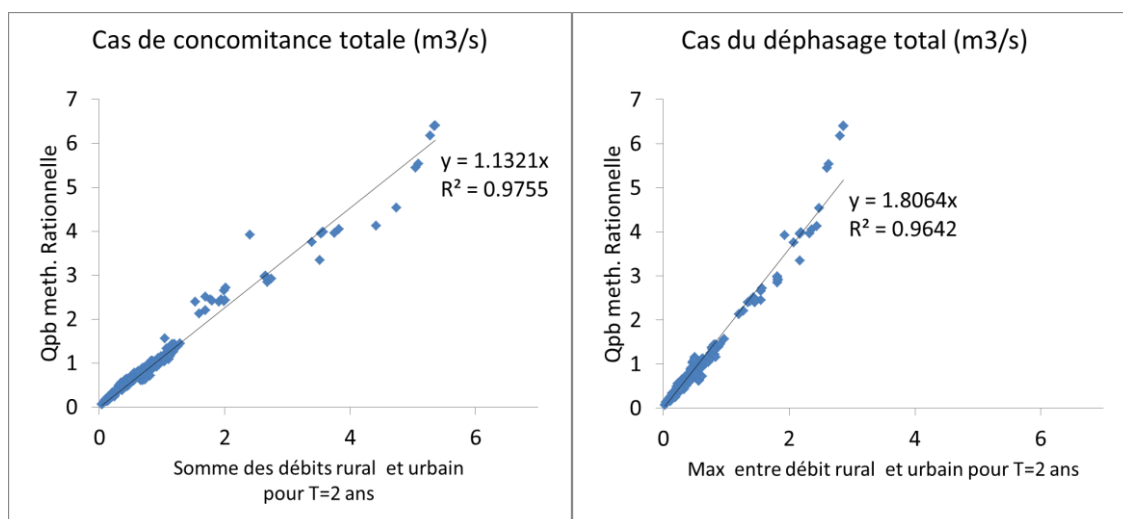


Fig.6 : Comparaisons des débits de période retour 2 ans calculés par la méthode rationnelle et le modèle hydrologique régional (avec hypothèses de déphasage et concomitance des pics de crues urbaine et rurale)

La comparaison des débits entre les deux modèles est illustrée dans la figure 6. On constate que la méthode rationnelle surestime en moyenne de 13% le débit de plein bord calculé par la méthode régionale avec hypothèse de concomitance (graphique de gauche). Dans le cas du déphasage total, la surestimation est de 81%. C'est un « défaut » connu de la méthode rationnelle qui fait implicitement l'hypothèse d'une concomitance totale des débits de pointe de tous les types d'occupation du sol. Elle ne prend pas en compte l'effet de laminage et d'étalement des écoulements produit par la partie rurale, ce que fait le modèle régional. L'hypothèse du modèle rationnel est valable pour des bassins de quelques hectares et avec une forte composante imperméable. Dans cette étude, la moyenne des surfaces imperméable est de 14%. Il est donc plus fiable de s'appuyer sur le modèle régional plutôt que sur la méthode rationnelle.

## **9. Production des débits de plein bord anthropisés aux sections de mesure de l'étude**

Comme indiqué au sous-paragraphe 8, le modèle régional permet de prendre en compte les débits issus des zones rurales et urbaines avec des valeurs extrêmes qui encadrent la concomitance ou le déphasage des pics de crues. La concomitance dépend de la position des zones imperméables par rapport au point de calcul des débits de plein bord mais aussi de la manière dont la pluie évolue dans le temps et dans l'espace du bassin versant. Le nombre de scénarios est donc infini et nous faisons ici le choix de borner le domaine des réalisations par les valeurs minimales et maximales possibles.

La production des zones urbaines est elle-même très variable selon l'efficacité du drainage urbain, la présence de tronçons unitaires qui rejettent par des déversoirs d'orage selon l'intensité des pluies, de réseaux séparatifs dont le pluvial est plus ou moins tamponné avant d'arriver dans les cours d'eau. L'hypothèse d'une contribution totale des zones urbaines est donc très pessimiste pour des débits (de 1 à 3 ans en période de retour) liés à des pluies fortes mais non exceptionnelles. L'hypothèse est d'autant plus valable que la période de retour des débits approche ou dépasse la capacité des réseaux de drainage urbain (10 ans en moyenne). Cependant cela permet de borner clairement le maximum possible.

Le graphique suivant permet d'avoir une lecture directe de la gamme des Qpb attendus pour une surface drainée donnée sur les bassins du Quincampoix et du Champalaune. Cela dans l'état actuel de développement de ces bassins. Les points bleus représentent les Qpb futurs maximum (hypothèse de concomitance) en tenant compte de l'évolution prévue dans les documents de PLU. On observe qu'ils sont proches de la période moyenne de retour de 3 ans.

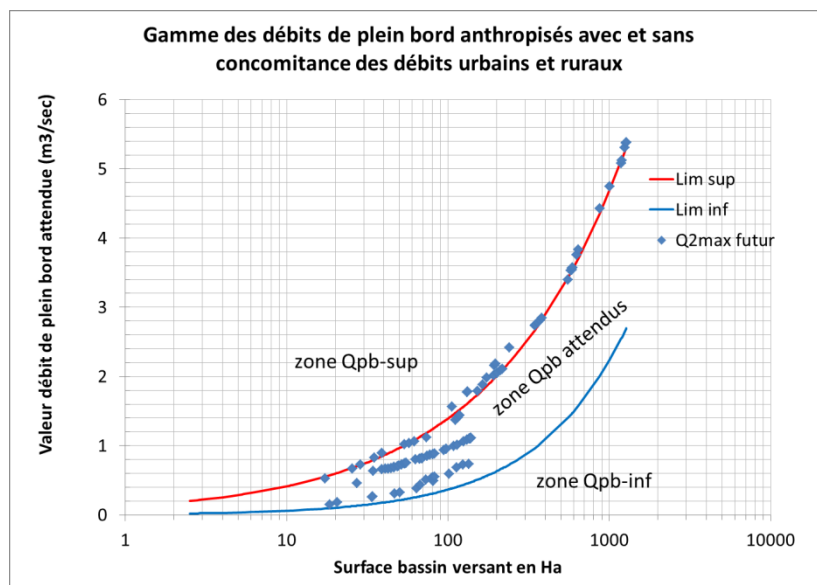


Fig.7 : Gamme des débits plein bord attendus selon le modèle hydrologique régional et Qpb futurs

- Une version graphique est disponible en annexe.
- Un fichier vecteur (.shp) des débits aux sections est fourni avec rapport. Exemple détaillé en annexe.
- Un fichier tableur (.xls) du modèle régional est aussi fourni pour réaliser les calculs avec des simulations d'évolution de l'occupation du sol des bassins versants.

**En conclusion de l'analyse hydrologique**, il apparaît que la grande disparité observée des débits de plein bord, tout en intégrant l'erreur commise sur la pente du cours d'eau, résulte de l'intervention humaine sur des gabarits dont la section moyenne de plein bord est de 0.8 m<sup>2</sup>. Ces petites sections sont facilement modifiables avec des engins mécaniques agricoles. Les pourcentages de linéaires à différents degrés d'artificialisation sont par ailleurs très importants (77% et 99% respectivement sur Champalaune et Quincampoix) et confirment le niveau de pression anthropique exercée sur le gabarit de ces cours d'eau (cf. Etude hydromorphologique, Doc. 3). Pour le Champalaune par exemple, 75% de la ripisylve entre 5 et 10m est à vocation agricole ou de pâturage et à 25% en zones industrielle et résidentielle.

La définition des cours d'eau naturels selon l'indice d'artificialisation nulle (=référence) ou faible (=naturel) mériterait d'être affinée (annexe 3 du document 1 de l'étude hydromorphologique) car même les sections de référence sont situées hors des débits plein bord de période de retour 1 à 3 ans, sans être toutefois trop éloignés. Les 10% des sections plein bord qui sont compris dans cet intervalle 1 à 3 ans présentent des niveaux d'artificialisation de naturel (5 sections) à semi-naturel (8 sections) et artificiel (14 sections). Cela peut aussi montrer qu'un cours d'eau artificialisé n'est pas forcément sous ou surdimensionné.

L'analyse des incertitudes prises en compte dans le modèle régional et sur les pentes permet de confirmer l'effet de l'intervention humaine sur les gabarits de plein bord. Les rôles de l'agriculture et de l'urbanisation sont regardés ci-après.

## 10. Etude du lien entre les débits de plein bord non naturel et les descripteurs hydromorphologiques des sections de cours d'eau

Ces analyses sont complémentaires de celles menées en détail par les syndicats des deux bassins. Elles ont vocation à vérifier si les valeurs des variables d'état hydromorphologiques des sections de cours d'eau expertisées comme artificialisées font sens avec l'écart à un régime naturel. Pour cela, il est formé deux groupes de sections de cours d'eau ; ceux qui présentent un débit de plein bord inférieur à la gamme des débits plein bord prédits par le modèle régional et ceux qui sont supérieurs. La valeur du test est validée par l'importance de l'échantillon qui comprend au total 159 sections de cours d'eau (ne sont pas comprises les sections dont les Qpb sont situés entre les périodes de retour de 1 à 3 ans), réparties en 85 Qpb-inf et 74 Qpb-sup.

Dans le cours d'eau : il a été regardé si des variables hydromorphologiques pouvaient expliquer la dispersion des débits plein bord (Qpb) estimés au-dessus et en-dessous des Qpb calculés à partir du modèle régional QdF.

Les variables utilisées proviennent de l'étude hydromorphologique. Il s'agit de : l'artificialisation, la rugosité, la sinuosité, l'évolution, les matériaux des berges, l'érodabilité, l'érosion, le colmatage, la granulométrie-1, la granulométrie-2, l'irrégularité des parois, l'occupation du sol dans la bande riveraine de 5 et 10 mètres, la présence de ripisylve et le rapport largeur sur hauteur à plein bord. Nombre de ces variables sont qualitatives ; elles ont été transformées en données ordinales afin d'étudier de leurs distributions (Tab.2).

Valeur ordi	Artificialisation	Rugosité	Sinuosité	Evolution	Irr. parois	OS_10m	Ripisylve	Ratio Lpb/Hpb
0	référence						absente	surcreusement
1	naturel	K 5-20	sinueux	stable	lisse	Forêt de feuillus...	rideau clair.	
2	semi-naturel	K 20-30	limité	quasi équilibre	légère	Surfaces enherbées...	rideau	
3	artificiel	K > 30	rectiligne	chenalisé	modérée	Terres labourables....	0-5m	équilibré
4	très artificiel			incisé	importante	Zones indus. & résid.	5-10m	
5	enterré/plan d'eau			incisé-élargit			> 10m	
6				accumulation-élargissement				surlargeur

Tab.2 : Valeurs ordinales attribuées aux variables qualitatives de l'étude hydromorphologique.

La signification des variables est précisée dans la note technique de l'AFB<sup>12</sup> utilisée pour l'étude hydromorphologique.

- L'artificialisation est une variable composite et son sens est intuitif.
- Il faut noter que K (formule de Cowan) est en fait l'inverse de la rugosité et donc que les valeurs faibles correspondent à des rugosités fortes.

<sup>12</sup> « Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire ». Le Bihan M. & al. Ver. V1.2, 20/02/2017)

- L'absence de sinuosité n'est pas systématiquement un indice d'altération car cela peut être d'origine naturel pour des TBV à pentes supérieurs à 4-5%. Ce n'est cependant pas la majorité des sections inventoriées dont la pente moyenne est de 1.58%. Nous pouvons considérer qu'il s'agit alors de rectifications d'origine anthropique.
- Pour l'évolution morphodynamique, un gabarit de cours d'eau sous-dimensionné, du fait du rétrécissement anthropique du lit mineur, d'un apport de matériaux d'origine naturelle ou anthropique et trop grossier pour être tracté par l'énergie du cours d'eau ou encore d'une augmentation des débits d'origine anthropique, répondra par une incision et (ou) un élargissement selon l'érodabilité des berges et du fond, et par un débordement fréquent si l'évolution hydromorphologique est impossible. A contrario, l'augmentation du gabarit conduira à l'atterrissement de matériaux et la création possible d'un lit emboité.
- Le degré d'irrégularité des parois est une variable complémentaire (Méthode de Cowan) dont le lien est fait avec les classes d'évolution morphodynamique en reliant l'érosion nulle à des parois lisses et l'érosion importante à des parois aux irrégularités importantes. Les parois lisses ou aux irrégularités modérées peuvent résulter d'un entretien mécanique. C'est donc potentiellement un indicateur d'anthropisation du lit mineur.
- L'occupation du sol est distinguée dans la bande riveraine en zone perméable (forêt, prairie), semi-perméable et pourvoyeuse de sédiments fins et d'actions de drainage sur les TBV (terres agricoles), et imperméables (industrielles et résidentielles) qui fournissent des débits de ruissellement importants quand ils ne sont pas tamponnés par des ouvrages.
- Le rapport largeur sur hauteur à plein bord donne un indice d'équilibre. S'il est inférieur à 3, une action de surcreusement naturelle ou anthropique est avérée. S'il est supérieur à 5, c'est une largeur excessive qui va provoquer des atterrissements de matériaux ou peut correspondre à l'effet d'une queue de retenue d'eau permanente ou temporaire. Entre ces deux limites, le cours d'eau est jugé proche d'une forme équilibrée.

Le test de comparaisons des moyennes de deux échantillons a été appliqué (Test-t) pour savoir si des variables hydromorphologiques différencient d'un point de vue statistique les Qpb-inf et Qpb-sup situés en dehors de la gamme des Qpb attendus, calculés par le modèle régional. Les variables qui présentent une différence significative ( c.a.d. que « la probabilité que les moyennes des variables calculées pour les groupes Qpb-inf et Qpb-sup soient égales » ne dépasse pas 5%) de leurs moyennes pour les Qpb-inf et les Qpb-sup sont listées dans le tableau 3 suivant :

Test t	Artificialisation	Rugosité	Sinuosité	Evolution	Irregularité parois	OS_10m	ratio Lpb/Hpb
moy1 de Qpb-inf	2.235	1.706	2.165	2.906	2.047	2.122	2.876
moy2 de Qpb-sup	2.959	2.139	2.750	4.111	1.597	2.429	2.230
Prob moy1=moy2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026

Tab.3 : Variables discriminantes pour les TBV avec Qpb-inf et Qpb-sup

Le test indique que les variables : artificialisation, rugosité, sinuosité et évolution présentent des moyennes significativement supérieures pour le groupe des Qpb\_sup, cela avec une probabilité d'égalité des moyennes (moy1 et moy2) inférieure à 1/1000. A partir du tableau 2 il est possible d'interpréter ces différences :

- les Qpb-sup caractérisent des sections de cours d'eau « artificiel », une rugosité de K 20-30, une sinuosité « limitée » à « rectiligne », un état d'incision avec des parois lisses et un surcreusement. Cela est cohérent avec une occupation du sol riveraine plus ruisselante mais aussi plus impactée par les pratiques de drainage et donc de curage. La figure 8 indique la distribution des types d'occupation du sol à 10 mètres.

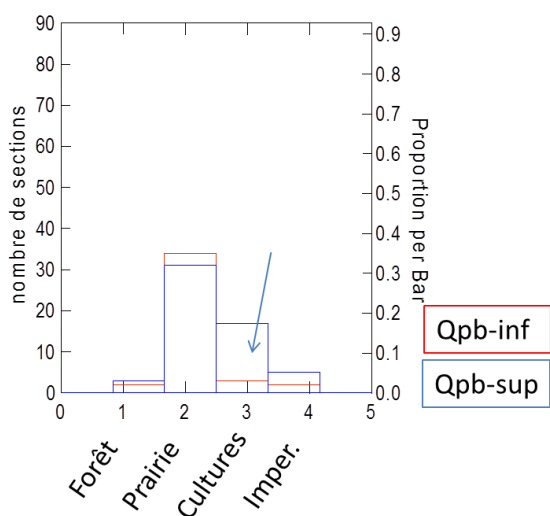


Fig.8 : Distribution de l'Occupation du Sol dans la bande des 10m (groupes Qpb-inf et Qpb-sup).

Pour la modalité « Cultures » on note beaucoup plus de sections pour le groupe Qpb-sup (en bleu) que pour le groupe Qpb-inf (en rouge). La modalité imperméabilisation reste faible en pourcentage. Cela indique que l'origine du sur-dimensionnement des TBV est majoritairement agricole, à la fois par entretien des « fossés », diminution des temps de transfert et donc augmentation des pointes de débit. Cela couplé à un transfert efficace en aval des particules lessivées depuis les terres agricoles.

- Les Qpb-inf sont d'une manière générale moins impactés. On note une proportion importante de prairie par rapport aux autres types d'occupation du sol. Le rapport largeur sur hauteur à plein bord tend vers les valeurs équilibrées. L'évolution et la sinuosité caractérisent un milieu moyennement impacté qui peut persister en l'état. L'hypothèse d'une réduction des gabarits par l'intervention humaine directe sur ces TBV n'est pas démontrée. On note une granulométrie significativement plus grossière (via K et l'irrégularité des parois) mais il est difficile de relier cela à une forme de comblement depuis des berges pour l'essentiel enherbées.

Afin de pousser l'analyse des facteurs explicatifs il a été comparé des variables intégratrices comme les surfaces des sections en travers à plein bord, les pentes moyennes des berges des sections et les surfaces des bassins versants drainés par les sections de TBV (Tableau 4).

Test t	Spb m2	Pte %	S. TBV ha
moy1 de Qpb-inf	0.527	1.183	210.93
moy2 de Qpb-sup	1.444	1.946	94.348
Prob moy1=moy2	0.000	0.000	0.001

Tab.4 : Variables discriminantes pour les TBV avec Qpb-inf et Qpb-sup

Il est observé des différences très significatives et intéressantes, car si les surfaces des sections plein bord (Spb) sont en moyenne 2.7 fois plus petites pour les Qpb-inf (ce qui fait sens) par contre les surfaces drainées par ces sections de TBV sont en moyenne 1.6 fois plus grandes que celles des sections avec Qpb-sup. Par ailleurs les pentes locales des berges sont en moyenne 1.6 fois inférieures pour les sections avec Qpb-inf par comparaison aux sections avec Qpb-sup. Les sections à Qpb-inf présentent donc une moindre énergie de transport.

**Comment expliquer que des Spb puissent être inférieurs aux gammes de valeurs prédites par le modèle régional ?**

La position majoritairement aval (d'après les surfaces moyennes des bassins versants drainés) et la moindre pente des sections avec Qpb-inf peut expliquer qu'elles se comblent progressivement avec des matériaux qui sont libérés par les sections amont dont les Qpb-sup sont expliquées par des pratiques qui favorise l'énergie de transport. La fraction des matériaux véhiculés vers l'aval peut expliquer un comblement diffus qui engraisse aussi les berges et favorise la colonisation végétale, facteur de rugosité et d'irrégularité. Cela peut expliquer l'absence de différence statistique entre les granulométries amont et aval. Les sections du groupe des Qpb-inf débordent sans doute plus fréquemment, de manière plutôt diffuse et sans impact notable puisque majoritairement bordée de zones enherbées. **Ces sections ont sans doute un rôle de laminage des crues qu'il faut savoir préserver à l'avenir.**

## 11. Un lien avec les analyses multi-facteurs des sections de cours d'eau

L'idée n'est pas ici de reprendre les résultats qui sont détaillés dans un autre rapport (J. Fénéon, 2018) réalisé dans le cadre de cette étude au sein des syndicats des deux bassins versants. Il s'agit de voir si les interprétations et conjectures proposées dans l'analyse hydrologique font sens avec celles basées sur l'analyse multi-facteurs.

Cette analyse s'est attachée dans un premier temps à identifier des variables explicatives des sections à plein bord (Spb) considérées comme peu altérées ou de référence, dénommé ci-après « groupe de référence ». Ces variables sont calculées dans la zone buffer des 10m qui encadre les sections de cours d'eau délimitées dans l'étude hydromorphologique. L'analyse multi-facteurs a permis d'identifier trois groupes :

- Le groupe 1 caractérisé par des variables descriptives de l'artificialisation ;
- Le groupe 2 considéré le plus proche des variables descriptives d'un fonctionnement naturel ;
- Le groupe 3 identifie les sections plein bord les plus grandes et semble être contrôlé par des variables représentatives du ruissellement comme le potentiel de production et le

potentiel de transfert<sup>13</sup> du ruissellement intense. La méthode IRIP qui a permis le calcul de ces potentiels est décrite de manière succincte en annexe.

L'existence de ces trois groupes pose d'emblée la question de l'identification des TBV dits de référence et naturels. La figure 4 de l'étude hydrologique illustre d'ailleurs bien ce problème avec peu de stations dans la gamme de débits attendus selon le modèle régional. Dans la méthode IRIP les zones agricoles et urbaines augmentent le potentiel de ruissellement. Ce qui caractérise les groupes 1 et 3 mais aussi Qpb-sup de l'étude hydrologique avec des valeurs ordinales 3 et 4 pour l'occupation du sol (Fig.8).

L'analyse multi-facteurs montre aussi des résultats contre-intuitifs dans les sens des effets attendus sur les Spb du groupe de référence et les Spb altérés (soit tous les autres Spb de l'étude hydromorphologique). Ainsi, la présence de ripisylve « favorise » des Spb grands pour le groupe de référence par rapport au groupe des Spb altérés alors que l'on s'attend à une meilleure fixation des berges par des racines.

L'ensemble de ces éléments tend à montrer que la définition d'un Spb (et d'un Qpb par conséquent) pour les cours d'eau de tête de bassin n'est pas sans poser de questions.

## 12. En conclusion

Dans l'histoire d'un bassin versant, la déprise agricole avec reforestation spontanée peut expliquer un déficit d'apport sédimentaire qui déclenche des processus d'incision dans les zones à forte énergie des têtes de bassin versant et d'atterrissement, comblement et banalisation des faciès dans les zones de faible énergie de l'aval, cela par rapport à une situation d'équilibre réalisée sur un long terme dans un environnement très pourvoyeur de sédiments. Ce n'est *a priori* pas l'historique des bassins versants étudiés ici du Champalaune et du Quincampoix. En effet, ni l'incision, ni le colmatage ne semblent distinguer les débits de plein bord faibles et forts par rapport à la gamme des valeurs attendues et prédites par un modèle à base régionale. Le colmatage n'est d'ailleurs qu'un indicateur potentiel peu présent dans l'échantillon des sections étudiées.

**L'intervention directe ou les effets indirects des actions et activités anthropiques sur le gabarit des TBV est donc l'hypothèse la plus plausible.**

Le rôle de l'agriculture sur l'augmentation des gabarits et pour partie des débits peut être avancé compte tenu de la faible proportion (pour l'instant) des zones industrielles et résidentielles. Un effet urbain induirait par ailleurs une augmentation régulière sur plusieurs sections consécutives d'amont en aval des débits plein bord. L'absence de cette logique hydrologique est pointée d'emblée dans le jeu de données, en logique amont-aval mais aussi temporelle (périodes de retour) et y compris en explicitant une part d'imprécision.

---

<sup>13</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/IRIP>

L'évaluation des sections plein bord des petites cours d'eau indique une faible surface moyenne de 0.36 m<sup>2</sup> et un rapport moyen « largeur sur hauteur plein bord » de presque 3, soit 36 cm de hauteur sur un mètre de large. Cela transcrit la difficulté de distinguer une limite plein bord nette sur le terrain.

L'étude hydrologique a permis de confirmer les « incohérences » des débits plein-bord que l'on retrouve dans l'analyse multi-facteurs des surfaces plein-bord. Elle fournit en annexe un graphique des gammes de débit plein bord attendus dans les conditions d'occupation du sol actuelle et selon les surfaces de bassins drainées.

La simulation des Qpb futurs, qui prend en compte le changement d'occupation du sol et l'effet de l'urbanisation, indique que l'on sortira peu de l'enveloppe supérieure.

## Partie II : Eléments de gestion

### 1. Zones Humides et Milieux humides Potentiel-le-s

Nombre de ZH ont été recensées dans le cadre de l'inventaire des zones humides du département d'Ille et Vilaine, à l'échelle des bassins versants<sup>14</sup>. On sait par ailleurs que la consommation des espaces pour l'agriculture, l'urbanisation et les voiries a entraîné par le passé le remblaiement ou le drainage des ZH. Leurs rôles pour le maintien de la biodiversité animale et végétale ainsi que pour la gestion de la ressource en eau, en particulier dans les têtes de bassins, sont reconnus. Les zones humides fonctionnelles font aujourd'hui l'objet d'une gestion, voire d'une protection compte tenu des services écosystémiques qu'elles apportent et dans lesquels il faut inclure la régulation des extrêmes hydrologiques que sont les crues et les étiages mais aussi un rôle de biotransformation des substances chimiques liées à l'activité agricole comme les fertilisants et les pesticides. **La gestion des TBV implique de toute évidence celle des ZH.**

En l'état du recensement réalisé par la DDTM Ille et Vilaine, il existe 242 ZH Référencées (ZHR) sur les bassins du Champalaune et du Quincampoix dont 80% sont supérieurs à 0.1 ha et 28% à 1 ha. Ces limites respectives imposent déclaration ou encore demande d'autorisation d'intervenir sur les ZH en cas de modification (articles L214-1 à 6 et R214-1 du code de l'Environnement). Pour prendre en compte les pertes en ZH liées aux activités des dernières décennies, l'INRA a mis à disposition une cartographie des Milieux Humides Potentiels<sup>15</sup> (MHP). C'est un premier indicateur de l'écart entre l'état actuel et passé. Par ailleurs, la méthode IRIP<sup>10</sup> (Indicateurs du ruissellement Intense Pluvial) fournit aussi un moyen d'évaluer des ZH potentielles (ZHP) à partir d'un post traitement des cartes d'accumulation et de transfert. Cela permet d'avoir une vision des liens avec les zones de ruissellement et de juger du potentiel d'interception des zones connectées. Le post-traitement a été mis au point sur le TRI de Nantes métropole en 2017<sup>16</sup> avec un calage sur 10% du territoire et la validation sur le reste de ce territoire, cela avec un taux de réussite de 88% d'intersection entre les ZHP et les zones humides recensées dans la base de données très fournie du SAGE estuaire de la Loire. Le même post-traitement a été utilisé sur les cartes de transfert et de production des deux bassins versants étudiés ici. Nous comparons dans un premier temps les cartographies des ZHP (IRIP) et des MHP (INRA) avec celle des ZHR qui

---

<sup>14</sup> <https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/ac11a5f3926edb904558f64883e78193600d29c4>

<sup>15</sup> <http://geowww.agrocampus-ouest.fr/portails/?portail=mph&mode=url&url=http://geowww.agrocampus-ouest.fr/geonetwork/apps/georchestra/?uuid=518b3e0a-ee55-40cb-a3ed-da00e60505aa>

<sup>16</sup> Breil P., Abekhzar H. (2017) Rapport sur action 415 : Gestion des inondations par ruissellement au moyen de la reconquête de zones humides (RIZHU). PROGRAMME MEEM (DGPR / SRNH) - IRSTEA 2017. Evaluation et Prévention du Risque. 44P.

sert de référence dans notre étude. Ces résultats sont discutés dans une perspective de gestion du ruissellement intense.

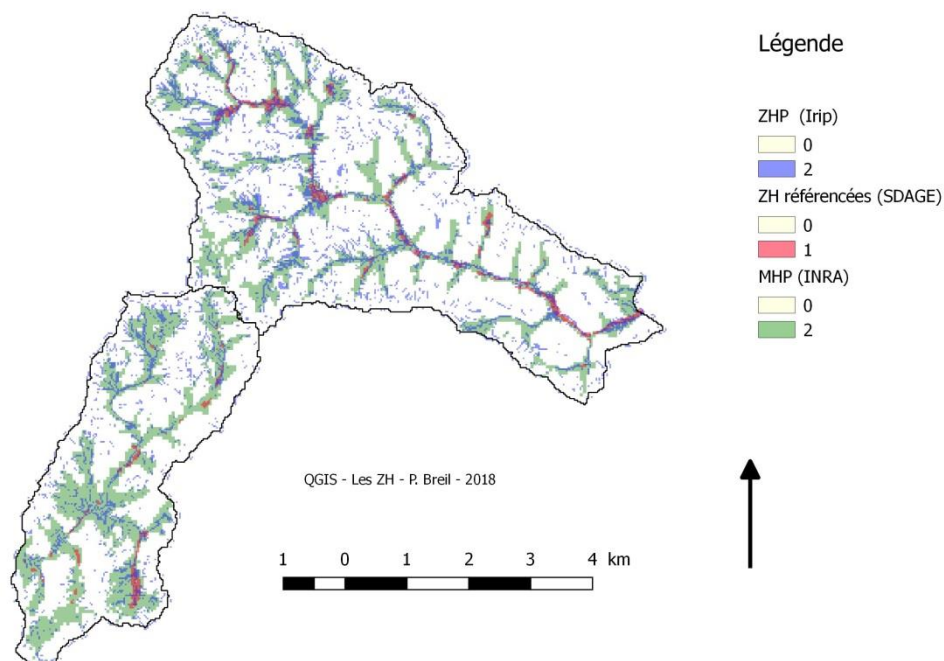


Fig.9: Comparaisons des zones humides référencées avec les zones humides potentielles

La figure 9 met en évidence l'écart de surface entre l'observation (ZHR) en rouge et les cartographies des zones et milieux humides potentiels (en bleu et vert). Les méthodes prédisent ainsi beaucoup plus de zones humides que l'état d'observation actuel. On note par ailleurs un étalement des zones et milieux humides potentiels dans les parties amont des têtes de bassin versant. Les zones humides référencées sont bien décelées par les deux méthodes, ce qui valide leurs prédictions. Dans le détail, si l'on comptabilise les mailles (25m X 25m), la cartographie de l'Inra est a priori plus performante car elle couvre 91% des zones humides référencées contre 42% pour la méthode Irip. Il faut cependant nuancer cette comparaison sur deux plans : le premier est que les MHP Inra couvrent 29% des bassins versants du Quincampoix et du Champalaune contre 12% pour les ZHP ; donc en moyenne deux fois plus de probabilité de couvrir les ZHR. Cela s'explique en partie par la représentation continue et lissée des MHP alors qu'elle est « pixélisée » pour les ZHP. Cela tient à l'absence de « lissage » pour les ZHP, ce qui fournit une cartographie moins attrayante sur le plan visuelle mais qui conserve la réalité liée au MNT et sans doute à ses artefacts pour partie. La méthode Irip détecte 91% des ZHR si l'on considère la présence d'au moins 10% de maille ZHP dans les ZHR. On vérifie aussi que 17% des ZHR sont détectées avec 100% de mailles ZHP.

Décider qu'une méthode est meilleure qu'une autre est donc assez arbitraire à ce stade. Chaque méthode semble apporter une information complémentaire : la méthode des MHP reste très liée au réseau hydrographique alors que la méthode des ZHP propose de l'information dans les versants. Les deux méthodes sont donc considérées dans ce qui suit.

## 2. Limiter les inondations à l'aide des zones / milieux humides

L'idée est de ralentir le ruissellement intense dans les zones stratégiques qui sont situées en amont des zones à risque, pour l'essentiel les zones urbaines riveraines.

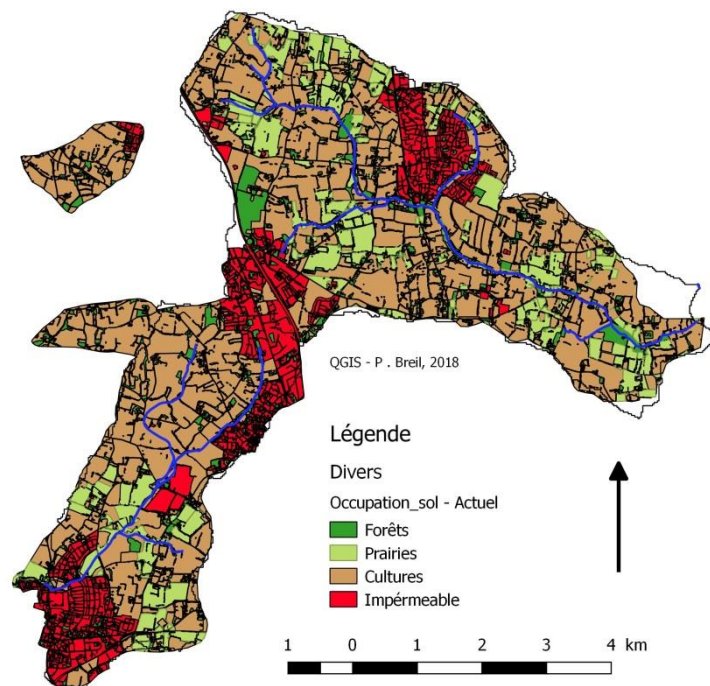


Fig.10: Analyse des conditions favorables aux concomitances des pics de crues ruraux et urbains.

Le principe proposé est de croiser les zones de production et de transfert du ruissellement intense prédites par la méthode Irip avec les zones et milieux humides. Cela permet d'évaluer la possibilité d'intercepter les zones les plus productrices en ruissellement mais aussi en matières en suspension et polluants associés. L'expérience tirée des évaluations des cartes Irip depuis 2011 montre que pour des pluies intenses de 15 minutes à 1 heure et de période moyenne de retour supérieure à 30 ans, les pertes en terre s'accompagnent de coulées boueuses dès lors que les pentes excèdent entre 3 et 5% pour les cultures de maïs<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Patrice P., Breil P., Poulard C. (2015) Évaluation de la méthode IRIP : application de la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde (TRI du Havre). <https://irsteadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00043980>

Ces critères sont évalués dans ce qui suit pour juger de l'intérêt de préserver ou réhabiliter des espaces humides.

En complément de cette approche versant, l'aspect du déphasage des pics de crues dans le réseau hydrographique lui-même est à considérer dans une stratégie globale. Cet effet est d'autant plus pertinent à prendre en compte que les bassins versants sont de petite taille, comme c'est le cas pour les têtes de bassin. En effet, la simultanéité des pluies fortes sur de petits territoires est plus probable que sur de grands territoires. Le principe en a été évoqué dans la partie 1 de ce rapport (cf. figure 5) : Il convient de ralentir le ruissellement en priorité sur les branches rurales qui sont situées en amont des confluences avec des branches qui reçoivent des écoulements de zones imperméables. Dans le cadre de cette étude, on observe des situations propices à ce type de gestion sur chacun des bassins versants (fig.10).

### **Sur le bassin du Champalaune**

La zone urbaine située à cheval entre les deux bassins versants et qui se prolonge en rive droite sur le bras nord-est du cours d'eau augmente les volumes et intensités des pics de crues qui arrivent rapidement dans le cours d'eau. La branche ouest est quant à elle beaucoup plus rurale mais présente des zones agricoles propices au ruissellement intense : la figure 11 montre la répartition des zones de production les plus fortes. On retrouve dans ces zones le tissu urbain dont la production ne sera pas correctement gérée par les réseaux d'assainissement conventionnels au-delà d'une période de retour 10 ans, sauf à avoir des bassins tampon. Dans les zones rurales et pour l'essentiel en culture, il se trouve que les MHP et ZHP sont favorablement disposées avant l'arrivée au cours d'eau et sur des branches hydrographiques avant les deux confluences du bassin du Champalaune, ici marquées par des triangles bleus. Les zones d'action sont encadrées par des rectangles bleus. Il peut être judicieux de préserver, voire de favoriser par des bourrelets en terre la rétention des eaux et boues dans ces secteurs de manière à en ralentir les écoulements et favoriser l'infiltration si cela est possible. Une étude topographique plus fine (lidar) permettrait de calculer les localisations et volumes possibles de rétention transitoire, cela en accord avec les pratiques agricoles. Les travaux de limitation des à coups d'eau en zone urbaine font aussi partie de la stratégie globale mais ne suffiront pas en cas de fortes pluies. La figure 12 identifie les zones d'érosion les plus probables (rectangles bleus). Certaines seront maîtrisées par les ZH réhabilitées mais d'autres nécessiteront des aménagements en versants. On se reportera utilement aux travaux de l'Areas<sup>18</sup> et de l'AFB<sup>19</sup> pour avoir une idée des possibilités.

---

<sup>18</sup> <http://www.areas-asso.fr/expertise/techniques-agricoles/>

<sup>19</sup> <https://www.afbiodiversite.fr/fr/actualites/un-nouveau-guide-pour-aider-implanter-des-zones-tampons-en-contexte-agricole>

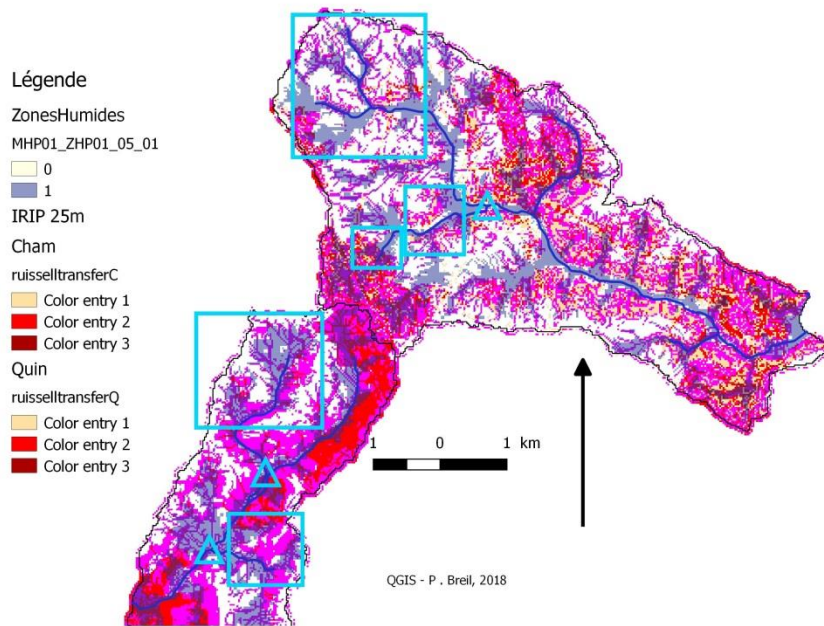


Fig.11: Positions des zones à fort potentiel de production du ruissellement intense par rapport aux ZHP et MHP

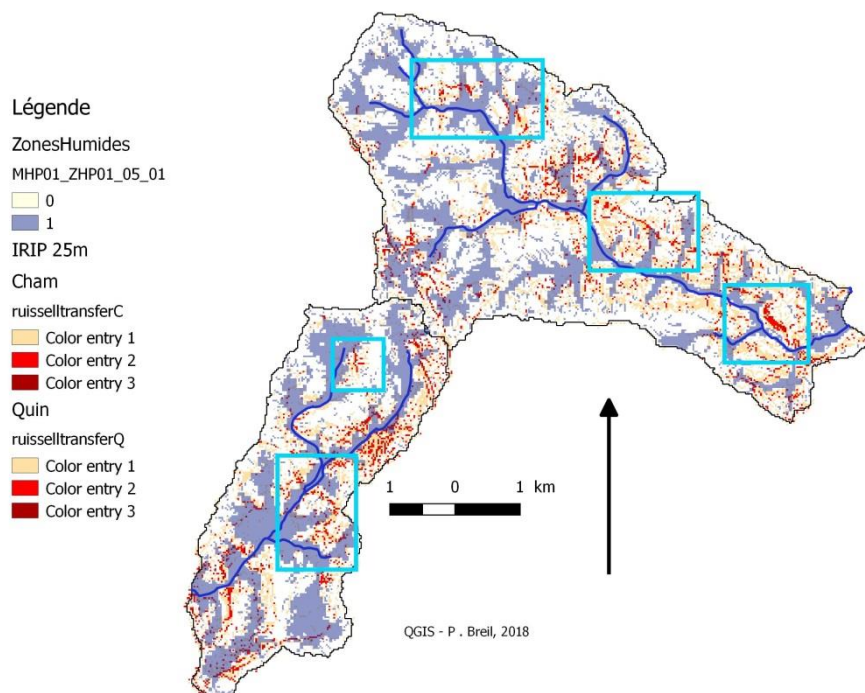


Fig.12: Positions des zones à fort potentiel de transfert - érosion liés au ruissellement intense par rapport aux ZHP et MHP

## Sur le bassin du Quincampoix

On retrouve une situation favorable à la stratégie du ralentissement dynamique sur ce bassin, mais avec un facteur d'aggravation supplémentaire qui est le développement de l'imperméabilisation sur la zone frontière aux deux bassins versants. L'effet de cette imperméabilisation en tête de bassin devra être compensé par une gestion des ZHP et MHP situées juste en aval.

### 3. Etude du risque de coulées boueuses sur route et dans cours d'eau

Cette analyse peut être développée en croisant les informations suivantes : il est considéré la carte de transfert du ruissellement intense, les zones en culture, les pentes supérieures à 3% les réseaux routiers et hydrographiques. La carte résultante révèle les portions de routes et de cours qui sont potentiellement exposées aux coulées de boue. Dans la pratique il convient de lever les incertitudes en allant sur le terrain vérifier la présence ou l'absence de protection ou de mesure de prévention. Cela car les portions les plus exposées ont souvent fait l'objet d'aménagements hydrauliques. Il faut savoir cependant qu'en cas de coulée boueuse les dispositifs hydrauliques sont souvent comblés ou bouchés et deviennent alors inefficaces.

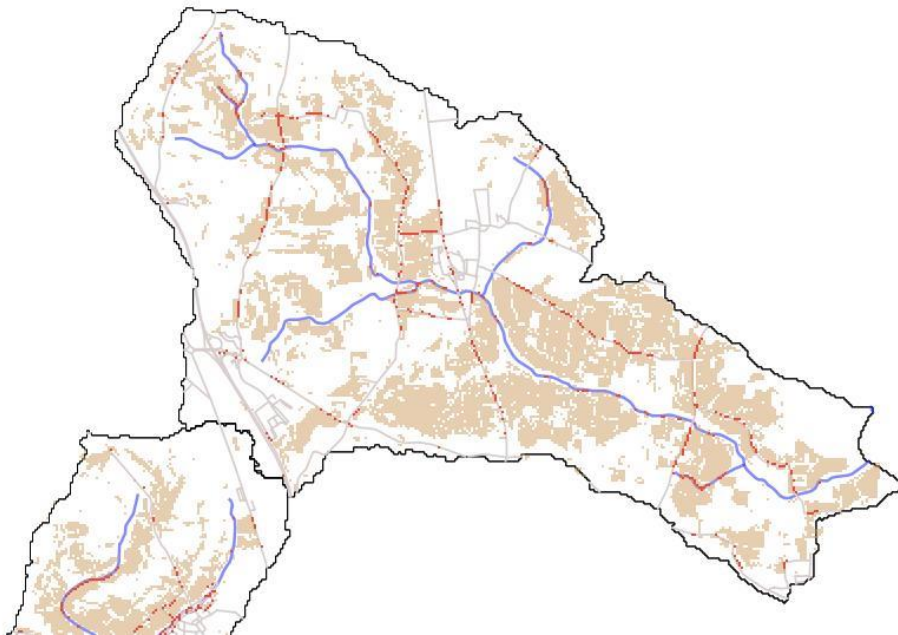
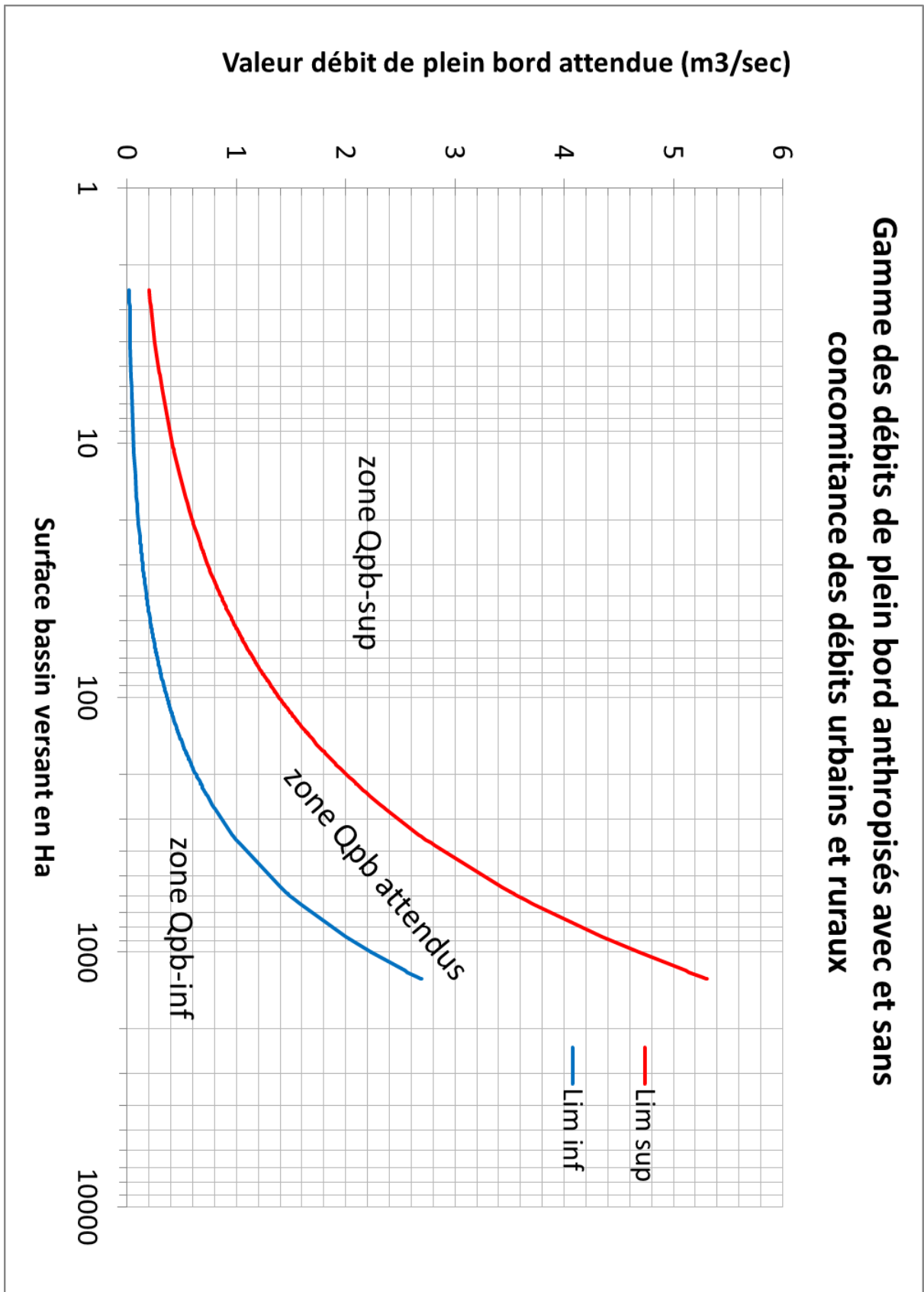


Fig.13: Un exemple d'analyse du risque lié au transfert érosif avec coupure de routes et apports de pollution au cours d'eaux

## **Partie III**

### **ANNEXES**

## Débits de plein bord des cours d'eau de tête de bassins versants dans la région de Rennes



## Couche vecteur des débits de référence calculés par le modèle régional au centre des segments de cours d'eau

Q(T) Modele regional - Attributs d'entités

Surf_ha	18.44
QpbEstim	1.37
RU1	0.08366732916779622
RU2	0.1063451914784756
RU3	0.1196108905267407
RU10	0.1590015571096293
RU30	0.
UR1	0.
UR2	0.
UR3	0.
UR10	0.
UR30	0.
TO1	0.
TO2	0.
TO3	0.
TO10	0.
TO30	0.
URU1	0.
URU2	0.
URU3	0.
URU10	0.
URU30	0.
XRU_UR1	0.08366732916779622
XRU_UR2	0.1063451914784756
XRU_UR3	0.1196108905267407
XRU_UR10	0.1590015571096293
XRU_UR30	0.2169607130561877

Le fichier « Qdf obs mod.7z » contient sous la forme d'un fichier .shp les débits calculés pour les périodes de retour : 1, 2, 3, 10, et 30 ans, avec calcul du débit de plein bord lié :

- à la partie rurale (RU),
- à la partie urbaine (UR),
- avec hypothèse de bassin totalement rural pour avoir une référence naturelle (TO),
- à la somme des deux composantes UR et RU (URU) pour le cas de la concomitance des débits rural et urbain,
- à la valeur maximale des deux composantes UR et RU pour le cas de la non concomitance des débits (XRU\_UR).

Les périodes de retour 10 et 30 ans pourront être utiles en cas d'étude d'inondation car les réseaux urbains seront alors saturés.

OK Annuler

1:20 226 Loupe 100%

## Modélisation du ruissellement intense pluvial : La méthode IRIP

### Principes de la méthode IRIP

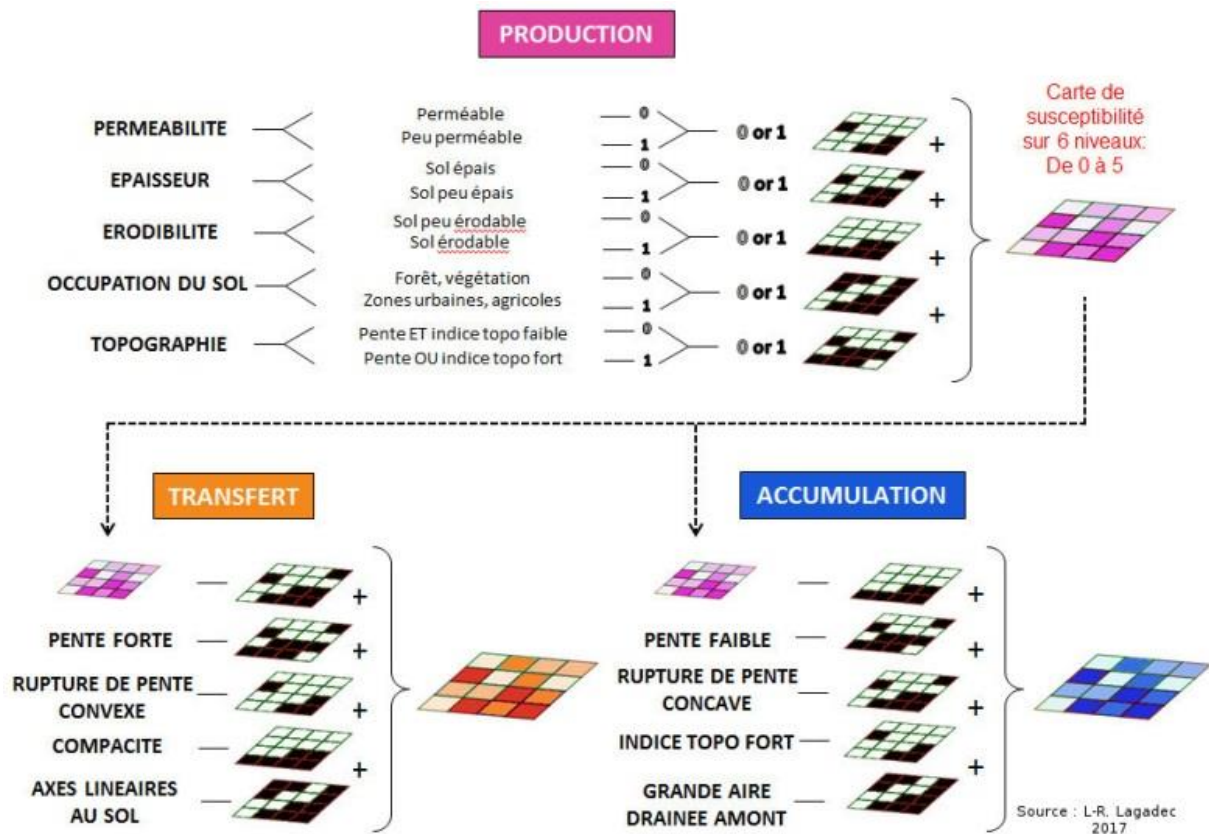
Le ruissellement est un phénomène difficile à observer en temps réel, à étudier et à mesurer de par son caractère localisé, soudain et de courte durée. Il y a donc un manque de données qui limite la compréhension du phénomène et l'évaluation des modèles de prévision. Car, malgré le besoin d'une représentation spatialisée du phénomène pour éclairer les démarches opérationnelles de gestion du territoire, il n'existe à ce jour, pas de méthode qui fasse référence pour le modéliser. C'est pourquoi la méthode IRIP se veut simple à mettre en œuvre : avec peu de données d'entrée facilement accessibles (données topographiques, pédologiques et d'occupation du sol), qui sont adaptables selon l'information disponible et robuste car elle ne nécessite pas de calage. Cette méthode est dite «sèche» car elle ne prend pas en compte la pluie. La méthode Irip permet à ce stade de cartographier la sensibilité ou le potentiel des surfaces au ruissellement pluvial. Elle fournit une cartographie de l'aléa spatial du potentiel de ruissellement avec l'hypothèse que des pluies fortes peuvent se produire en tous les points du territoire en France métropolitaine. L'apport des données pluviométriques externes au modèle IRIP permet de caractériser l'aléa temporel de cet aléa spatial.

La méthode IRIP (Indicateur de Ruissellement Intense Pluvial), développée à Irstea en 2010, est basée sur le croisement d'indicateurs qui sont calculés à partir de couches d'informations qui décrivent des facteurs d'environnement au sol. La méthode génère 3 cartes qui représentent trois étapes du ruissellement graduées en 6 niveaux (0 à 5) de susceptibilité (ou potentiel) chacune. On distingue ainsi :

- les zones de production : zones dont les caractéristiques favorisent l'apparition et la mise en mouvement d'une lame d'eau en surface par une faible capacité d'infiltration. Elles participent aux calculs des cartes suivantes;
- les axes de transfert : connexions entre les zones de production et d'accumulation vers l'aval, ce sont les chemins préférentiels empruntés par l'eau. On y observe les phénomènes d'érosion du fait de l'énergie acquise par la prise de vitesse dans les pentes fortes ou dans les ruptures convexe du relief;
- les zones d'accumulation : elles correspondent aux zones inondables et de dépôts. Elles collectent le ruissellement dans des zones de ralentissement et de concentration selon la topographie. On les retrouve donc essentiellement dans des dépressions naturelles ou artificielles, dans les ruptures de pente concaves ou derrière tout obstacle à l'écoulement en versant. Ce sont des zones de pertes d'énergie en versant ou encore dans le réseau de drainage qui correspond aussi à des zones d'accumulation.

Les cartes sont de type raster avec la taille de maille imposée par celle du modèle numérique de terrain (MNT). Pour chaque plage d'indicateur il est calculé automatiquement le mode de la distribution ou un autre seuil imposé par l'utilisateur sur la base de la connaissance terrain. Ce seuil permet de réaliser des cartes binaires pour chacun des indicateurs selon la méthode suivante : si la valeur supérieure (ou inférieure selon l'indicateur calculé) au seuil est favorable à l'étape concernée du ruissellement, on met 1 pour le pixel (sinon 0). Comme chaque étape du ruissellement

(Production, Transfert, Accumulation) est composée de 5 indicateurs, la somme des cartes binaires pour chaque étape exprime un potentiel de ruissellement qui varie de 0 à 5, comme l'illustre la figure ci-dessus. On note par ailleurs que la carte de Production conditionne la carte de Transfert et la carte d'accumulation.



Données d'entrée et indices associés pour calculer chaque carte, L-R Lagadec (2017)





## Résumé

La grande sensibilité du réseau de tête des cours d'eau aux pratiques anthropiques sur les versants connectés, les bandes riveraines et le lit explique des effets en aval qui peuvent contrecarrer les efforts développés pour améliorer la qualité écologique des cours d'eau soumis aux objectifs fixés par le DCEE.

L'étude hydrologique des débits de plein bord des cours d'eau de tête constitue donc une demande émergente de la part des gestionnaires de bassins versants, cela compte tenu de l'importance du linéaire de réseau hydrographique qu'ils représentent.

L'étude hydromorphologique détaillée menée en amont de l'étude hydrologique a fourni un échantillon conséquent de données sur deux petits bassins versants de la périphérie de Rennes métropole. Ces données ont été établies selon un protocole détaillé dans une note technique de l'AFB.

L'étude hydrologique et l'étude multi-facteurs qui ont été menées en parallèle montre une incohérence des débits plein bord et des sections plein bord avec la surface des bassins versants connectés. L'action humaine à vocation agricole sur le gabarit des cours d'eau de tête semble expliquer les sur-gabarits observés qui conduisent à des surfaces et des débits plein bord bien supérieurs à ceux prédits par la modélisation hydrologique basée sur une approche régionale.

Plus complexe à démontrer est la cause des sous-gabarits de plein bord, cela malgré des surfaces de bassins versants en moyenne supérieures à celles des bassins connectés aux sections qui présentent des sur-gabarits. Une explication plausible est le comblement des sections aval à moindre pente par les sédiments évacués des sections amont plus efficaces sur le plan hydraulique pour drainer les terrains agricoles.

La modélisation hydrologique régionale permet ici d'établir un domaine de référence des débits plein bord des cours d'eau de tête qui semble par ailleurs délicate à estimer sur le terrain.