



# Évaluation de la méthode IRIP : application de la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde (TRI du Havre)

Pierre Patrice, Pascal Breil, Christine Poulard

## ► To cite this version:

Pierre Patrice, Pascal Breil, Christine Poulard. Évaluation de la méthode IRIP : application de la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde (TRI du Havre). [Rapport de recherche] irstea. 2015, pp.41. hal-02601197

**HAL Id: hal-02601197**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02601197>**

Submitted on 16 May 2020

**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.

**CONVENTION MEDDE – DGPR / SRNH 2014**

**Prévention des inondations**

*Ces travaux bénéficient du soutien du Ministère chargé de l'Ecologie  
dans le cadre de la convention n°2200871535*



# Évaluation de la méthode IRIP

Application de la méthode IRIP sur le  
Bassin Versant de la Lézarde  
(TRI du Havre)

FÉVRIER 2015

**Pierre PATRICE**

**Pascal BREIL**

**Christine POULARD**

IRSTEA – Centre de Lyon-Villeurbanne

5 rue de la Doua - CS 70077

69626 Villeurbanne Cedex, FRANCE



## *Table des matières*

|                                                                                                                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Table des matières.....</b>                                                                                                                                                                      | <b>2</b>  |
| <b>Introduction.....</b>                                                                                                                                                                            | <b>3</b>  |
| <b>Présentation des résultats obtenus par l'application de la méthode IRIP sur le Bassin Versant de la Lézarde.....</b>                                                                             | <b>6</b>  |
| A. Carte d'aptitude à la production du ruissellement.....                                                                                                                                           | 7         |
| B. Carte d'aptitude au transfert du ruissellement .....                                                                                                                                             | 9         |
| C. Carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement.....                                                                                                                                          | 11        |
| <b>Comparaison des résultats d'IRIP aux données disponibles sur le Bassin Versant de la Lézarde.....</b>                                                                                            | <b>14</b> |
| A. Comparaison entre le réseau de thalwegs secs issu de relevés terrain et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement .....                                                              | 15        |
| B. Comparaison entre les points d'implantations des ouvrages de régulation des eaux pluviales et la carte d'aptitude au transfert du ruissellement .....                                            | 16        |
| C. Comparaison entre le zonage du PPRI ruissellement et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement .....                                                                                 | 18        |
| D. Comparaison entre des données de coupures de routes post-événement et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement.....                                                                 | 20        |
| 1. Présentation de l'épisode météorologique du 13 octobre 2013.....                                                                                                                                 | 20        |
| 2. Confrontation entre les coupures de routes observées et la carte d'aptitude à l'accumulation.....                                                                                                | 21        |
| 3. Facteurs explicatifs de l'absence de coupure de certaines routes, pourtant sensibles à l'accumulation du ruissellement. ....                                                                     | 23        |
| 4. Bilan sur l'utilisation de la méthode IRIP afin de détecter les coupures de routes sur un bassin versant .....                                                                                   | 27        |
| E. Comparaison entre les zones sensibles à l'aléa érosion des sols agricoles ( <i>source : PPRI de la Lézarde &amp; Décret érosion</i> ) et la carte d'aptitude au transfert du ruissellement ..... | 27        |
| <b>Suites envisageables pour la méthode IRIP, au vu des résultats obtenus sur le Bassin Versant de la Lézarde.....</b>                                                                              | <b>32</b> |
| A. A propos de l'utilisation de la carte d'aptitude à la production du ruissellement.....                                                                                                           | 33        |
| B. A propos de la représentation cartographique des résultats de la méthode IRIP .....                                                                                                              | 34        |
| <b>Conclusion .....</b>                                                                                                                                                                             | <b>35</b> |
| <b>Annexes au rapport.....</b>                                                                                                                                                                      | <b>36</b> |
| Annexe 1 :Rappel des indicateurs utilisés par la méthode IRIP pour obtenir les cartes d'aptitude au ruissellement.....                                                                              | 37        |
| Annexe 2 :Script Python permettant d'obtenir les surfaces de production amont à chaque ouvrage sur le Bassin Versant de la Lézarde .....                                                            | 38        |
| Annexe 3 :Script Python permettant d'obtenir les surfaces spécifiques amont à chaque ouvrage (prise en compte des ouvrages en série).....                                                           | 41        |

## Introduction

La méthode IRIP (Indicateurs du Ruissellement Intense des Pluies), a pu être appliquée sur le bassin versant de la Lézarde (209,7 km<sup>2</sup>), connu pour l'importance de ses inondations par ruissellement. Les résultats présentés ici sont ceux obtenus à l'aide du logiciel iRIP développé par la SNCF. Les indicateurs utilisés pour produire les cartes d'aptitude à la **Production**, au **Transfert**, et à l'**Accumulation** du ruissellement sont ceux directement calculés par le logiciel (la liste des indicateurs utilisés est rappelée en *annexe 1* à ce rapport). Deux indicateurs ont toutefois été obtenus sous GrassGIS, et **leur utilisation a été préférée à ceux obtenus sous iRIP** :

- L'indicateur de pente (*rslope.map* et *rlwslope.map*) :

L'indicateur utilisé est issu d'une reclassification réalisée sous GrassGIS de la carte des pentes du bassin versant. Le seuil de pente utilisé afin de distinguer les pentes fortes/pentes faibles est égal à 5,0 %<sup>1</sup>, en lien avec la connaissance du territoire apportée par les acteurs du bassin versant (CODAH et SMBV Pointe de Caux). Ces derniers jugent en effet que, sur le bassin versant de la Lézarde, les phénomènes d'écoulement intense des eaux de ruissellement apparaissent pour des valeurs de pentes comprises entre 3% et 5%. La borne haute (5%) de cet intervalle a été choisie comme seuil de pentes pour la présente étude car elle est la moins éloignée de la valeur calculée par le logiciel iRIP, tout en respectant l'expertise des acteurs locaux<sup>2</sup>.

- Les indicateurs de ruptures de pentes (*transferbreakslope.map* et *accumulbreakslope.map*) :

Les deux indicateurs utilisés (*l'un intervenant dans le transfert du ruissellement [ruptures de pentes convexes] et l'autre dans l'accumulation [ruptures de pentes concaves]*) sont obtenus sous GrassGIS. Ce logiciel permet en effet de déterminer les ruptures de pentes à travers un calcul du rayon de courbure<sup>3</sup> en toute maille du MNT (fonction *r.param.scale*). La rupture de pente est définie dans l'axe de plus grande pente, et le nombre de pixels utilisés pour le calcul peut être paramétré<sup>4</sup>. Il est ainsi possible de choisir un seuil de courbure afin d'obtenir une carte pour chaque indicateur. Le but est ici d'éviter de travailler avec un indicateur trop « bruité » contenant un nombre important de pixels qui ne correspondent pas à une réalité physique (ce « bruit » est en lien important avec la précision du MNT utilisé).

Ainsi, sur le bassin versant de la Lézarde, le seuil choisi est de 4000m associé à une fenêtre de traitements de 5 pixels : toutes les ruptures de pentes (convexes pour *transferbreakslope.map* et concaves pour *accumulbreakslope.map*) présentant un rayon de courbure inférieur ou égal à ce seuil sont prises en compte. On obtient alors la carte synthétique d'indicateurs de ruptures des pentes suivante, utilisée pour l'application d'iRIP sur le bassin versant de la Lézarde :

<sup>1</sup> Ce seuil est plus faible que celui calculé par iRIP sur le bassin versant de la Lézarde (seuil proposé par défaut par iRIP : 9,2 %, correspondant à la valeur modale de la distribution des pentes sur le bassin versant).

<sup>2</sup> Un test a été effectué en prenant comme seuil de pente la valeur basse de l'intervalle (3%) : les résultats sont très similaires à l'échelle du bassin versant.

<sup>3</sup> Le rayon de courbure correspond au rayon d'un cercle ayant la même courbure que la rupture de pente calculée en chaque point du MNT. Plus la rupture de pente est importante, plus le rayon de courbure est petit (et inversement).

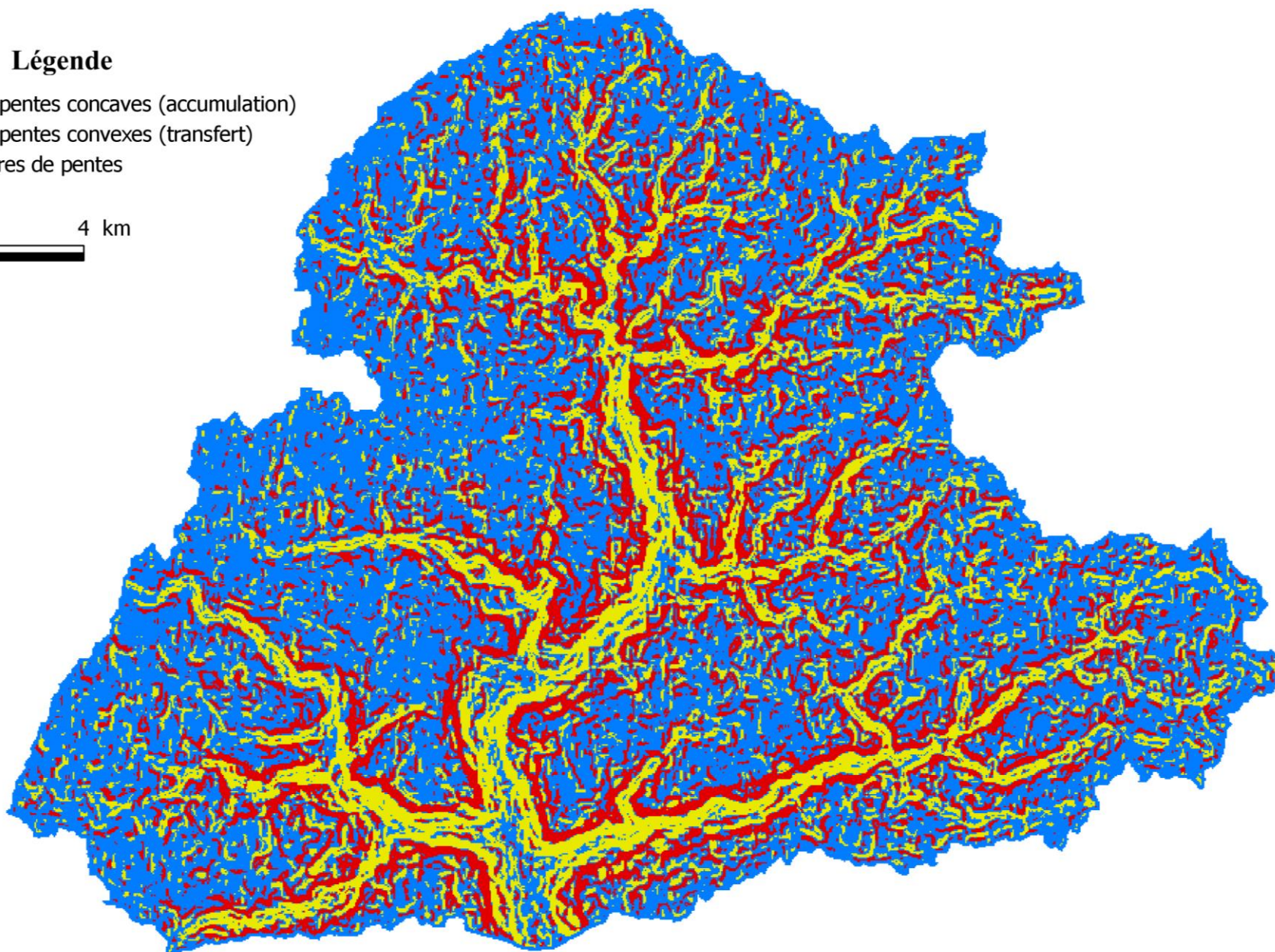
<sup>4</sup> Ce nombre de pixels est nécessairement impair : par exemple le nombre « 3 » signifie que la rupture de pente va être calculée sur une ligne de 3 pixels (1 central et 2 voisins, pris dans l'axe de la plus grande pente) et attribuée au pixel central.

**Carte synthétique des indicateurs de ruptures de pentes sur le bassin versant de la Lézarde**  
**Obtention sous GrassGIS - Rayon de courbure de 4000 m**

**Légende**

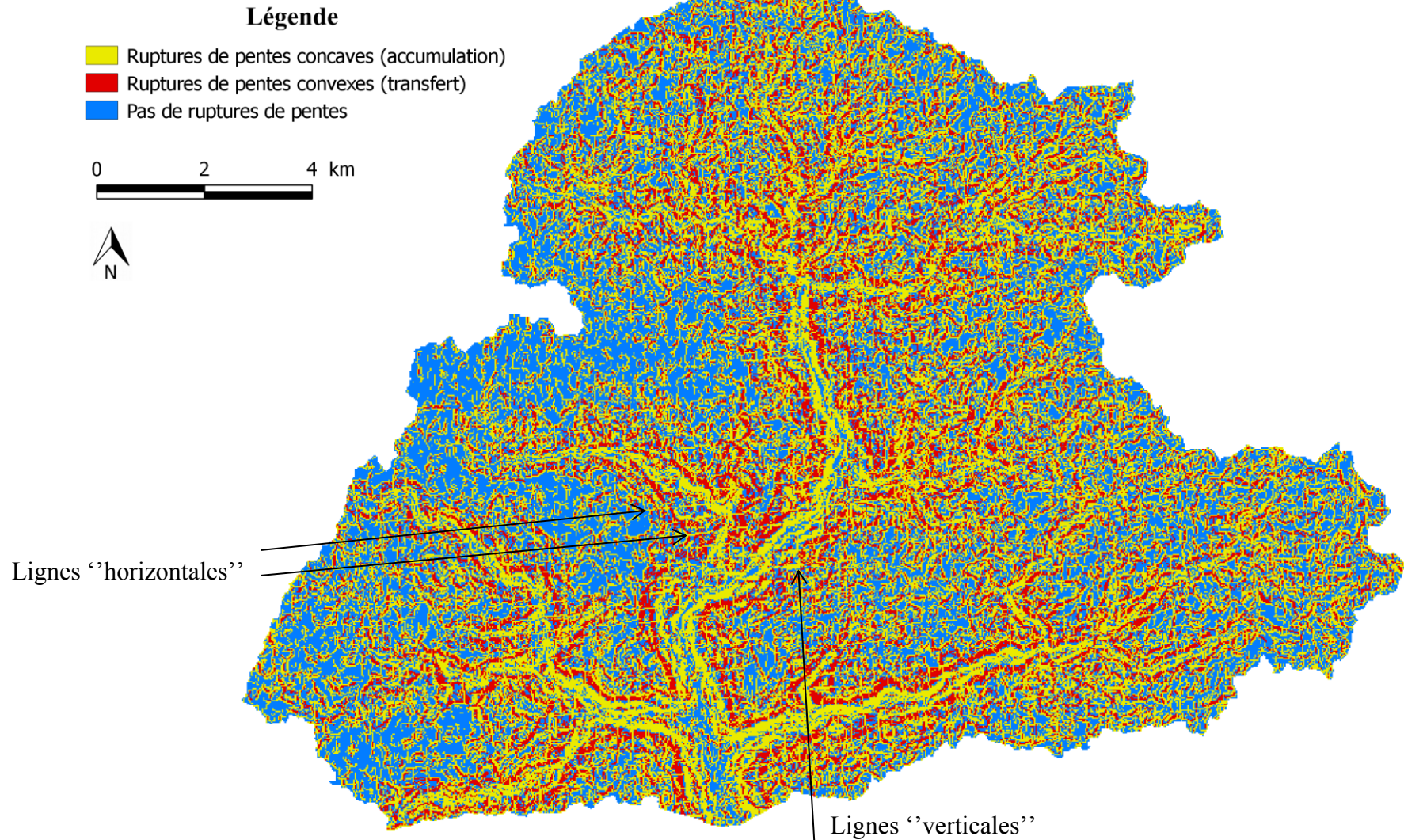
- Ruptures de pentes concaves (accumulation)
- Ruptures de pentes convexes (transfert)
- Pas de ruptures de pentes

0 2 4 km



A titre de comparaison, la carte synthétique des indicateurs de ruptures de pentes obtenue sous iRIP est présentée dans l'illustration ci-dessous : cette seconde carte **n'est pas utilisée dans les résultats d'iRIP qui seront présentés par la suite**. Cette carte semble en effet moins adaptée à une utilisation sur le bassin versant de la Lézarde, en raison de son aspect fortement « bruité » : de nombreux pixels sans réalité physique apparaissent, comme en témoignent les lignes verticales et horizontales qui se dégagent notamment au centre de la carte et qui correspondent en fait à des artéfacts liés au MNT.

Carte synthétique des indicateurs de ruptures de pentes sur le bassin versant de la Lézarde  
Obtention sous iRIP

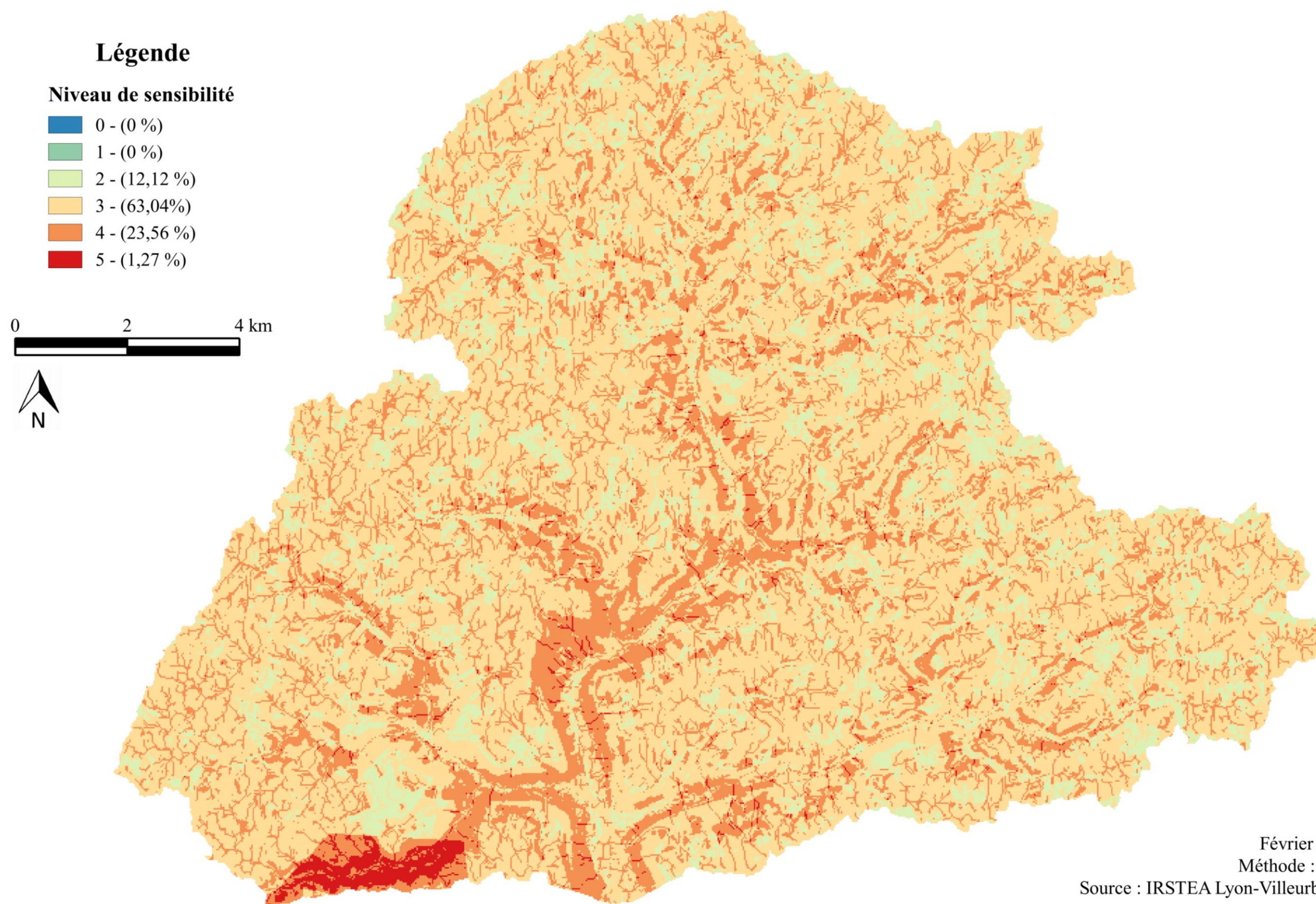


---

*Présentation des résultats obtenus par l'application de la  
méthode IRIP sur le Bassin Versant de la Lézarde*

---

## A. Carte d'aptitude à la production du ruissellement

**Cartographie du niveau de sensibilité à la production du ruissellement sur le bassin versant de la Lézarde**

Cette première carte permet de localiser, sur le bassin versant de la Lézarde, les secteurs les plus à mêmes à **produire** du ruissellement en cas de fortes pluies.

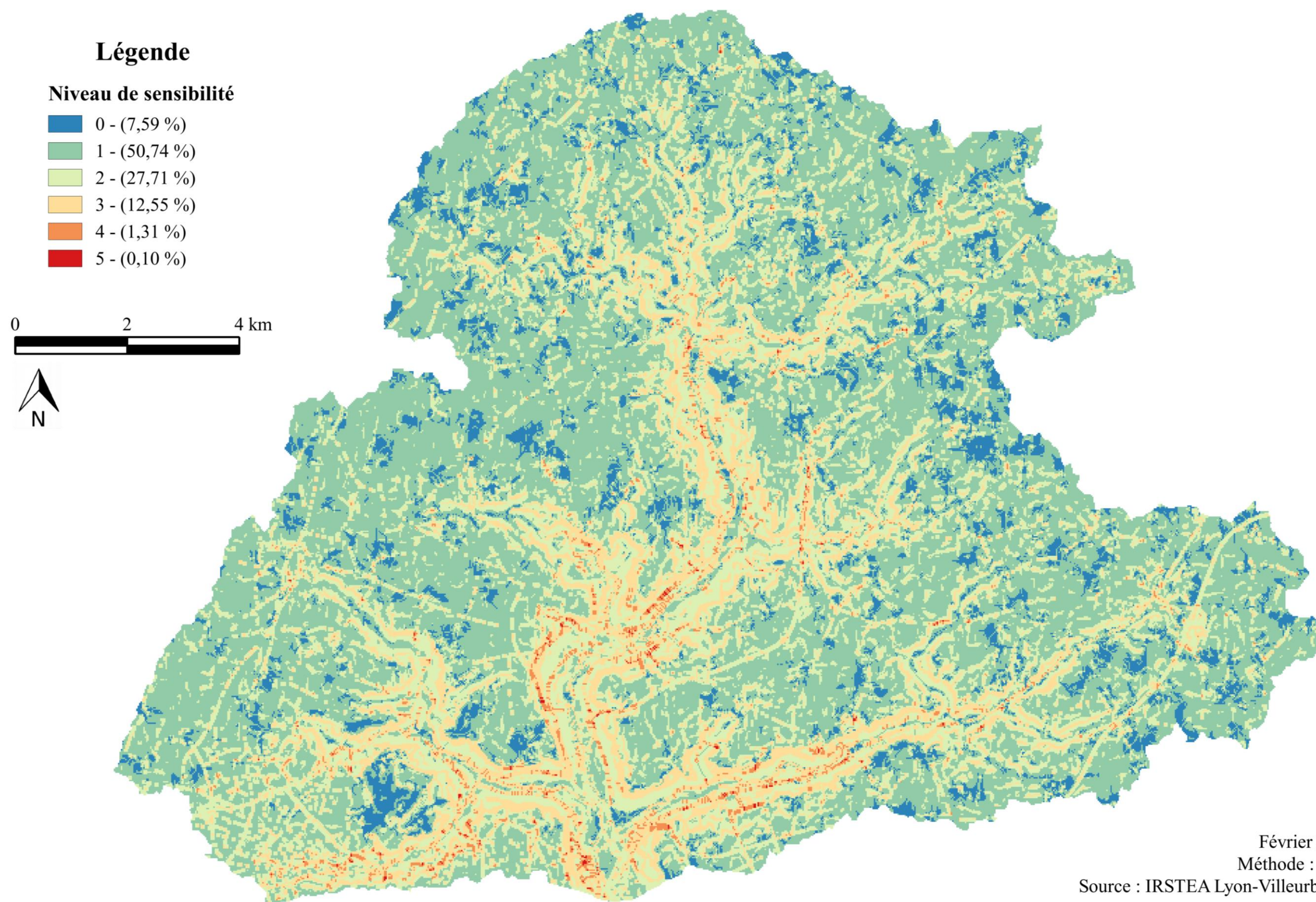
On note dans un premier temps que les niveaux d'aptitudes à la production sont globalement élevés, puisque 87,9 % (*soit 184,3 km<sup>2</sup>*) du bassin versant possède un score supérieur ou égal à 3 (sur une échelle allant de 0 à 5). Les seules surfaces présentant un niveau d'aptitude à la production relativement faible correspondent à des zones où **l'occupation du sol** est moins favorable à la formation du ruissellement (forêts, prairies, friches agricoles, espaces verts, ...) : c'est notamment le cas de la forêt de Montgeon, située au Nord de la ville du Havre. Toutefois, ces quelques zones restent très dispersées sur le bassin versant, et constituent une part limitée de la surface totale : seulement 12,1 % (*soit 25,4 km<sup>2</sup>*).

En plus de cette aptitude globale à la production du ruissellement, le bassin versant de la Lézarde est caractérisé par la coexistence de zones très plates (les plateaux, avec une altitude globalement comprise entre 80 et 100m), et de zones de vallées fortement encaissées aux flancs pentus, et dont les fonds présentent des altitudes beaucoup plus faibles (de l'ordre de 50m en tête de bassin jusqu'à 5m tout à l'aval). L'existence de ces flancs de vallées aux **pent**es importantes favorise encore la production du ruissellement (niveau de sensibilité égal à 4 voire 5 localement), puisque l'eau de pluie n'a pas le temps de s'infiltrer dans les sols et se met alors rapidement en mouvement. Toutefois, ces secteurs de flancs de vallées pentus représentent environ 23,5 % du bassin versant (*soit 49,4 km<sup>2</sup>*), et bien que leur niveau de sensibilité soit supérieur à celui des plateaux, ce sont ces derniers qui semblent les plus problématiques en termes de **production** du ruissellement.

Il est en effet indispensable de noter que ces plateaux possèdent à la fois une aptitude relativement forte à la production du ruissellement (niveau 3 et localement 4), mais qu'ils se caractérisent aussi par des **surfaces beaucoup plus importantes** : 63,1 % (*132,2 km<sup>2</sup>*) du bassin versant, soit près de trois fois plus de surface que pour les flancs de vallées. En cas d'épisode pluvieux intense, ces grands plateaux entrecoupés de vallées auront donc une forte capacité à produire rapidement des volumes importants d'eaux de surface, qui viendront nourrir le ruissellement. De plus, il est important de rappeler que le bassin versant de la Lézarde est principalement soumis à deux régimes de pluies distincts à même d'engendrer des inondations par ruissellement : les pluies d'été (de type orageuses, très intenses mais souvent localisées et peu étendues dans le temps), et les pluies d'hiver ou d'automne (souvent moins intenses, mais en lien avec des phénomènes dépressionnaires océaniques importants et étendus dans le temps et l'espace). Ces pluies hivernales étant fortement susceptibles de survenir sur des sols déjà gorgés d'eau, le rôle tampon de ces derniers disparaît et les pluies ne s'infiltreront plus (ou presque). Ainsi, au niveau des plateaux, les pentes faibles pourtant a priori défavorables à la production du ruissellement n'ont plus réellement d'influence sur l'infiltration des eaux pluviales dans le sol. Les plateaux, de par leurs surfaces, se retrouvent donc particulièrement disposés à produire de grands volumes d'eau ruisselante, qui sont ensuite susceptibles de se déplacer vers les secteurs plus pentus : les vallées et les thalwegs secs.

Enfin, il est important de rappeler l'existence sur le bassin versant de la Lézarde (et plus généralement sur le Pays de Caux) d'une caractéristique susceptible de favoriser fortement la production de ruissellement lors d'un épisode pluvieux intense. En effet, les sols agricoles recouvrant les plateaux du bassin versant correspondent à des **limons battants**. La structure de ces derniers est fortement affectée par l'action mécanique des gouttes de pluie, ce qui est à l'origine d'une diminution de la porosité des sols et de la formation d'une croûte de battance imperméable, limitant l'infiltration et favorisant ainsi la production du ruissellement. Ce phénomène est difficile à prendre en compte (car dépendant de la couverture du sol par les cultures), et n'a pas été abordé dans la réalisation actuelle des cartes IRIP. Toutefois, en vue d'affiner l'étude, il serait envisageable de refaire tourner iRIP sur le bassin versant de la Lézarde afin de réaliser des cartes correspondant à un **scénario battant** en y intégrant une information de localisation des parcelles battantes.

## Cartographie du niveau de sensibilité au transfert du ruissellement sur le bassin versant de la Lézarde



Cette seconde carte produite par la méthode IRIP permet cette fois de déterminer les secteurs les plus propices à **transférer** le ruissellement en cas de fortes pluies. Ces secteurs ont notamment un rôle de connexion entre les zones de production et d'accumulation du ruissellement. Ils permettent ainsi au ruissellement de se déplacer dans l'espace de façon plus ou moins rapide (selon la pente, les obstacles,...).

Sur le bassin versant de la Lézarde, on observe dans un premier temps que les niveaux de sensibilité au transfert du ruissellement sont globalement faibles : 85% de la surface du bassin versant possède un score inférieur ou égal à 2 (sur une échelle allant de 0 à 5). Ces scores faibles sont fortement liés à la structure du bassin versant en plateaux et vallées. En effet, le transfert du ruissellement a pour moteur principal la présence de pentes fortes, or ces dernières ne représentent qu'une faible surface du bassin versant et sont localisées au niveau des vallées plus ou moins encaissées (thalwegs secs ou réseau pérenne). Sur les plateaux, le transfert du ruissellement se fait donc a priori lentement et de façon diffuse, mis à part au niveau des réseaux linéaires (voiries, fossés agricoles<sup>5</sup>, ...). Ces axes sont en effet favorables au transfert du ruissellement et se retrouvent en partie sur la carte, même si les imprécisions liées au MNT empêchent de les faire complètement ressortir.

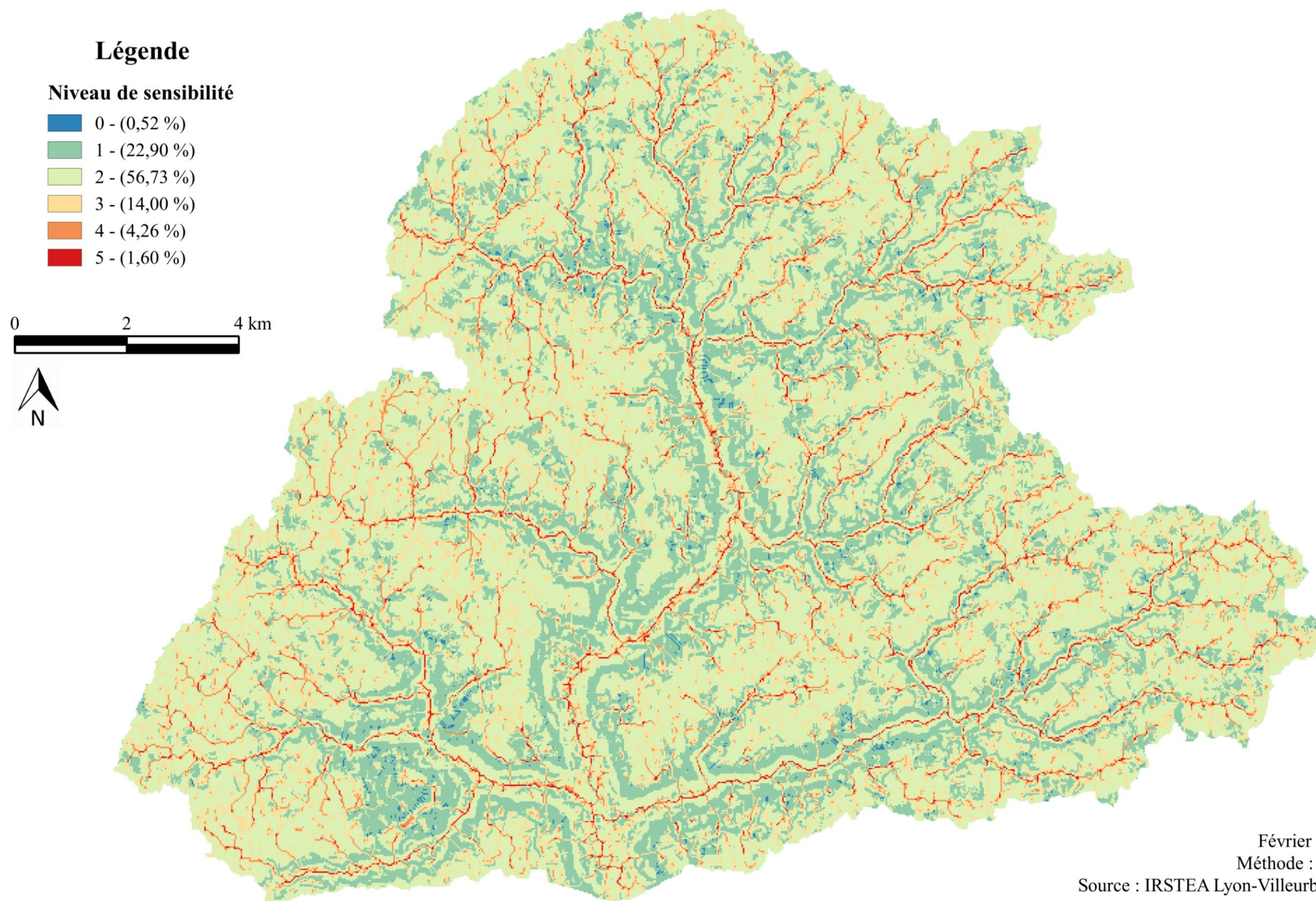
Au niveau des flancs de vallées, les niveaux d'aptitudes au transfert du ruissellement sont naturellement plus élevés en raison de la présence de pentes fortes. Ces pentes fortes fournissent de la vitesse aux écoulements, et ces derniers sont donc susceptibles d'être particulièrement destructeurs. Toutefois, les **ruptures de pentes de type convexes** jouent aussi un rôle important. On retrouve ces dernières dans les parties hautes de chaque flanc de vallée, autant pour les thalwegs secs (plutôt en têtes de bassins) que pour les cours d'eau pérennes. Ces ruptures de pentes ayant notamment un rôle d'accélérateurs du ruissellement, leur présence (presque toujours associée sur la carte précédente à un niveau de sensibilité au transfert supérieur ou égal à 3) peut permettre d'indiquer des secteurs d'incision des sols en lien avec une prise de vitesse et une concentration rapide des écoulements. Ces ruptures de pentes sont ainsi susceptibles de se comporter comme des « déversoirs », évacuant l'ensemble des eaux de ruissellement produites sur les plateaux à l'amont. Les infrastructures linéaires (routes notamment) situées dans l'axe de plus grande pente de ces flancs de vallées sont alors des chemins préférentiels des écoulements rapides. A l'inverse, les structures installées perpendiculairement à la pente constituent des points particulièrement critiques et vulnérables aux écoulements qu'ils recoupent : c'est notamment le cas des routes en fond de thalwegs secs sur les têtes de bassin versant, mais aussi de la ligne SNCF qui longe la rive gauche du Saint-Laurent.

Enfin, il est aussi indispensable de noter la disposition « en éventail » des différentes vallées du bassin versant. Cette disposition particulière joue un rôle important dans la dynamique de transfert des écoulements sur le territoire de la Lézarde. En effet, ces vallées agissent comme de véritables fossés de drainage à l'échelle du bassin versant, en concentrant rapidement et fortement les écoulements issus du ruissellement produit sur les plateaux. Cette carte d'aptitude au transfert du ruissellement laisse ainsi supposer que les zones urbaines de Saint-Martin-du-Bec et de Notre-Dame-du-Bec (situées à la confluence de 4 vallées de thalwegs secs, dans le tiers Nord du bassin versant) sont particulièrement sujettes aux inondations par ruissellement. Cette remarque est aussi valable pour l'aire urbaine de Montivilliers où les niveaux d'aptitudes au transfert du ruissellement vont de 3 à 5, et dont la partie Nord-Est est située à la confluence directe de la vallée de la Lézarde et de celle de la Curande. Toutefois les écoulements sont ici concentrés dans des vallées de cours d'eau pérennes, et les inondations associées sont donc a priori rattachées au **débordement** de ces cours d'eau (en tant que conséquence d'un ruissellement intense en amont).

---

<sup>5</sup> A noter que ces fossés agricoles sont peu présents sur le bassin versant de la Lézarde (limités aux bordures de Routes Départementales). Ils restent toutefois intéressants à évoquer dans un cadre plus général d'application de la méthode IRIP.

## Cartographie du niveau de sensibilité à l'accumulation du ruissellement sur le bassin versant de la Lézarde

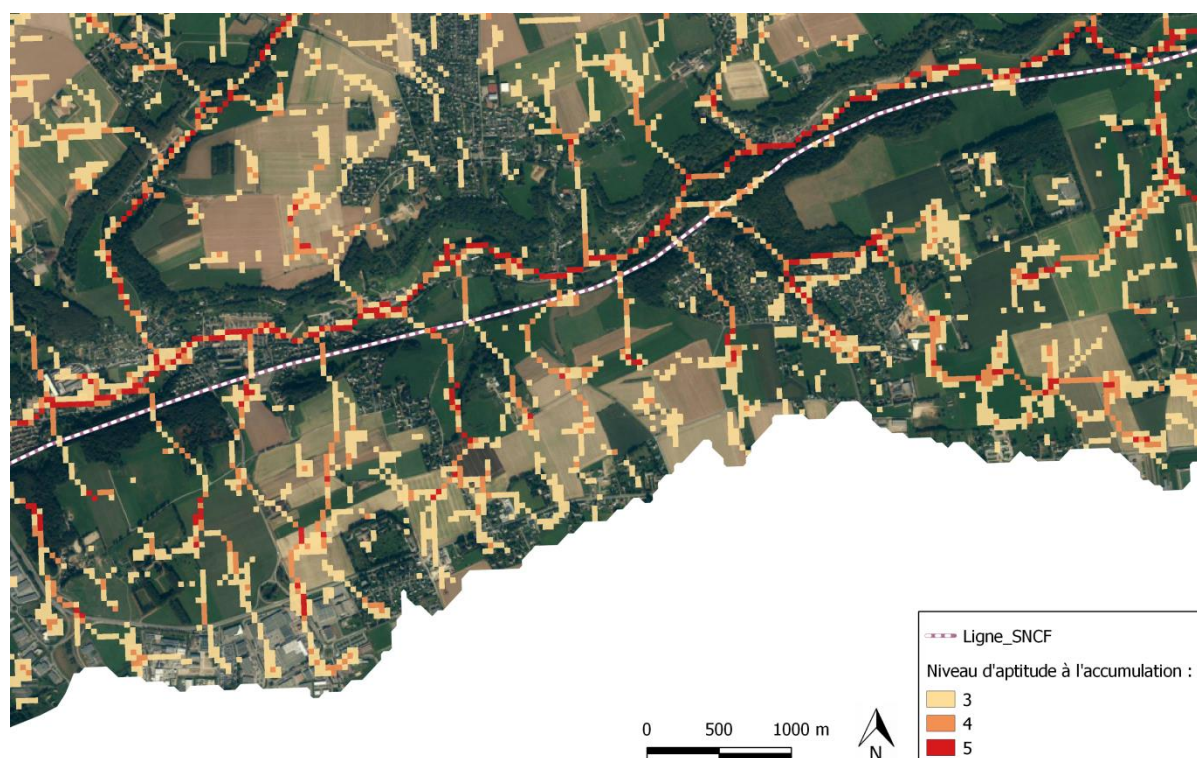


Cette troisième et dernière carte produite par la méthode IRIP permet de localiser les secteurs les plus sensibles à l'**accumulation** du ruissellement en cas de fortes pluies. Ces secteurs correspondent à des zones de concentration des écoulements ayant été préalablement produits (sur des parties amont du territoire d'étude, ici les plateaux) puis transférés (ici notamment sur les flancs de vallées) au cours d'un même épisode pluvieux.

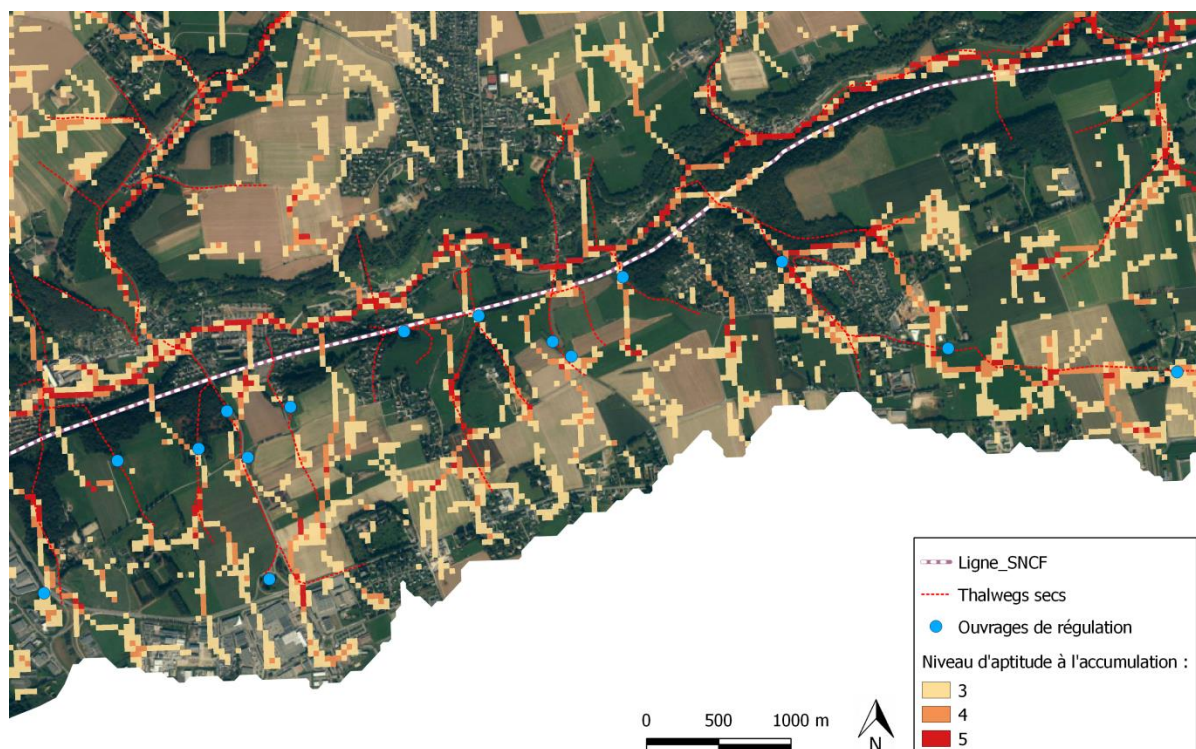
Cette carte permet notamment de localiser de façon efficace l'ensemble du réseau d'écoulements concentrés des eaux de surface. On retrouve ainsi les cours d'eau pérennes principaux (Lézarde, Saint-Laurent, Rouelles, et Curande – niveau 5 d'aptitude à l'accumulation), mais l'intérêt ici réside surtout dans l'obtention du **réseau temporaire**. En effet, on observe qu'il est possible de remonter très loin dans les versants, et ainsi d'extraire la localisation des thalwegs secs (niveaux de sensibilité à l'accumulation compris entre 4 et 5), et même les réseaux de drainages susceptibles de se former préférentiellement encore à l'amont de ces thalwegs (niveau 3, en orange clair). On retrouve ainsi la structure très fortement digitalisée du bassin versant de la Lézarde, particulièrement apte à drainer l'ensemble du bassin versant (niveau d'aptitude à l'accumulation élevé même en tête de bassin versant).

Ce type d'information, notamment couplée à la carte d'aptitude au **transfert** présentée précédemment peut s'avérer particulièrement intéressante pour la priorisation d'actions d'aménagement du territoire à mener contre les inondations par ruissellement. En fonction des enjeux du territoire et de leur localisation, il devient par exemple possible de définir des points d'implantation préférentiels pour des ouvrages de rétention des eaux pluviales (sur les axes de concentration principaux, en amont d'enjeux, et en prenant compte des contraintes locales d'aménagements [terrains disponibles]). Il est aussi envisageable de récupérer la surface totale de production à l'amont de ces points d'implantations, ce qui peut s'avérer intéressant pour le dimensionnement des ouvrages. Cette carte d'accumulation peut aussi potentiellement permettre de déterminer des points d'implantation préférentiels de systèmes d'alerte (à l'amont des enjeux sur les axes de concentration les plus sensibles), ou encore de localiser des points critiques avec des écoulements **concentrés** (aptitude à l'accumulation élevée) et **rapides** (aptitude au transfert élevée).

A titre d'exemple, sur le bassin versant de la Lézarde, il est possible de noter le cas de la ligne SNCF qui longe la rivière Saint-Laurent, en bas de vallée. En effet, la voie ferrée recoupe successivement, et de façon perpendiculaire, 12 thalwegs secs répartis sur les communes de Gonfreville l'Orcher, Gainneville, et Saint-Laurent-de-Brévedent.



L'ensemble de ces thalwegs étant situé dans l'axe de la pente de la rive gauche de la vallée, les écoulements y sont concentrés et rapides. Cela en fait une zone particulièrement critique et sensible à l'aléa inondation par ruissellement. A noter que ce résultat, obtenu par la méthode IRIP, est confirmé par l'existence de mesures ayant déjà été prises par les gestionnaires du bassin versant : pas moins de 15 ouvrages structurants de régulation des écoulements ont déjà été implantés sur ce secteur, ce qui représente un volume de stockage total de  $42797 \text{ m}^3$  :



On remarque de plus à cette échelle de visualisation que tous les ouvrages de régulation mis en place ne sont pas parfaitement positionnés par rapport aux résultats de la méthode IRIP : il existe un certain décalage. En effet, ces ouvrages ont été placés par rapport à la connaissance locale des écoulements concentrés au niveau des thalwegs secs. Cette connaissance, obtenue sur le terrain, est bien entendu plus fine que les résultats qui peuvent être obtenus par la méthode IRIP appliquée à l'ensemble du bassin versant de  $210 \text{ km}^2$ . Ceci ne remet pas forcément en cause le potentiel d'utilisation de la méthode IRIP, mais rappelle que cette méthode constitue un *outil d'aide à la décision*, dont les résultats ne doivent pas pour autant se substituer à une expertise de terrain, mais sont là pour *appuyer* cette dernière.

---

*Comparaison des résultats d'IRIP aux données disponibles  
sur le Bassin Versant de la Lézarde  
(Données : SMBV pointe de Caux / CODAH)*

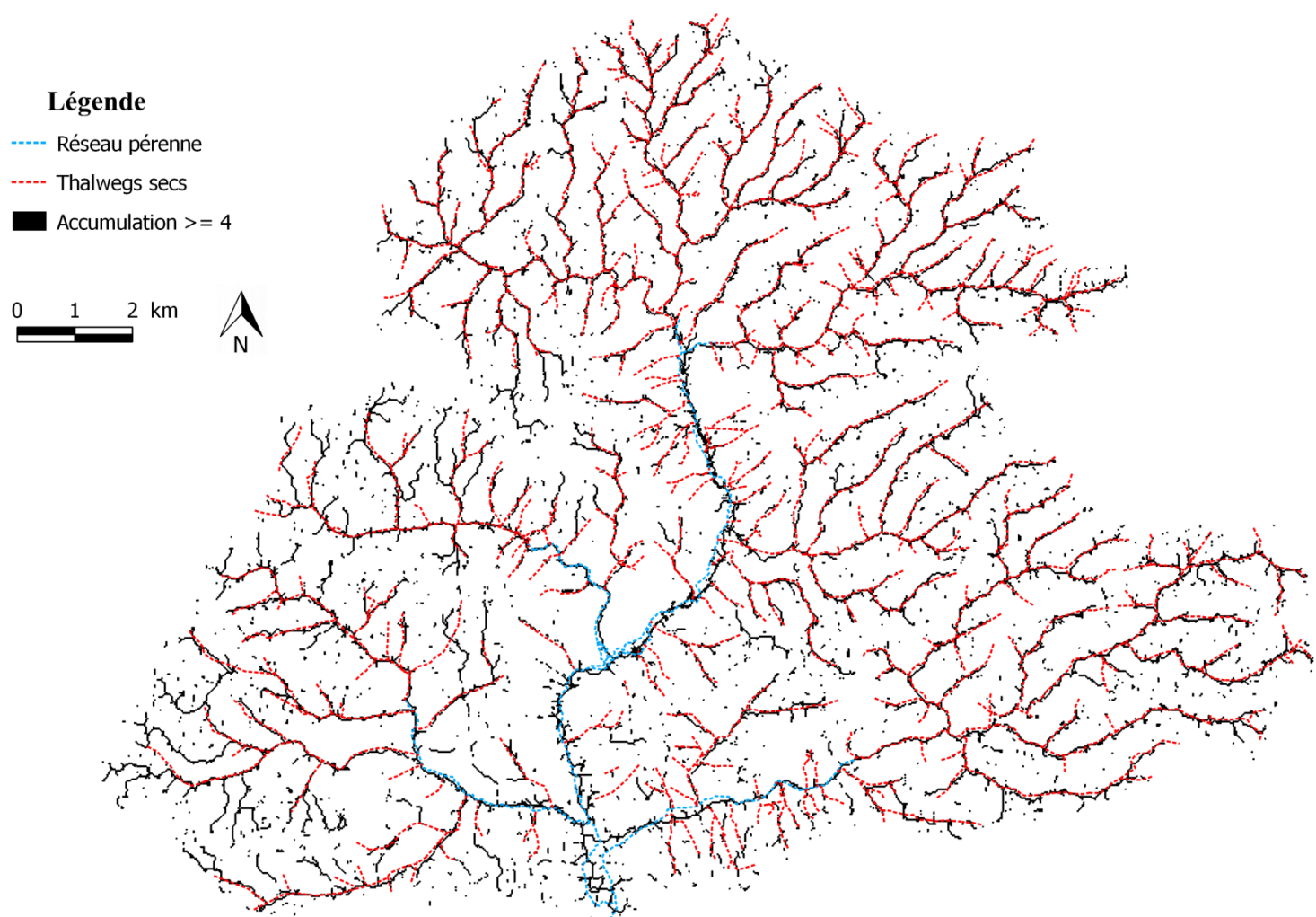
---

## A. Comparaison entre le réseau de thalwegs secs issu de relevés terrain et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement

Le SMBV Pointe de Caux a fourni une couche SIG (polylignes) correspondant au réseau de Thalwegs secs qui ont pu être observés directement sur le terrain (notamment au cours de la réalisation des Plans Communaux d'Aménagements en Hydraulique Douce) et géolocalisés sur le Bassin Versant de la Lézarde.

En première approche, à partir d'une simple comparaison visuelle sous SIG, on observe une correspondance forte entre ce réseau de Thalwegs secs et la carte d'aptitude à l'**accumulation** du ruissellement calculée sous iRIP<sup>6</sup> (seules les mailles ayant un niveau d'aptitude à l'accumulation du ruissellement  $\geq 4$  ont été conservées sur l'illustration suivante) :

Comparaison visuelle entre le réseau de thalwegs secs et la carte d'aptitude à l'accumulation sur le Bassin Versant de la Lézarde



On remarque dans un premier temps que la carte obtenue sous iRIP est relativement « bruitée ». Il existe ainsi de nombreux petits groupes de pixels isolés, n'ayant pas forcément de sens physique, et donnant une information artificielle autour des secteurs sensibles à l'accumulation. Cela est principalement dû à la carte d'indicateurs de ruptures de pentes (*accumulbreakslope.map*) sur les zones de plateaux, qui influence le niveau d'aptitude à

<sup>6</sup> Les données utilisées pour l'application d'iRIP sont les données libres d'accès récupérées sur internet. En particulier, le MNT utilisé possède une résolution de 25m. Les traitements réalisés par le logiciel iRIP n'ont pas été modifiés, mis à part en ce qui concerne la gestion des pentes fortes/pentes faibles (un seuil de 5% a été choisi) et des ruptures de pentes (fenêtre de calcul de 5 pixels de large, et rayon de courbure inférieur à 4000m).

l'accumulation. Ces pixels pourraient être supprimés par sélection selon leur surface, mais ce traitement présente l'inconvénient de supprimer aussi un certain nombre de pixels constitutifs des réseaux linéaires de la carte d'accumulation.

En faisant abstraction de ce « bruit », la comparaison uniquement visuelle permet déjà d'observer que la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement obtenue sous IRIP permet de trouver efficacement les thalwegs secs à partir du MNT, bien que ce MNT soit à la maille de 25m. De façon plus formelle, il est possible de remarquer, en sélectionnant sous SIG le linéaire de thalwegs secs qui recoupe un certain niveau d'aptitude à l'accumulation, que :

- 23,6 % du réseau linéaire de thalwegs secs recoupe une valeur  $\geq 4$  d'aptitude à l'accumulation du ruissellement.
- 68,8 % du réseau linéaire de thalwegs secs recoupe ou est situé à moins de 25m d'une zone ayant une valeur d'aptitude à l'accumulation du ruissellement  $\geq 4$ . Cette information est issue de la réalisation d'un Buffer de 25 m autour de la couche d'aptitude à l'accumulation. L'idée étant de prendre en compte l'erreur liée à l'imprécision du MNT (pixels de 25x25 m) sur le positionnement des thalwegs.

Une part de ce linéaire non recoupé peut s'expliquer par la détection par IRIP de chemins d'écoulements de surface n'étant pas qualifiés de thalwegs secs, ces derniers étant révélés sur le terrain par des ravinements locaux plus ou moins marqués. Ainsi, on observe que sur le bassin versant de la Lézarde, l'utilisation de la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement en s'intéressant uniquement aux valeurs  $\geq 4$  (et a fortiori en s'intéressant à celles  $\geq 3$ ) permet de bien remonter en versant. Il est alors possible de dégager des réseaux d'accumulation et de drainages temporaires situés encore plus à l'amont du BV que les thalwegs secs observés sur le terrain. L'utilisation de cette carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement semble donc permettre un **gain en termes de prévision des réseaux d'écoulements préférentiels** des eaux en cas de ruissellement intense des pluies (et potentiellement de futurs thalwegs, amenés à se creuser).

Une autre part, plus faible, du linéaire non recoupé est liée au fait que la méthode IRIP ne permet pas de détecter certains thalwegs, pourtant répertoriés sur le bassin versant. En effet, la méthode IRIP étant basée notamment sur la topographie, une modification localisée (et invisible sur le MNT) de cette dernière peut engendrer une redirection des écoulements non prise en compte par IRIP. A l'inverse, la carte d'accumulation d'IRIP fournie aux gestionnaires du bassin a d'ores et déjà permis de révéler certaines lacunes<sup>7</sup> dans la géolocalisation qui a été faite des thalwegs secs sur le bassin versant de la Lézarde. L'explication fine des différences observées (erreur liée à l'application d'IRIP ou liée à une erreur de relevé terrain) serait donc à faire au cas par cas. Dans tous les cas, la méthode IRIP semble apporter une réelle information.

Il est enfin à noter que ces résultats sont obtenus avec un MNT ayant une résolution planimétrique de 25 m, ce qui laisse supposer une marge d'amélioration importante dans le cas de l'utilisation d'un MNT plus fin (par exemple avec une résolution planimétrique de l'ordre du mètre).

## **B. Comparaison entre les points d'implantations des ouvrages de régulation des eaux pluviales et la carte d'aptitude au transfert du ruissellement**

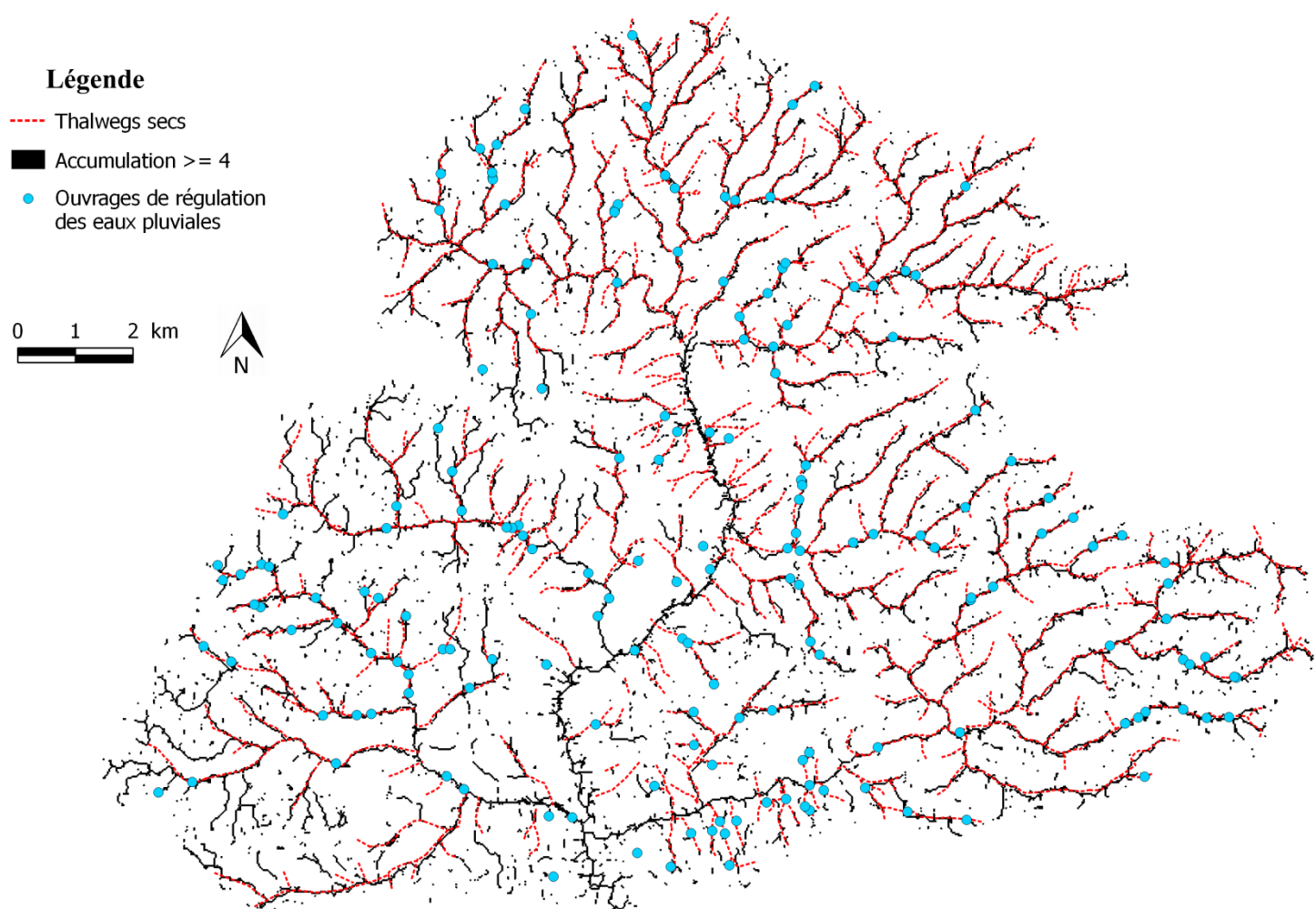
Exactement de la même façon que précédemment, il est possible de comparer sous SIG la localisation des différents ouvrages de régulation du ruissellement en versant aux résultats fournis par la méthode iRIP. Les ouvrages de régulation ayant nécessairement été placés en des points de concentration des écoulements, la carte produite par iRIP à utiliser pour cette comparaison est de

---

<sup>7</sup> Validées comme telles sur le terrain par le SMBV Pointe de Caux après prise de connaissance de la carte d'accumulation.

nouveau la carte d'aptitude à l'**accumulation** du ruissellement. On obtient alors sur l'illustration suivante le même type de comparaison visuelle que précédemment :

**Comparaison visuelle entre la localisation des ouvrages de régulation des eaux pluviales et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement sur le Bassin Versant de la Lézarde**



Cette comparaison visuelle permet de nouveau de constater une bonne correspondance entre les éléments comparés : les ouvrages de régulation implantés sur le bassin versant sont toujours très proches du réseau d'accumulation du ruissellement obtenu sous iRIP.

Il est là aussi possible de constater de façon plus formelle que :

- 22 % des ouvrages de régulation recoupent une valeur  $\geq 4$  d'aptitude à l'accumulation du ruissellement.
- 64 % des ouvrages de régulation secs recoupent ou sont situés à moins de 25 m d'une zone ayant une valeur d'aptitude à l'accumulation du ruissellement  $\geq 4$ .

Ces chiffres sont très similaires à ceux obtenus précédemment pour la comparaison entre le réseau de thalwegs secs et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement, ce qui semble logique étant donné que ces ouvrages ont été implantés en fonction des réseaux d'écoulements préférentiels observés sur le terrain. Ces résultats permettent ainsi de confirmer que l'utilisation de la méthode iRIP peut permettre de **déterminer efficacement des points d'implantations pour des ouvrages de régulation du ruissellement** sur un bassin versant. De plus, une fois les points d'implantation définis, il est tout à fait envisageable sous SIG (*et donc potentiellement implémentable dans iRIP*) de déterminer la **surface totale des zones de production à l'amont d'un ouvrage potentiel** : cette information peut s'avérer très utile, par exemple afin de **dimensionner** un ouvrage de rétention.

## C. Comparaison entre le zonage du PPRI ruissellement et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement

Le Plan de prévention des Risques Inondations sur le Bassin Versant de la Lézarde a été approuvé au mois de mai 2013 par la DDTM de Seine-Maritime. Compte tenu de l'importance des inondations par ruissellement sur le bassin versant, il a été décidé d'intégrer un zonage d'aléa ruissellement aux zonages inondations plus classiquement pris en compte dans les PPRI (débordement de cours d'eau et submersion marine). Ce zonage ruissellement a de plus été réutilisé pour cartographier l'aléa inondation « moyennement fréquent » dans le cadre de l'application de la Directive Inondation sur le TRI du Havre.

A noter que, si cet aléa inondation « moyennement fréquent » de la DI prend donc en compte le ruissellement sur le bassin versant, ce n'est pas le cas pour la cartographie des événements fréquents (issue de « *l'étude hydrologique et hydraulique de la vallée drainée de la Lézarde et de ses affluents* »<sup>8</sup>) ni des événements exceptionnels (issue de l'application de la méthode Cartino<sup>9</sup>). Ces deux derniers zonages donnent donc uniquement de l'information au niveau des débordements de cours d'eaux pérennes (Lézarde, Saint-Laurent, Curande, et Rouelles), et ne fournissent donc aucune information en dehors de ces vallées principales, contrairement à l'aléa ruissellement du PPRI. On se retrouve ainsi dans une situation difficilement concevable où un grand nombre de secteurs sont cartographiés comme étant inondables dans le PPRI (*occurrence moyenne de la Directive Inondation – période de retour « moyenne »*) alors qu'ils ne sont pas inclus dans l'aléa inondation d'occurrence faible (*période de retour « forte »*)<sup>10</sup>.

L'existence du zonage de l'aléa ruissellement sur le bassin versant de la Lézarde, approuvé par les acteurs locaux dans le cadre du PPRI, est très intéressante dans une optique d'évaluation de la méthode IRIP. En effet, il est possible de comparer ce zonage aux cartes obtenues par application d'IRIP sur le bassin versant, afin de s'assurer de la capacité de la méthode à réaliser un zonage d'aléa ruissellement valide à l'échelle d'un bassin versant.

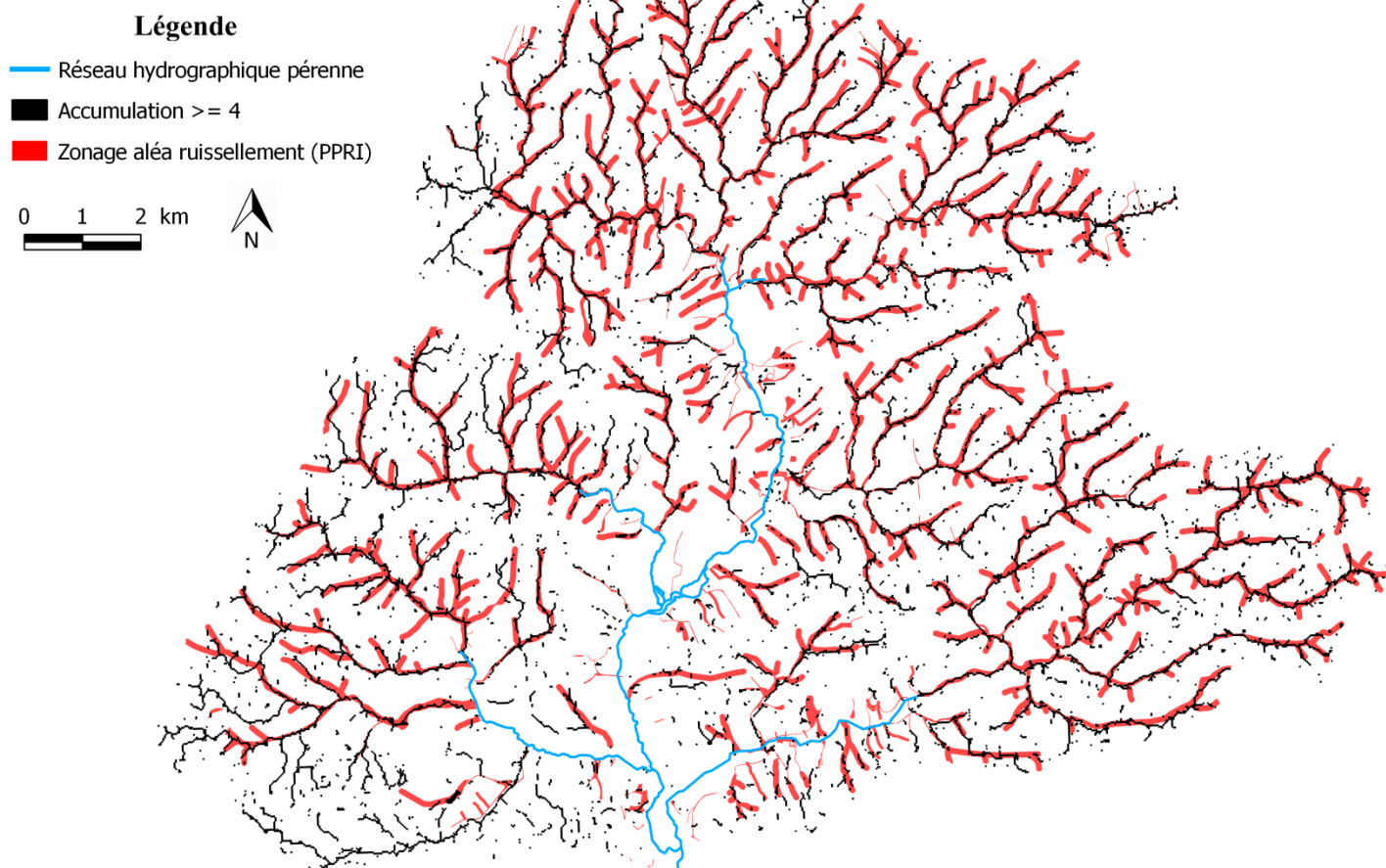
La carte suivante fournit une comparaison visuelle entre le zonage ruissellement du PPRI et la carte d'accumulation obtenue par la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde (seules les valeurs  $\geq 4$  ont été conservées). A noter toutefois que pour cette comparaison, les zones d'accumulation localisées par IRIP et correspondant aux cours d'eau pérennes ont été supprimées, ces dernières n'ont en effet pas lieu d'être comparées à un zonage d'aléa ruissellement (le ruissellement n'est pas défini en cours d'eau) :

<sup>8</sup> Réalisation DHI Eau & Environnement.

<sup>9</sup> Réalisation CETE Méditerranée.

<sup>10</sup> Voir : DDTM 76/DREAL Haute-Normandie. **Directive Inondation Bassin Seine Normandie**. Annexe II – Cartographie des surfaces inondables et des risques – TRI du Havre. Lien : [http://www.haute-normandie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/TRI\\_Le\\_Havre\\_cartes\\_CE\\_RU\\_synthese\\_cle51e1cc.pdf](http://www.haute-normandie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/TRI_Le_Havre_cartes_CE_RU_synthese_cle51e1cc.pdf)

**Comparaison visuelle entre le zonage PPRI de l'aléa ruissellement et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement sur le Bassin Versant de la Lézarde**



Cette comparaison, bien que visuelle, permet d'ores et déjà d'observer que la carte d'aptitude à l'accumulation obtenue par la méthode IRIP se superpose en très grande partie au zonage aléa ruissellement du PPRI, et ce même en remontant jusqu'en tête de bassin versant. En particulier, les zones de confluences de ces axes de ruissellement sont potentiellement les plus dangereuses : elles se retrouvent toutes sur la carte d'accumulation et peuvent être localisées par l'application d'IRIP de façon précise.

Il est toutefois important de noter que l'information que fournit ici la méthode IRIP correspond principalement à des *axes* d'accumulation du ruissellement. La carte précédente compare donc une information **linéaire** (issue de la carte d'aptitude à l'accumulation d'IRIP, à la largeur de pixel près soit 25 m) à une information **surfactive** (issue du zonage d'aléa ruissellement du PPRI). Il reste tout à fait possible d'établir un zonage **surfactive** à partir de la carte d'accumulation fournie par IRIP, en réalisant un *Buffer* autour des zones d'accumulation. C'est d'ailleurs ce qui semble avoir été fait (à l'exception des secteurs enclavés en fond de vallée ou de thalwegs) dans le cadre du zonage ruissellement du PPRI, comme l'indique cette phrase relevée dans le rapport de présentation du TRI du Havre et concernant les **incertitudes et limites** de la cartographie produite :

« Utilisation de largeur de ruissellement **forfaitaire** en l'absence de données hydrauliques pour les phénomènes représentées ».<sup>11</sup>

<sup>11</sup> DDTM Seine-Maritime. **Directive Inondation Bassin Seine Normandie**. Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) du Havre – Cartographie des surfaces inondables et des risques. Rapport de présentation. Page 15. Septembre 2014.

Ce type de traitements, bien que possibles, amène toutefois à s'interroger sur la **pertinence** de vouloir représenter l'aléa ruissellement par des entités surfaciques comme c'est le cas pour les débordements de cours d'eau.

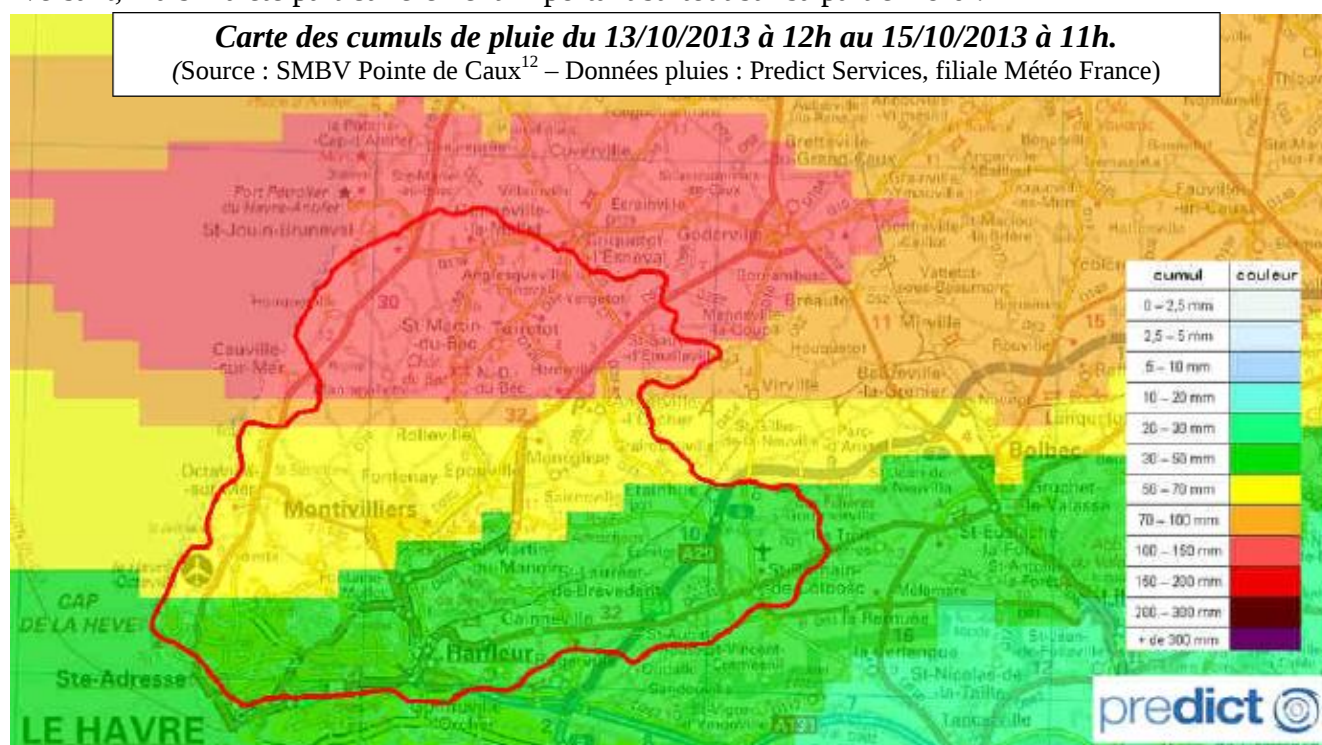
Enfin, il est indispensable de rappeler que ce zonage de l'aléa ruissellement sur le bassin versant de la Lézarde a été établi dans le cadre d'un Plan de Prévention des Risques Inondation. Ce dernier ayant été approuvé en 2013 par la DDTM Seine-Maritime, il a dans ce cadre été soumis à enquête publique avant d'être validé. Il est donc nécessairement issu d'une réflexion plus fine menée à une échelle locale. De la même façon il serait possible d'affiner la cartographie issue de l'application d'IRIP sur le bassin versant afin de prendre en compte des données plus locales.

## D. Comparaison entre des données de coupures de routes post-événement et la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement

### 1. Présentation de l'épisode météorologique du 13 octobre 2013.

Le bassin versant de la Lézarde a subi en octobre 2013 un épisode pluvial important, à l'origine de ruissellement intense. Cet épisode, qui a duré plus de 24h, a été qualifié de « supérieur à l'épisode cinquantenal » par Météo France<sup>12</sup>. Une analyse synthétique de cet événement a été réalisée par le SMBV Pointe de Caux<sup>12</sup>, comprenant l'ensemble des informations concernant l'épisode pluvial et ses conséquences. En particulier, ce rapport permet de faire un lien entre une pluie donnée, et les coupures de routes. Bien que la localisation de ces dernières ne soit pas entièrement exhaustive<sup>13</sup>, ces informations restent très intéressantes puisqu'elles peuvent permettre d'évaluer l'intérêt d'une utilisation d'IRIP pour **prévoir des coupures de routes dans un contexte opérationnel**.

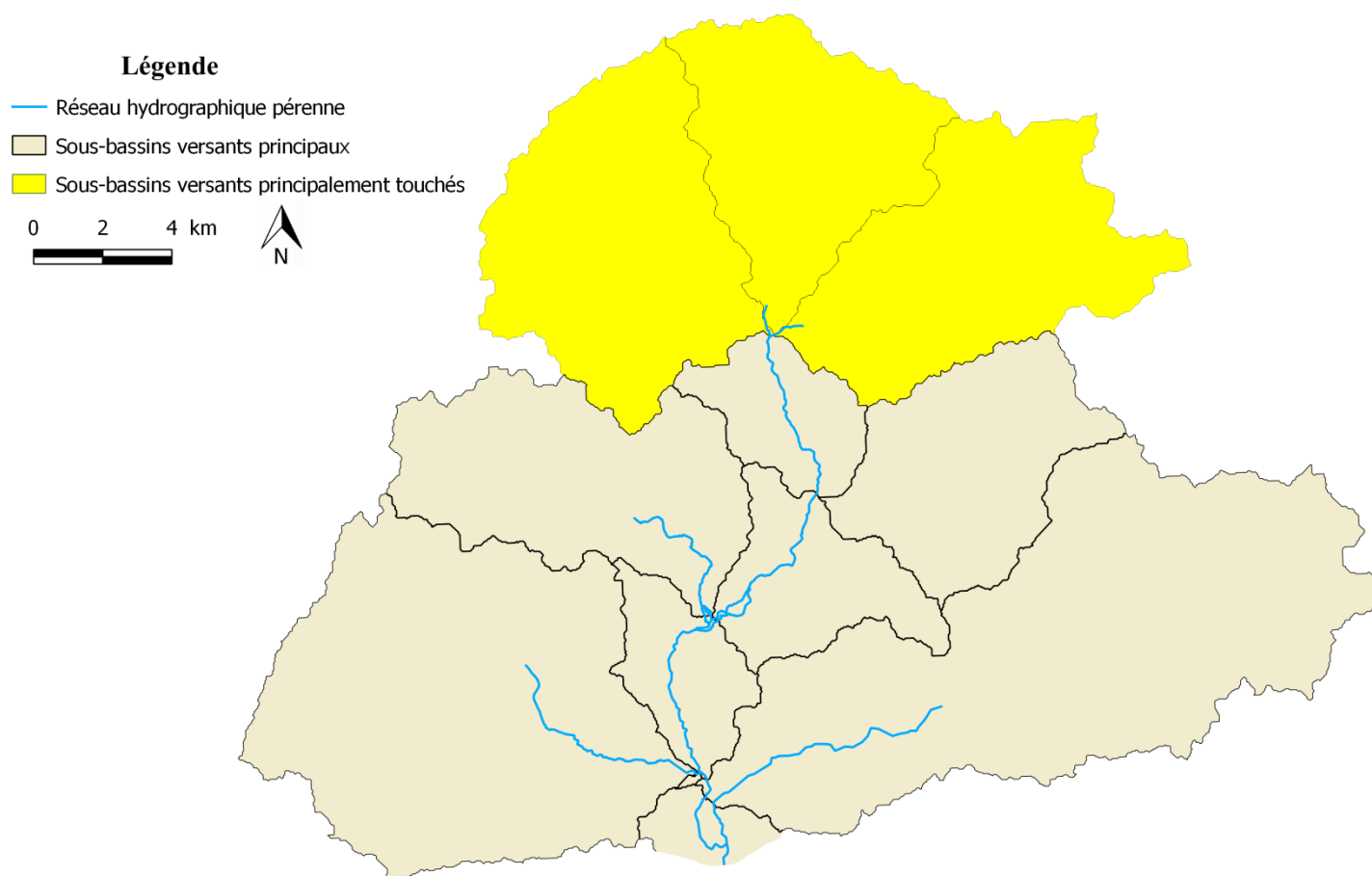
L'épisode pluvial qui s'est déroulé du 13 au 14 octobre 2013 a touché l'ensemble du bassin versant, mais il a été particulièrement important surtout sur sa partie Nord :



<sup>12</sup> GOUVAZÉ J. (SMBV Pointe de Caux). Inondations du 13 & 14 octobre 2013 – Bassin Versant de la Lézarde – Retour synthétique sur cet événement climatique singulier.

<sup>13</sup> Information recueillie auprès du SMBV Pointe de Caux. Certaines routes ont en effet pu être coupées localement sans que le SMBV en soit informé.

**Sous-bassin versants principaux concernés par l'épisode du 13 au 14 octobre 2013**

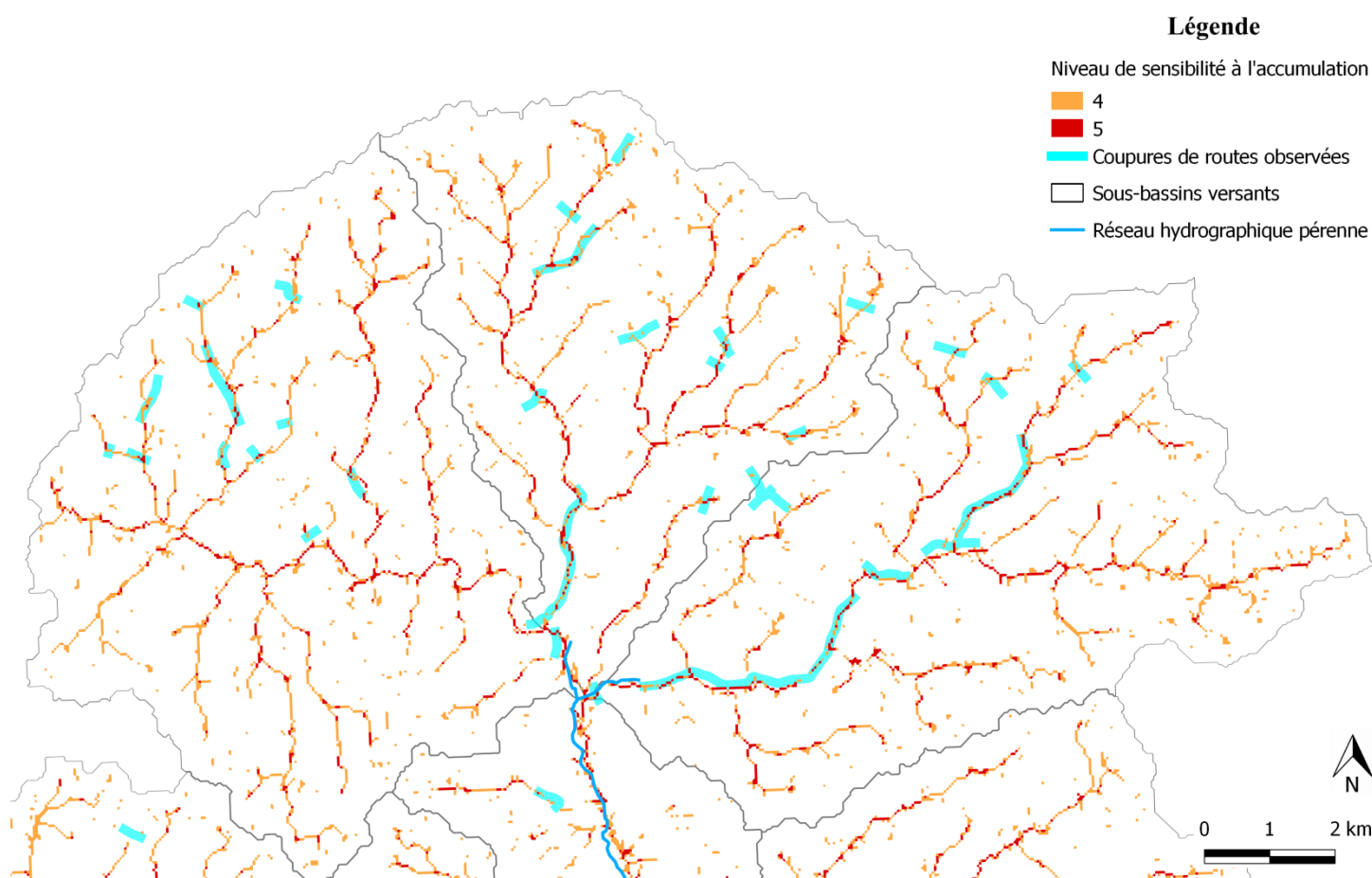


Pour cet épisode particulier, c'est donc sur ces 3 sous-bassins versants que sont principalement susceptibles de survenir des phénomènes de ruissellement, et donc potentiellement des coupures de routes.

*2. Confrontation entre les coupures de routes observées et la carte d'aptitude à l'accumulation.*

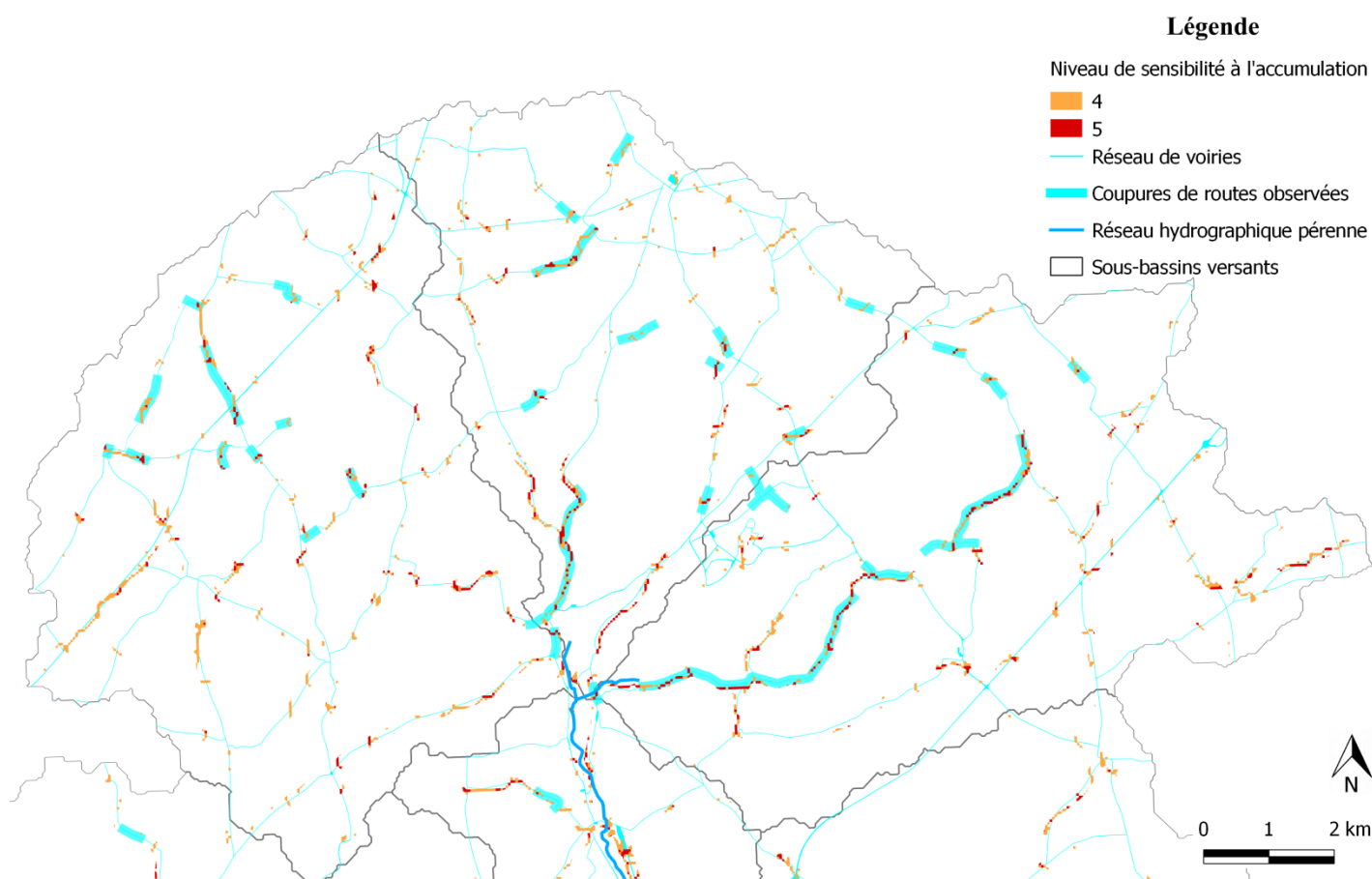
Les coupures de routes liées à cet événement ont été répertoriées et localisées par les gestionnaires du bassin versant de la Lézarde. Il est donc possible sous SIG de superposer ces coupures de routes à la carte d'aptitude à l'accumulation obtenue par la méthode IRIP, afin de les comparer. On se limite ici à la partie Nord du bassin versant, seule zone où des coupures de routes ont été observées :

Comparaison visuelle entre les coupures de routes observées et la carte d'aptitude à l'accumulation



On observe en premier lieu sur cette carte que l'ensemble des coupures de routes ayant été observées pendant l'évènement d'octobre 2013 se retrouvent à travers la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement. Cette dernière semble donc bien permettre de localiser les coupures de routes potentielles sur un territoire. Toutefois, la carte d'accumulation obtenue sous iRIP indique aussi de nombreux autres secteurs ne correspondant pas à ces incidents. Dans une optique de **prévision** des coupures de routes liées à un évènement, il est indispensable de chercher à mieux discriminer les secteurs correspondants aux voiries. Ainsi, à partir d'une couche SIG de l'ensemble des routes (ou autres réseaux linéaires) du territoire, il est possible de conserver uniquement les voiries sensibles à l'accumulation du ruissellement :

**Comparaison visuelle entre les coupures de routes observées et la carte d'aptitude à l'accumulation  
au niveau des voies de communication**



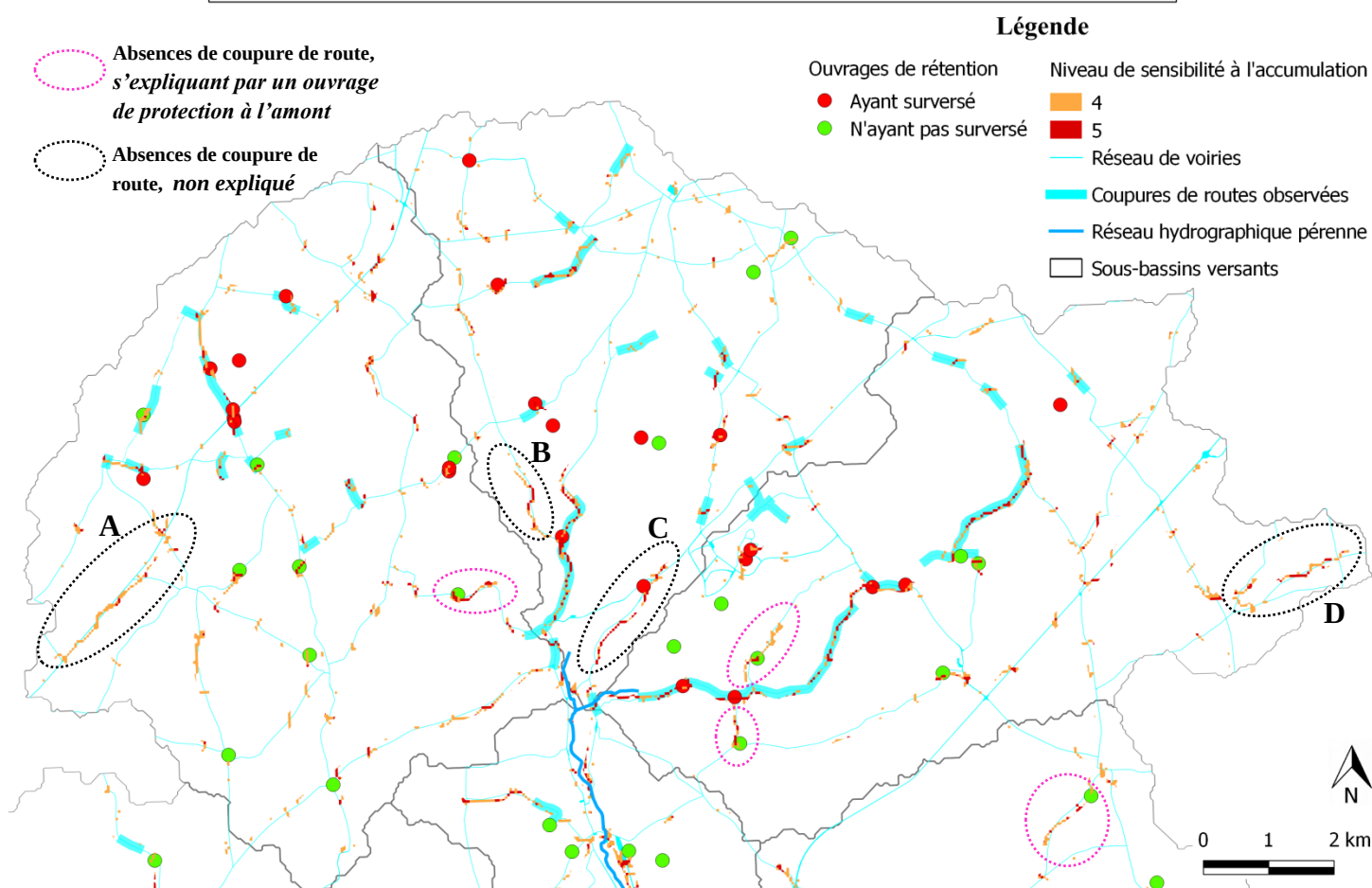
On conserve ainsi l'ensemble des routes sensibles à l'accumulation du ruissellement, et donc susceptibles d'être coupées. On observe que la méthode IRIP permet de retrouver efficacement les coupures de routes les plus importantes liées à l'évènement, toutefois on constate tout de même que certaines routes, pourtant sensibles à l'accumulation du ruissellement, n'ont pas fait l'objet de coupures. Il est important de mieux comprendre pourquoi ces routes n'ont pas été coupées, afin de chercher à discriminer plus finement les voies les plus sensibles aux coupures lors d'un évènement.

### *3. Facteurs explicatifs de l'absence de coupure de certaines routes, pourtant sensibles à l'accumulation du ruissellement.*

En plus des informations de ruptures de routes liées à l'évènement d'octobre 2013, le rapport réalisé par le SMBV pointe de Caux<sup>14</sup> fournit la liste des ouvrages de régulation des écoulements qui ont, ou non, surversés sur le bassin versant. Ces ouvrages de protection peuvent expliquer que certaines routes n'aient pas été coupées :

<sup>14</sup> **GOUVAZÉ J. (SMBV Pointe de Caux).** Inondations du 13 & 14 octobre 2013 – Bassin Versant de la Lézarde – Retour synthétique sur cet évènement climatique singulier.

**Comparaison visuelle entre les coupures de routes observées, la carte d'aptitude à l'accumulation au niveau des voies de communication, et la présence d'ouvrages de régulation**



On observe avec cette nouvelle carte qu'un certain nombre de routes sensibles à l'accumulation et n'ayant pas été coupées durant l'évènement s'expliquent par la présence d'ouvrages de protection n'ayant pas surversés à l'amont (*zones entourées en rose sur la carte précédente*)<sup>15</sup>. Toutefois, cette information semble difficilement exploitable dans un contexte opérationnel, à moins de savoir quels sont les ouvrages les plus sensibles à la surverse.

Enfin, on note qu'il reste encore quelques zones d'accumulation importantes au niveau de routes n'ayant pas été coupées durant l'épisode, et dont l'explication doit être cherchée ailleurs (*zones entourées en noir sur la carte précédente*). Pour ces zones, les pistes d'explications sont les suivantes :

▪ Zone A sur la carte précédente :

La zone A correspond à une Route Départementale (RD940). Cet axe routier est situé dans un point bas local qui recoupe une zone de plateaux, ce qui la rend potentiellement vulnérable aux inondations par ruissellement. Toutefois cette route départementale, importante à l'échelle du territoire, est longée des deux côtés par d'importants fossés d'assainissement sur l'ensemble de sa longueur. Ces ouvrages linéaires ont un rôle de collecte des eaux de ruissellement, et protègent donc la route de façon visiblement efficace, ce qui évite sa coupure lors d'épisodes pluvieux intenses, comme l'illustre l'image suivante :

<sup>15</sup> Après prise de connaissance de cette remarque par le SMBV Pointe de Caux, ce dernier confirme que les deux secteurs les plus au Nord ont bien été protégés par la mise en eau des ouvrages de protection. Par contre, il s'avère que les deux secteurs les plus au Sud n'ont en réalité pas été touchés par l'épisode pluvieux (ce qui explique que les routes n'y aient pas été coupées).



Il est de plus intéressant de noter que, selon le SMBV Pointe de Caux, la RD 940 a probablement déjà été coupée sur ce secteur par le passé, au cours d'autres épisodes pluvieux intenses. Il n'est d'ailleurs pas à exclure que cet axe routier ait été brièvement coupé lors de l'épisode d'octobre 2013. Sa localisation par la méthode IRIP semble donc tout à fait justifiable.

■ Zone B sur la carte précédente :

Cette seconde zone correspond à la « route de la Pigeonnière », à Saint-Jouin-Bruneval. Il est difficilement explicable que cette zone n'ait pas été coupée pendant l'évènement. La route correspond en effet bien à un point bas local, ne possède pas d'ouvrages de protection de type fossés de drainage, et est bien reliée à des zones de production du ruissellement avec des surfaces suffisantes (plus importantes qu'à d'autres endroits où des coupures de routes ont été observées) :



Après prise de connaissance de ces remarques par le SMBV Pointe de Caux et prise de contact avec l'exploitant agricole voisin, il s'avère que ce secteur est en fait régulièrement sujet à des coupures lors des épisodes de ruissellement intense. La route a bien été coupée en octobre 2013, mais le SMBV n'en avait pas été informé jusqu'à présent.

▪ Zone C sur la carte précédente :

Cette troisième zone correspond à la route départementale RD79, sur la commune de Notre-Dame-du-Bec. On observe déjà qu'il existe un ouvrage de rétention des eaux de surface en amont de ce tronçon de route. Bien que cet ouvrage ait surversé durant l'épisode pluvieux, il est probable qu'il ait permis de limiter la majorité des écoulements vers l'aval, c'est-à-dire sur la RD79.

De plus, il semble ici que le point bas local ne soit pas la route, mais plutôt une parcelle agricole située sur son bord. Ainsi, l'absence de coupure de route peut s'expliquer par le fait que les écoulements ne se concentrent pas sur la voirie, mais plutôt sur la parcelle agricole voisine<sup>16</sup> :



▪ Zone D sur la carte précédente :

Cette quatrième et dernière zone correspond à la route de Bornambusc, à Saint-Sauveur-d'Émalleville. Ici, la route correspond bien à un point bas local, et recoupe des grandes parcelles agricoles. Toutefois, ces dernières sont relativement plates (ce qui favorise l'infiltration et le ruissellement diffus), et certaines d'entre elles sont occupées en élevage et ne correspondent donc pas à des terres labourées très sensibles à la production du ruissellement. Il est de plus à noter que ce secteur est situé très en tête du bassin versant, et est donc associé à de faibles surfaces de production. Ces différents facteurs peuvent, a priori, justifier l'absence de coupure de route liée au ruissellement intense des pluies.

Après prise de connaissance de ces observations pas le SMBV Pointe de Caux et retour de leur part, il s'avère en fait que cette zone est bien sujette à un ruissellement intense, mais que les écoulements se concentrent sur la parcelle agricole et non sur la route. Cela explique que cette dernière n'ait pas été coupée.

<sup>16</sup> Cette observation a été confirmée par le SMBV Pointe de Caux.



#### 4. Bilan sur l'utilisation de la méthode IRIP afin de détecter les coupures de routes sur un bassin versant

Compte tenu des différentes remarques effectuées précédemment, il semble que l'application de la méthode IRIP à l'échelle du bassin versant de la Lézarde peut permettre de détecter les principales coupures de routes (et potentiellement d'autres réseaux linéaires) liées à un épisode pluvieux. Toutefois, afin de discriminer au mieux les routes réellement susceptibles d'être coupées, il semble qu'une connaissance locale du territoire et des caractéristiques des différents axes routiers soit nécessaire en complément des résultats d'IRIP.

A noter que, si la donnée pluie utilisée ici en entrée correspond à des données obtenues *post-événement*, il est tout à fait envisageable d'effectuer le même chemin de réflexion à partir de données de *prévision météorologique*. Il devient alors possible d'utiliser la méthode IRIP dans un contexte opérationnel, afin par exemple de rediriger le trafic routier, ou de pré-positionner des services d'interventions et de secours<sup>17</sup>.

Ces conclusions, bien qu'obtenues à partir de l'analyse d'un unique événement sur un bassin versant donné, semblent tout de même encourageantes pour une utilisation de la méthode IRIP dans le but de détecter des coupures de réseaux linéaires à l'échelle d'un bassin versant.

### E. Comparaison entre les zones sensibles à l'aléa érosion des sols agricoles (source : PPRI de la Lézarde & Décret érosion) et la carte d'aptitude au transfert du ruissellement

Le SMBV Pointe de Caux a fourni deux couches SIG (polygones) représentant les secteurs les plus exposés à l'aléa érosion. Ces zonages sont issus de deux études différentes :

- PPRI du bassin versant de de la Lézarde (2013)
- « Décret Érosion », établi en complément du PPRI

Il est alors possible de comparer les résultats issus d'iRIP sur le bassin versant de la Lézarde avec ceux fournis par ces deux études. En particulier, la carte d'aptitude au transfert du ruissellement obtenue sous iRIP nous intéresse fortement ici. En effet, parmi les 3 cartes calculées par la méthode IRIP, c'est la carte d'aptitude au **transfert** qui est censée permettre la localisation

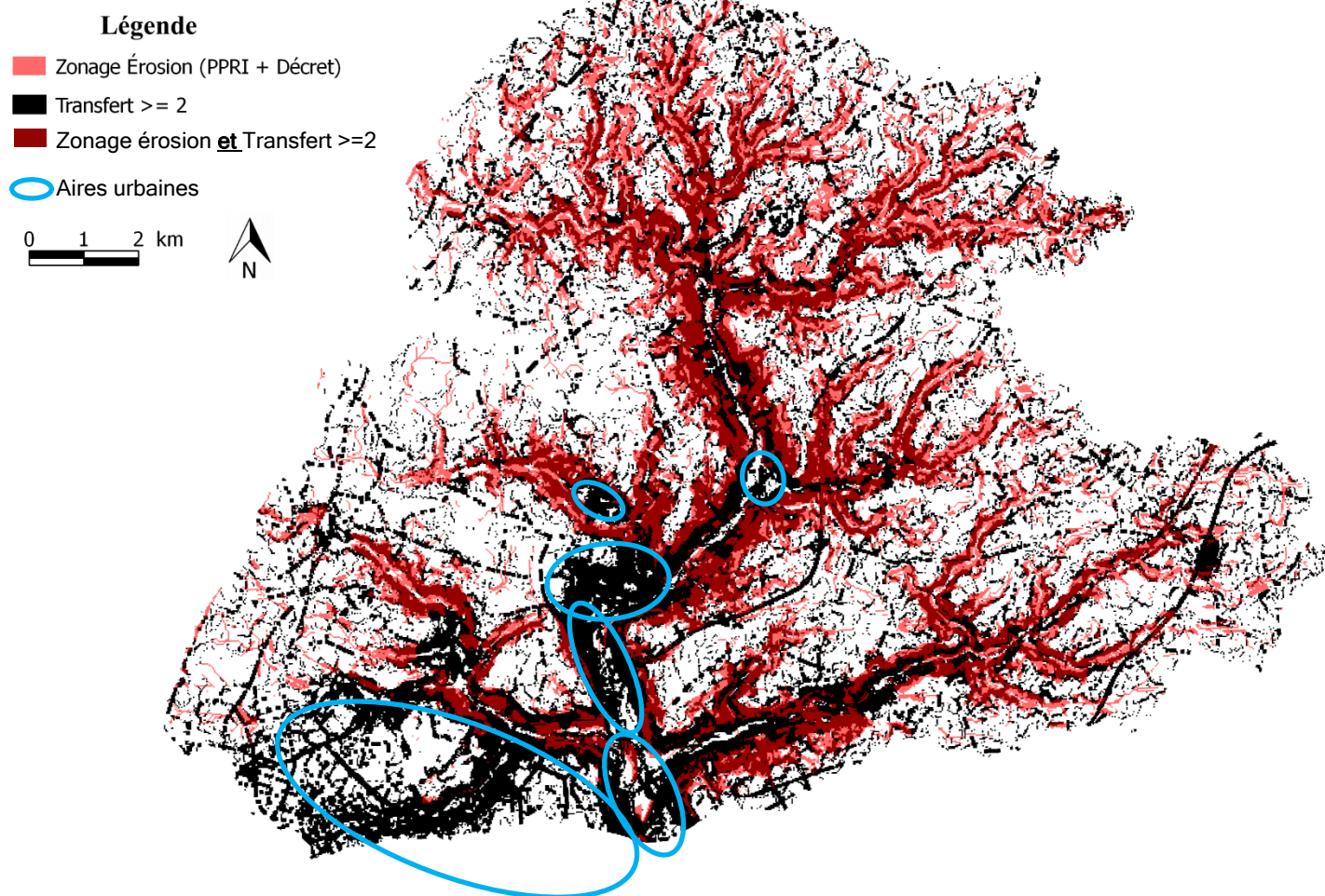
<sup>17</sup> Les résultats obtenus sont bien sûr fortement dépendants de la précision de la prévision météorologique en entrée.

des secteurs présentant une aptitude à mettre en mouvement le ruissellement, et donc à donner de la vitesse au ruissellement. Ce sont ces zones aux vitesses d'écoulement plus élevées qui sont susceptibles de présenter une forte capacité à éroder les sols.

Sur le même principe que précédemment, il est ainsi possible de comparer visuellement les zonages d'aléa érosion sur le BV de la Lézarde avec la carte d'aptitude au **transfert** du ruissellement d'IRIP. Cette dernière présentant des scores globalement faibles (98% des pixels sont situés entre 0 et 3), tous les pixels prenant une valeur d'aptitude au ruissellement supérieure ou égale à 2 ont été conservés pour cette comparaison.

On obtient ainsi la carte de comparaison visuelle suivante :

Comparaison visuelle entre les secteurs sensibles à l'aléa érosion et la carte d'aptitude au transfert du ruissellement sur le Bassin Versant de la Lézarde



On observe avec cette première approche visuelle qu'une part importante des zones sensibles à l'aléa érosion sur le bassin versant de la Lézarde semble se retrouver dans la carte d'aptitude au transfert du ruissellement issue de la méthode IRIP. C'est notamment le cas au niveau des flancs de vallées, où la carte de transfert issue d'IRIP correspond bien aux zonages érosion, et ce même lorsque l'on remonte haut dans le bassin versant (au niveau des vallées de thalwegs secs situés dans la partie Nord du bassin versant par exemple).

Si l'on cherche maintenant à établir un lien plus formel entre ces deux cartes, on observe en fait que **55,8 %** des zones identifiées comme sensibles à l'aléa érosion par le PPRI ou le « Décret

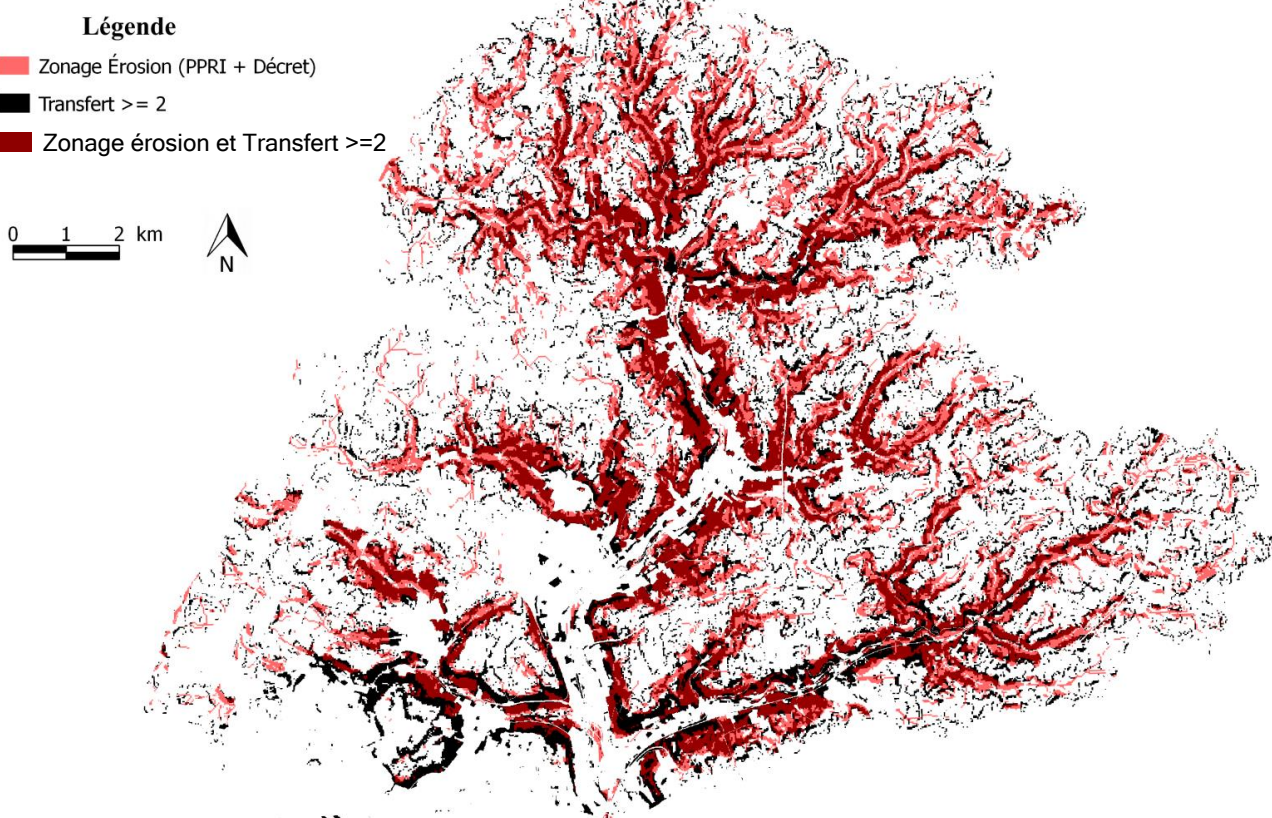
Erosion » recoupe les zones d'aptitude au transfert  $\geq 2$  selon iRIP. De plus, on obtient un facteur de correspondance<sup>18</sup> entre les deux cartes égal à :

$$F = \frac{\text{Cartographie}_1 \cap \text{Cartographie}_2}{\text{Cartographie}_1 \cup \text{Cartographie}_2} \times 100 = 28,0 \, \%.$$

Bien que ces deux indices soient relativement faibles (en particulier l'indice de correspondance F), une nuance est ici à apporter. En effet, on observe sur la carte précédente qu'iRIP identifie des surfaces importantes comme étant potentiellement ruisselantes alors qu'elles ne se retrouvent pas dans le décret érosion (surfaces en noir, mais par en rouge). Cette observation s'explique par le fait que la méthode IRIP ne fait pas à proprement dit de **l'érosion des sols** : elle ne différencie donc pas le transfert du ruissellement en zone urbaine du transfert du ruissellement en zone agricole. Or, les zonages érosion s'intéressent spécifiquement aux secteurs susceptibles de subir des pertes en terre par érosion, ce qui suppose qu'ils se concentrent principalement sur les secteurs ruraux. Cette remarque permet notamment d'expliquer les zones sorties par iRIP sans correspondance avec le zonage érosion dans la partie Sud/Sud-Ouest de la carte : ce sont les zones urbaines du Havre, de Harfleur, et de Montivilliers (entourées en bleu sur la carte précédente). Cette même remarque permet d'expliquer la présence de structures linéaires identifiées comme aptes au transfert du ruissellement par la méthode IRIP : ce sont les infrastructures linéaires, en particulier routières, présentes partout sur le bassin versant.

Afin de mieux comparer les résultats issus d'IRIP aux zonages érosion du PPRI et du Décret Érosion, il est alors possible de s'affranchir de l'ensemble des aires urbaines sur le bassin versant. On obtient alors la carte suivante, où les aires urbaines ne sont plus prises en compte, ce qui fait mieux ressortir la correspondance entre les zonages d'aléa érosion et la carte d'aptitude au transfert d'IRIP :

Comparaison visuelle entre les secteurs sensibles à l'aléa érosion et la carte d'aptitude au transfert du ruissellement sur le Bassin Versant de la Lézarde - Suppression des aires urbaines

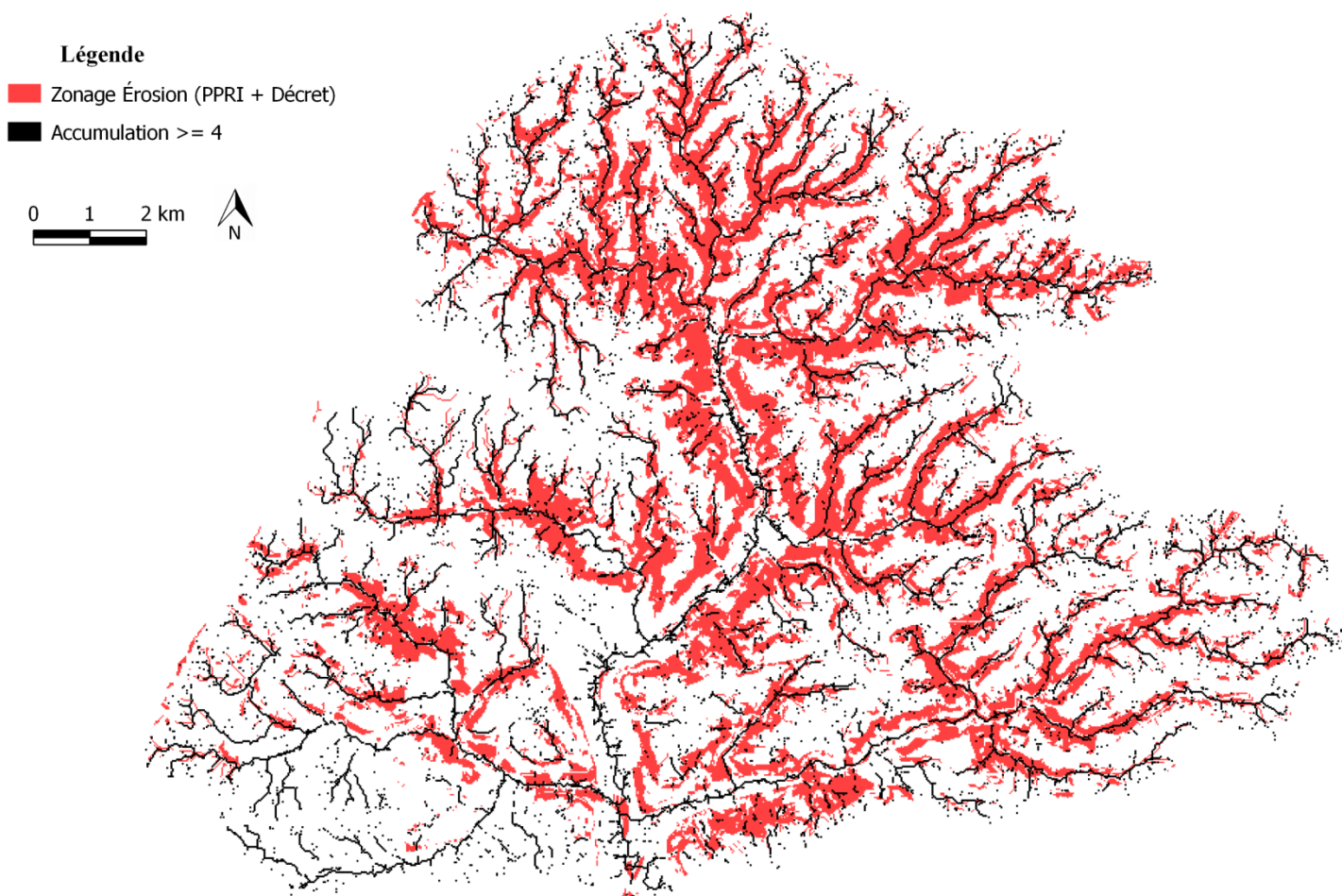


<sup>18</sup> **Bates P.D., De Roo A.P.J.** A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology* (2000). p54-77.

La suppression des aires urbaines n'ayant pas d'influence sur le recouvrement entre les deux cartes, le pourcentage de recoupement est inchangé (55,8 %). On obtient par contre un nouvel indice de correspondance, qui augmente logiquement (puisque l'on supprime des surfaces urbaines qui ressortaient uniquement dans la carte issue d'IRIP, et étaient donc au dénominateur) :  $F_2 = 35,3 \%$ .

Même après s'être affranchi des aires urbaines, l'indice de correspondance entre les zones sensibles à l'aléa érosion issues des études locales et les zones aptes à transférer le ruissellement selon IRIP reste relativement faible. Il semble toutefois important de noter l'existence de plusieurs facteurs susceptibles de venir abaisser cet indice :

- La carte d'aptitude au transfert issue d'IRIP est très « bruitée », notamment sur les plateaux, avec de nombreux polygones de très petites tailles. Cela est lié notamment à la carte d'indicateur de ruptures de pentes (*transferbreakslope.map*) calculée par iRIP pour obtenir la carte d'aptitude au transfert du ruissellement. Il serait possible de s'affranchir de ce « bruit » en supprimant tous les polygones de taille inférieure à un certain seuil, toutefois cela présente l'inconvénient de supprimer aussi un grand nombre d'autres petits polygones qui, eux, correspondent effectivement à des zones sensibles à l'érosion.
- La comparaison de couches via l'utilisation de la calculatrice raster (comme cela est fait ici) présente l'intérêt de pouvoir **chiffrer** les différences qui existent pixel à pixel. Toutefois, ce calcul est directement lié à l'imprécision des cartes qui sont comparées. Ainsi, le moindre décalage lié par exemple à l'imprécision du MNT (mailles de 25x25m ici) vient diminuer le pourcentage de recouvrement entre les deux cartes. Ce problème pourrait se résoudre en partie par la réalisation d'un Buffer autour des surfaces aptes au transfert localisées par IRIP (comme cela a été fait précédemment pour comparer thalwegs secs et zones d'aptitude à l'accumulation). Toutefois ici, la réalisation d'un tel buffer a pour effet principal de « noyer » la carte d'aptitude au transfert du ruissellement, notamment à cause de tous ces petits polygones de « bruit » sur les plateaux.
- Il n'est pas non plus à exclure la possibilité que la méthode iRIP fasse ressortir d'autres secteurs potentiellement sensibles à l'érosion, qui n'ont pas été localisés dans les études antérieures (PPRI et Décret érosion). Cela pourrait par exemple être le cas sur les secteurs de plateaux, certes naturellement moins sensibles à l'aléa érosion car moins pentus.
- Enfin, on note la présence importante dans les fonds des vallées des thalwegs secs de secteurs appartenant aux zonages érosion (en rouge) mais qu'IRIP n'identifie pas comme étant aptes à transférer le ruissellement (et donc pas en noir sur la figure précédente). C'est en particulier le cas sur les secteurs en tête du bassin versant : les vallées situées au Nord et à l'Est du BV par exemple. Ces secteurs étant plutôt caractérisés par des pentes faibles et des ruptures de pentes de type concave, ils ne ressortent pas comme secteurs sensible au **transfert** du ruissellement, mais ont plutôt tendance à être considérés par IRIP comme des secteurs accumulateurs du ruissellement. Ces fonds de vallées, qui correspondent à des aires cultivées où les écoulements se concentrent préférentiellement, se retrouvent ainsi très bien avec la carte d'aptitude à l'**accumulation** du ruissellement produite par IRIP. Ces écoulements concentrés peuvent soit avoir tendance à **inciser le sol** (érosion concentrée et formation de nouveaux thalwegs secs, plutôt en tête de bassin versant), soit **remettre en suspension et transporter des dépôts** issus des zones d'érosion sur les flancs de vallées.



D'une façon générale, on retiendra que cette comparaison entre les secteurs d'aptitudes au **transfert** du ruissellement issues d'IRIP et les zones sensibles à l'aléa érosion agricole donne des résultats encourageants en particulier sur les flancs de vallées (érosion **diffuse**) et en haut des pentes (ruptures de pentes convexes), bien que ces résultats soient délicats à retranscrire de manière quantitative. Les secteurs sensibles à l'érosion **concentrée** se retrouvent, eux, à travers la carte d'aptitude à l'**accumulation** du ruissellement (thalwegs secs et fonds de vallées avec remise en suspension de matériau).

Il est aussi important de rappeler que ces résultats sont obtenus par application d'IRIP sur un territoire de 210 km<sup>2</sup> et avec un MNT à 25m de résolution planimétrique. Ce sont donc les résultats d'une étude **globale** du bassin versant, alors que les zonages érosion sont, eux, issus d'études plus fines comprenant des modélisations adaptées spécifiquement à la cartographie de l'aléa érosion (RUSLE, STREAM, et LISEM)<sup>19</sup>. Il serait donc très intéressant d'appliquer la méthode IRIP sur un sous bassin versant de la Lézarde, avec des données numériques de terrain plus fines<sup>20</sup>, afin de les comparer de nouveau aux zonages érosion sur le Bassin Versant de la Lézarde. A l'échelle d'un sous bassin versant, il serait de plus envisageable d'affiner encore l'étude en cherchant à prendre en compte le phénomène de battance (à partir d'informations à la parcelle, comme par exemple le stade cultural).

<sup>19</sup> **DDTM Seine-Maritime**. PPRI du bassin versant de la Lézarde, rapport de présentation. (Février 2013).

<sup>20</sup> De telles données seront normalement disponibles au premier trimestre 2015, dans le cadre du RGE-Alti de l'IGN (MNT à 1m de résolution altimétrique sur comprenant notamment l'ensemble du bassin versant de la Lézarde).

---

*Suites envisageables pour la méthode IRIP, au vu des  
résultats obtenus sur le Bassin Versant de la Lézarde*

---

## A. A propos de l'utilisation de la carte d'aptitude à la production du ruissellement

Les possibilités d'utilisation de la carte d'aptitude à la **production** du ruissellement sur le bassin versant de la Lézarde n'ont pas beaucoup été développées dans les paragraphes précédents. En effet, cette carte se prêtait peu aux comparaisons avec les données fournies par les gestionnaires du bassin versant.

Une piste d'utilisation de ces surfaces productrices a toutefois été envisagée, en cherchant à comparer ces dernières aux volumes de rétention des ouvrages de régulation présents sur le bassin versant de la Lézarde. L'idée de base était de voir s'il est possible d'utiliser la surface de production à l'amont d'un ouvrage comme indicateur de son dimensionnement. Un lien a ainsi été cherché entre :

- Le rapport du volume de rétention de l'ouvrage sur la surface totale du bassin versant amont à l'ouvrage (*dans un premier temps*)
- Le rapport du volume de rétention de l'ouvrage sur la surface totale **productrice** (aptitude à la production  $\geq 3$ ) du bassin versant amont à l'ouvrage (*dans un second temps*)
- La tendance de l'ouvrage à surverser en cas d'épisode pluvieux intense

Un premier script fonctionnel, fourni en *annexe 2* et permettant d'obtenir ces surfaces à l'amont de chaque ouvrage, a été écrit en Python afin d'être utilisé sous GrassGIS. Toutefois, ce premier script ne prend pas en compte l'existence d'ouvrages **en série** sur le bassin versant. Il existe en effet un grand nombre d'ouvrages qui incluent, au sein de leur propre bassin versant, d'autres ouvrages. Un second script (donné en *annexe 3*) a ainsi été écrit, et cherche à prendre en compte la spécificité des ouvrages en série. Il est alors possible d'obtenir, pour chaque ouvrage de régulation présent sur le bassin versant, la surface amont liée *spécifiquement* à l'ouvrage<sup>21</sup> ainsi que les surfaces de **production** liées *spécifiquement* à l'ouvrage.

Ces différentes surfaces<sup>22</sup> ainsi obtenues ont permis de calculer pour chaque ouvrage quatre rapports de la forme  $\frac{\text{Volume de rétention}}{\text{Surface}}$ . Ces rapports ont ensuite été comparés à la carte des ouvrages ayant surversé lors de l'épisode pluvieux d'octobre 2013. Ces simples comparaisons n'ont toutefois pas permis d'observer un quelconque lien entre les différentes surfaces calculées, les volumes de rétention des ouvrages, et leur tendance à surverser. En particulier, les rapports les plus faibles ne sont pas forcément obtenus pour les ouvrages ayant débordés lors de l'épisode pluvieux d'octobre 2013.

Bien que le calcul de ces rapports  $\frac{\text{Volume de rétention}}{\text{Surface}}$  n'ait pas permis d'aboutir à des résultats satisfaisants, cette piste de travail semble intéressante à étudier à l'avenir, dans une optique d'évaluation de la méthode IRIP. En effet, si un lien venait à être montré entre la surface de **production** à l'amont d'un ouvrage et sa tendance à la surverse, il deviendrait alors envisageable d'utiliser la méthode IRIP dans une optique de dimensionnement d'ouvrages de régulation des eaux pluviales. Certains verrous sont encore toutefois à lever :

- Disposer de chroniques de surverses sur un bassin versant (la comparaison effectuée sur la Lézarde ne s'est faite qu'à partir d'un unique épisode pluvieux)
- Problème de la prise en compte des ouvrages en série (la notion de surface *spécifique* à chaque ouvrage est-elle la bonne solution ?)
- Problème de la prise en compte des débits de fuite existants pour certains ouvrages

<sup>21</sup> Pour chaque ouvrage on a ainsi :  $S_{\text{spécifique}} = S_{\text{BV\_Ouvrage}} - S_{\text{BV\_OuvragesAmont}}$

<sup>22</sup> Surface totale du BV ; Surface **productrice** ; Surface spécifique à l'ouvrage ; Surface **productrice** spécifique

A noter que les scripts qui ont été écrits en Python sur le bassin versant de la Lézarde peuvent tout à fait servir de base à cette piste de travail sur les zones de production, et être adaptés à d'autres bassins versants. De plus, le calcul automatique des surfaces a ici été réalisé à l'amont de points correspondant à des ouvrages de régulation des eaux pluviales, mais ces scripts peuvent aussi être modifiés en vue d'obtenir les surfaces amont à un ensemble de points correspondants cette fois à des coupures de routes par exemple.

Enfin, il est indispensable de rappeler que la localisation des surfaces de production à l'échelle d'un bassin versant par la méthode IRIP permet d'ores et déjà de déterminer des secteurs où un travail de favorisation des processus d'infiltration/stockage dans le sol peut être mené en priorité (modification des pratiques culturales, limitations à l'imperméabilisation des sols,...).

## B. A propos de la représentation cartographique des résultats de la méthode IRIP

La représentation cartographique des résultats est un axe d'évolution important pour la méthode IRIP. En effet, l'existence actuelle de trois cartes différentes en sortie peut compliquer la compréhension et l'assimilation des résultats par l'opérateur, et ainsi présenter un frein à l'utilisation et à la diffusion d'IRIP.

Dans un premier temps, il est important de rappeler que les 3 cartes obtenues en sortie d'IRIP fournissent toutes des informations différentes, et qu'elles ne peuvent pas se substituer les unes aux autres. Ainsi, afin d'appréhender la problématique du ruissellement dans sa globalité sur un territoire donné, il est indispensable d'étudier successivement (*Production* → *Transfert* → *Accumulation*) ces trois cartes. Afin de synthétiser certaines informations produites par la méthode IRIP, et ainsi de simplifier leur lecture, il pourrait toutefois s'avérer intéressant de réaliser un simple croisement entre :

- Les niveaux de sensibilité élevés au **transfert** du ruissellement
- Les niveaux de sensibilité élevés à l'**accumulation** du ruissellement

La carte de synthèse obtenue permettrait ainsi de localiser les *secteurs les plus critiques* à l'échelle du bassin versant, en combinant à la fois une concentration des écoulements (et donc potentiellement une hauteur d'eau élevée) et des vitesses d'écoulement importantes (liées notamment au rôle du facteur pente dans la carte d'aptitude au **transfert**).

D'autres possibilités de représentation cartographique des résultats d'IRIP, bien que plus compliquées à mettre en place, peuvent aussi être envisageables. En particulier, deux axes de travail peuvent s'avérer très intéressants :

- D'un point de vue aménagement du territoire :

Pour un aménageur du territoire (de type communauté d'agglomération, gestionnaire de bassin versant, Mairie, SNCF,...), l'un des intérêts de la méthode IRIP est de disposer d'un moyen de localiser les zones de Production/Transfert/Accumulation du ruissellement à l'amont d'un enjeu donné (qu'il soit déjà existant ou encore en phase de projet). Dans ce sens, il pourrait être utile de disposer d'un module de post-traitement permettant, à partir d'un enjeu géo-localisé (point, surface, ou ligne), de sélectionner l'ensemble des surfaces de Production/Transfert/Accumulation situées à l'amont de cet enjeu et susceptibles d'avoir un impact dessus en termes de ruissellement.

A noter qu'actuellement, il reste bien sûr possible de relancer la méthode IRIP uniquement sur le sous bassin versant amont à l'enjeu souhaité, mais on perd alors la vision globale du bassin versant (pourtant a priori utile à un gestionnaire de bassin versant).

▪ *D'un point de vue gestion opérationnelle de crise :*

Dans un contexte de gestion opérationnelle de crise, la problématique posée n'est pas la même que celle d'un aménageur du territoire. En effet, la question est cette fois de chercher à déterminer, à partir de la **prévision** d'un épisode de pluie intense, l'ensemble des secteurs risquant d'être touchés par le ruissellement. Dans ce sens, il pourrait être utile de disposer sous iRIP d'un module de post-traitement permettant, à partir de l'emprise géographique prévue d'un épisode pluvieux, de sélectionner l'ensemble des zones de Production/Transfert/Accumulation du ruissellement susceptibles d'être activées par l'épisode à venir.

Ce type d'informations, croisées avec des enjeux locaux (voiries, zones urbaines,...) pourrait par exemple s'avérer utile au positionnement de services d'interventions et de secours, à l'évacuation préventive d'habitations, ou encore à la fermeture de certains axes de transport (routiers ou ferroviaires). A ce titre, les résultats ayant été obtenus sur le bassin versant de la Lézarde par comparaison de la carte d'aptitude à l'accumulation du ruissellement aux coupures de routes observées lors d'un épisode pluvieux donné apparaissent très encourageants.

## **Conclusion**

L'application de la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde, reconnu pour l'importance de ses inondations par ruissellement, a permis de disposer d'un certain nombre de données terrain déjà existantes. Les différentes comparaisons effectuées entre ces données et les résultats obtenus par IRIP sont très encourageants, et ont permis d'avancer dans l'évaluation de la méthode en mettant en évidence la diversité des utilisations possibles de cette dernière. En particulier, il semble important de souligner les potentialités d'application d'IRIP dans un contexte d'aménagement du territoire (implantation d'ouvrages de régulation des eaux pluviales, voire les dimensionner) ou de gestion opérationnelle de crise (prévision des zones touchées par le ruissellement, application aux coupures de voiries).

De manière plus générale, il apparaît que la méthode IRIP permet d'appréhender efficacement le fonctionnement global du ruissellement intense à l'échelle d'un bassin versant, et que les informations apportées présentent un intérêt notable pour des gestionnaires tels que le SMBV Pointe de Caux ou la CODAH. L'application de la méthode sur d'autres bassins versants, sur lesquels la dynamique du ruissellement est moins bien connue, pourrait donc a priori permettre une meilleure compréhension des processus locaux à l'origine des inondations par ruissellement intense des pluies.

---

*Annexes au rapport*

---

**Annexe 1 : Rappel des indicateurs utilisés par la méthode IRIP pour obtenir les cartes d'aptitude au ruissellement**

| Carte d'aptitude au ruissellement                      | Indicateurs utilisés                               | Valeurs de l'indicateur                                             |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Production</b><br><i>ruissellproduction.map</i>     | <i>rsoilpermeab.map</i>                            | 0 : sol perméable                                                   |
|                                                        |                                                    | 1 : sol imperméable                                                 |
|                                                        | <i>rsoilerodibility.map</i>                        | 0 : sol non érodible                                                |
|                                                        |                                                    | 1 : sol érodible                                                    |
|                                                        | <i>rsoilepais.map</i>                              | 0 : sol profond                                                     |
|                                                        |                                                    | 1 : sol peu profond                                                 |
|                                                        | <i>rlanduse.map</i>                                | 0 : occupation du sol infiltrante                                   |
|                                                        |                                                    | 1 : occupation du sol imperméabilisante                             |
|                                                        | <i>rslope.map</i> <u>et</u> <i>rindicetopo.map</i> | 0 : pente <u>et</u> indice topographique faible                     |
|                                                        |                                                    | 1 : pente <u>ou</u> indice topographique fort                       |
| <b>Transfert</b><br><i>ruisselltransfer.map</i>        | <i>upstreamproductionindic.map</i>                 | 0 : production amont < seuil                                        |
|                                                        |                                                    | 1 : production amont ≥ seuil                                        |
|                                                        | <i>transferbreakslope.map</i>                      | 0 : ruptures de pentes fortes → faibles ( <i>concaves</i> )         |
|                                                        |                                                    | 1 : ruptures de pentes faibles → fortes ( <i>convexes</i> )         |
|                                                        | <i>transferaxesindic.map</i>                       | 0 : pas d'axes de transfert préférentiels                           |
|                                                        |                                                    | 1 : axes de transfert préférentiels                                 |
|                                                        | <i>rslope.map</i>                                  | 0 : pentes faibles                                                  |
|                                                        |                                                    | 1 : pentes fortes                                                   |
|                                                        | <i>rcompacity.map</i>                              | 0 : indice de forme (Horton) < 1                                    |
|                                                        |                                                    | 1 : indice de forme (Horton) ≥ 1                                    |
| <b>Accumulation</b><br><i>ruissellaccumulation.map</i> | <i>accumcompacity.map</i>                          | 0 : Flowaccumulation < seuil <u>et</u> indice de forme (Horton) < 1 |
|                                                        |                                                    | 1 : Flowaccumulation ≥ seuil <u>ou</u> indice de forme (Horton) ≥ 1 |
|                                                        | <i>upstreamproductionindic.map</i>                 | 0 : production amont < seuil                                        |
|                                                        |                                                    | 1 : production amont ≥ seuil                                        |
|                                                        | <i>rlwslope.map</i>                                | 0 : pentes fortes                                                   |
|                                                        |                                                    | 1 : pentes faibles                                                  |
|                                                        | <i>rindicetopo.map</i>                             | 0 : indice topographique < seuil                                    |
|                                                        |                                                    | 1 : indice topographique ≥ seuil                                    |
|                                                        | <i>accumulbreakslope.map</i>                       | 0 : ruptures de pentes faibles → fortes ( <i>convexes</i> )         |
|                                                        |                                                    | 1 : ruptures de pentes fortes → faibles ( <i>concaves</i> )         |

## **Annexe 2 : Script Python permettant d'obtenir les surfaces de production amont à chaque ouvrage sur le Bassin Versant de la Lézarde**

```

1  #!/usr/bin/env python
2
3  # encoding: utf-8
4
5
6
7  import sys, time
8
9  import grass.script as g
10
11  ## On renseigne pour chaque ouvrage son identifiant / sa coordonnée X / sa coordonnée Y
12  ##
13  ID_Numerique=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28
,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,
58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,
87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100,101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,
112,113,114,115,116,117,118,119,120,121,122,123,124,125,126,127,128,129,130,131,132,133,
134,135,136,137,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147,148,149,150,151,152,153,154,155,
156,157,158,159,160,161,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175,176]
X_Coord_L93=["503300.720089247", "499151.909430338", "499730.520112604", "500104.785686729"
, "500507.440178589", "494253.694000373", "493963.955273512", "494840.872355306",
"495501.880157273", "500034.030389755", "500257.000199901", "500183.332319802",
"500237.129878077", "500060.710970485", "498776.487889172", "500255.709453697",
"507279.500558297", "506908.080133919", "507032.100088226", "502352.360244574",
"503911.60044662", "503130.434760815", "502583.265574026", "506676.599329834",
"506621.999999905", "505354.560021219", "506599.820177569", "505830.040425303",
"505003.999799904", "504554.270591799", "492785.680580626", "493379.740760334",
"492181.960291283", "495460.349409023", "495333.051060848", "495256.130278074",
"495160.540266906", "495529.922299462", "500004.110323769", "499805.096737866",
"500358.941853765", "500279.401586757", "500659.520512601", "507838.410188737",
"507802.229966402", "499177.369163333", "498932.368446547", "498184.965158428",
"498731.129878075", "498886.351842596", "499155.816627209", "498978.139196834",
"498100.399553184", "497627.638638437", "497915.999999901", "496254.851284204",
"495655.926566601", "497353.281944128", "498032.21953085", "501861.930301436",
"502073.780268955", "502238.965509065", "495111.680780631", "494914.719889243",
"494916.23538417", "494683.37068012", "494979.955073514", "494911.0001999",
"493991.440178586", "494028.609965373", "494131.019954205", "494431.302073749",
"489160.278593766", "501533.640155231", "501177.950055741", "500354.873105924",
"500358.113507968", "500359.000199902", "495878.13716325", "495564.885775047",
"494735.980245593", "496804.013419644", "496933.570056761", "497440.005217674",
"498708.651307565", "498206.980245594", "497363.860802966", "498264.211528879",
"495883.749362308", "496687.0406253", "498084.84064866", "494302.17312152",
"494882.275609568", "498454.899194793", "498333.741877121", "499186.860602969",
"499715.641988812", "500028.030389756", "499274.160267931", "493279.51899581",
"491279.487513857", "493072.490122745", "494363.140513622", "492210.010635444",
"490550.90329461", "490254.679263839", "490928.524213584", "491979.027956629",
"491033.874939495", "492710.121197855", "490358.040825296", "497130.249520703",
"499787.311017204", "499007.470568442", "498227.087019094", "497832.649473987",
"497923.299864864", "498687.950055741", "503604.030389756", "503231.634537459",
"504480.13919684", "503233.434960815", "505682.228649616", "506281.319619176",
"506132.18002224", "505928.959574505", "506228.420424282", "495528.198459751",
"497102.047135174", "497379.799306467", "497011.938328096", "497038.871489387",
"501406.399553187", "503125.462905655", "501608.360244573", "498953.804124243",
"497040.205911108", "498136.000199901", "500586.750079098", "500433.440378587",
"499180.530548147", "500428.099888223", "499769.490322747", "500455.899194794",

```

```

"507319.999799905","507705.13007808","501554.369363332","501114.237217754",
"499701.410989498","499916.715988262","499987.780668954","503105.990881146",
"503136.089235449","506884.007792821","495982.001232381","489705.311144056",
"493480.383097344","492952.616308512","492825.581459278","492559.712433401",
"493485.384873987","493258.543845591","494529.416509534","496557.906842053",
"494309.371315527","497779.432437421","491833.708979604","491427.678721722",
"490867.956677605","490782.581999897","490131.193190771","489904.51615682",
"500209.31705785","498678.788896393","502057.437642598","498632.563081069"]
14 Y_Coord_L93=["6946310.811573","6950031.42974046","6950056.04062272","6951633.85128163",
"6951976.45562933","6945311.12987547","6946075.68447902","6948880.66062374",
"6948904.27038921","6943978.4349582","6943933.99979729","6944279.1026051",
"6943332.70053233","6943432.55029984","6943633.52461098","6944826.02476938",
"6942066.96068867","6942043.99979729","6941932.76091203","6944181.19025518",
"6945479.06057701","6944682.6453704","6943981.00521507","6943380.11943992",
"6942751.00019729","6944004.80022065","6943707.50055569","6944206.09988562",
"6944507.9999973","6944855.92006328","6942157.17981962","6942799.77003079",
"6940207.79070187","6944178.78046635","6944360.88055466","6944306.8106562",
"6944350.47948459","6943981.2694724","6939607.65058815","6939581.03930589",
"6939404.50035567","6939460.38071304","6939775.45973027","6941707.63083385",
"6941706.05105823","6939256.75939523","6939241.60956275","6938975.52162676",
"6939035.38091304","6939035.52982873","6938505.61908151","6950081.18001965",
"6950236.50987447","6951634.52051003","6950455.99979732","6939334.56913735",
"6939307.37067749","6938653.84084603","6938553.23704896","6947604.79611969",
"6948711.95248673","6948705.26517144","6949911.28082476","6950419.0249694",
"6950382.66733361","6950888.48060141","6950962.1707009","6950504.99999732",
"6949846.71988666","6950474.80002068","6940008.77544855","6939804.09466782",
"6939738.05014143","6944210.70033233","6944058.32033335","6945159.74505872",
"6945073.43495821","6945415.9997973","6946780.10900438","6948041.92508107",
"6947083.82017497","6942787.34028765","6943109.02516937","6943778.24430032",
"6941700.4576967","6942406.74525871","6942206.27970794","6942350.24430031",
"6941976.44949473","6940879.23088056","6943505.69698196","6942331.23724897",
"6942004.33618666","6940557.72028662","6941058.56225216","6948023.13959424",
"6947439.23128059","6947834.50035571","6947586.32033337","6944707.36004197",
"6944560.64777928","6944309.21542726","6944631.05014146","6942679.63995262",
"6943503.6288662","6943411.70013232","6943677.68077802","6941078.76269866",
"6943675.24470032","6943192.40733539","6941858.35387355","6945545.64015263",
"6947030.9398176","6945805.05217504","6945932.48211818","6945509.90030898",
"6946159.20292431","6945907.77246438","6943328.44929474","6943037.82129174",
"6944206.35092321","6943078.82109174","6942256.8909902","6941130.48992013",
"6941051.11983991","6940932.13007546","6940009.17981961","6951604.71988667",
"6949952.25493589","6952900.52962879","6949811.900309","6949850.98351126",
"6939807.16046531","6940752.54254081","6940504.21522724","6948585.22064505",
"6948601.42994045","6949129.00019731","6942131.64015261","6942333.86040035",
"6941006.99087852","6939857.49032012","6941157.07993129","6940425.89990896",
"6941030.99999728","6941005.87123589","6948511.27038921","6948527.96960746",
"6948404.83954073","6948835.05535925","6948931.82017498","6950257.900109",
"6939257.69166428","6941158.92334451","6938330.23408961","6939852.70675621",
"6941457.06752013","6943037.24667451","6941103.83970794","6941057.70862268",
"6941803.25321758","6942003.97161962","6941530.66174451","6943535.14360161",
"6942354.27844591","6939831.28268866","6943081.26715772","6942578.71146123",
"6943002.63724861","6943000.94039729","6943677.26956481","6942280.08567325",
"6940226.70291815","6940228.49583991","6939408.56180742","6944032.52311707"]
15
16 for i in range(len(ID_Numerique)): # On étudie successivement chaque
    ouvrage dans une boucle FOR

```

```

17 g.run_command("r.water.outlet",drainage="FlowDirection_IRIP_ReprojReclass@Travail",
basin="BV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),easting=X_Coord_L93[i],northing=Y_Coord_L93[i]
]) # On récupère le bassin versant amont à
l'ouvrage numéro i étudié
18 g.run_command("r.to.vect",input="BV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail",output=
"VectorBV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),feature="area")
# On vectorise
l'ensemble du BV amont à l'ouvrage étudié
19 g.run_command("v.overlay",ainput="ProductionZones_Vector@Travail",binput=
"VectorBV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail",output="ProductionZones_Ouvrage_"+
str(ID_Numerique[i]),atype="area",operator="and") # On sélectionne uniquement les
surfaces PRODUCTRICES (issues de la carte d'aptitude à la production, supérieur à un
seuil donné) comprises dans le BV associé à l'ouvrage étudié
20 g.run_command("v.to.rast",input="ProductionZones_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+
"@Travail",output="RastProductionZones_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),type="area",use=
"val",value="1") # On transforme en raster les surfaces
productrices ainsi obtenues pour l'ouvrage étudié
21
22 AreaInfos=g.read_command("r.stats",input="RastProductionZones_Ouvrage_"+str(
ID_Numerique[i])+"@Travail",flags="a"+"n") # On crée une variable AreaInfos qui
contient les statistiques de base du raster correspondant aux ZONES DE PRODUCTION du
sous BV en amont de l'ouvrage étudié (ces statistiques contiennent notamment la
SURFACE TOTALE PRODUCTRICE du sous BV en amont de l'ouvrage étudié)
23 if len(AreaInfos)==0:

    # On traite un premier cas de figure, où AreaInfos ne contiendrait pas
d'informations (ce qui signifie que le raster associé contient zéros pixels, autrement
dit qu'il n'existe pas de surfaces productrices à l'amont de l'ouvrage étudié)
24 Area=float(0)

    # On crée une variable Area, qui prend la valeur 0 (puisque'il n'y
a pas de surface productrice à l'amont dans ce cas de figure)
25 else:

    # On traite tous les autres cas de figure, où AreaInfos
contient bien des informations de surface
26 Area=float(AreaInfos[2:])

    # On crée une variable Area qui récupère uniquement l'information de surface
productrice contenue dans la variable AreaInfos
27
28 g.run_command("v.db.update",map="Ouvrages_replace@Travail",value=Area,column=
"Prod_upBV",where="ID_OUVRAGE="+str(ID_Numerique[i])) # On met à jour la table
attributaire de la couche "Ouvrage_replace@Travail" en y renseignant la surface
PRODUCTRICE à l'amont de l'ouvrage étudié

```

### **Annexe 3 : Script Python permettant d'obtenir les surfaces spécifiques amont à chaque ouvrage (prise en compte des ouvrages en série)**

```

1  #!/usr/bin/env python
2
3  # encoding: utf-8
4  import sys, time
5
6  import grass.script as g
7
8
9
10
11  ## On renseigne pour chaque ouvrage son identifiant / sa coordonnée X / sa coordonnée Y
12  ##
13  ID_Numerique=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28
,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,
58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,
87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100,101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,
112,113,114,115,116,117,118,119,120,121,122,123,124,125,126,127,128,129,130,131,132,133,
134,135,136,137,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147,148,149,150,151,152,153,154,155,
156,157,158,159,160,161,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175,176]
X_Coord_L93=["503300.720089247", "499151.909430338", "499730.520112604", "500104.785686729",
, "500507.440178589", "494253.694000373", "493963.955273512", "494840.872355306",
, "495501.880157273", "500034.030389755", "500257.000199901", "500183.332319802",
, "500237.129878077", "500060.710970485", "498776.487889172", "500255.709453697",
, "507279.500558297", "506908.080133919", "507032.100088226", "502352.360244574",
, "503911.60044662", "503130.434760815", "502583.265574026", "506676.599329834",
, "506621.999999905", "505354.560021219", "506599.820177569", "505830.040425303",
, "505003.999799904", "504554.270591799", "492785.680580626", "493379.740760334",
, "492181.960291283", "495460.349409023", "495333.051060848", "495256.130278074",
, "495160.540266906", "495529.922299462", "500004.110323769", "499805.096737866",
, "500358.941853765", "500279.401586757", "500659.520512601", "507838.410188737",
, "507802.229966402", "499177.369163333", "498932.368446547", "498184.965158428",
, "498731.129878075", "498886.351842596", "499155.816627209", "498978.139196834",
, "498100.399553184", "497627.638638437", "497915.999999901", "496254.851284204",
, "495655.926566601", "497353.281944128", "498032.21953085", "501861.930301436",
, "502073.780268955", "502238.965509065", "495111.680780631", "494914.719889243",
, "494916.23538417", "494683.37068012", "494979.955073514", "494911.0001999",
, "493991.440178586", "494028.609965373", "494131.019954205", "494431.302073749",
, "489160.278593766", "501533.640155231", "501177.950055741", "500354.873105924",
, "500358.113507968", "500359.000199902", "495878.13716325", "495564.885775047",
, "494735.980245593", "496804.013419644", "496933.570056761", "497440.005217674",
, "498708.651307565", "498206.980245594", "497363.860802966", "498264.211528879",
, "495883.749362308", "496687.0406253", "498084.84064866", "494302.17312152",
, "494882.275609568", "498454.899194793", "498333.741877121", "499186.860602969",
, "499715.641988812", "500028.030389756", "499274.160267931", "493279.51899581",
, "491279.487513857", "493072.490122745", "494363.140513622", "492210.010635444",
, "490550.90329461", "490254.679263839", "490928.524213584", "491979.027956629",
, "491033.874939495", "492710.121197855", "490358.040825296", "497130.249520703",
, "499787.311017204", "499007.470568442", "498227.087019094", "497832.649473987",
, "497923.299864864", "498687.950055741", "503604.030389756", "503231.634537459",
, "504480.13919684", "503233.434960815", "505682.228649616", "506281.319619176",
, "506132.18002224", "505928.959574505", "506228.420424282", "495528.198459751",
, "497102.047135174", "497379.799306467", "497011.938328096", "497038.871489387",
, "501406.399553187", "503125.462905655", "501608.360244573", "498953.804124243",
, "497040.205911108", "498136.000199901", "500586.750079098", "500433.440378587",
, "499180.530548147", "500428.099888223", "499769.490322747", "500455.899194794",

```

```

"507319.999799905", "507705.13007808", "501554.369363332", "501114.237217754",
"499701.410989498", "499916.715988262", "499987.780668954", "503105.990881146",
"503136.089235449", "506884.007792821", "495982.001232381", "489705.311144056",
"493480.383097344", "492952.616308512", "492825.581459278", "492559.712433401",
"493485.384873987", "493258.543845591", "494529.416509534", "496557.906842053",
"494309.371315527", "497779.432437421", "491833.708979604", "491427.678721722",
"490867.956677605", "490782.581999897", "490131.193190771", "489904.51615682",
"500209.31705785", "498678.788896393", "502057.437642598", "498632.563081069"]
14 Y_Coord_L93=["6946310.811573", "6950031.42974046", "6950056.04062272", "6951633.85128163",
"6951976.45562933", "6945311.12987547", "6946075.68447902", "6948880.66062374",
"6948904.27038921", "6943978.4349582", "6943933.99979729", "6944279.1026051",
"6943332.70053233", "6943432.55029984", "6943633.52461098", "6944826.02476938",
"6942066.96068867", "6942043.99979729", "6941932.76091203", "6944181.19025518",
"6945479.06057701", "6944682.6453704", "6943981.00521507", "6943380.11943992",
"6942751.00019729", "6944004.80022065", "6943707.50055569", "6944206.09988562",
"6944507.9999973", "6944855.92006328", "6942157.17981962", "6942799.77003079",
"6940207.79070187", "6944178.78046635", "6944360.88055466", "6944306.8106562",
"6944350.47948459", "6943981.2694724", "6939607.65058815", "6939581.03930589",
"6939404.50035567", "6939460.38071304", "6939775.45973027", "6941707.63083385",
"6941706.05105823", "6939256.75939523", "6939241.60956275", "6938975.52162676",
"6939035.38091304", "6939035.52982873", "6938505.61908151", "6950081.18001965",
"6950236.50987447", "6951634.52051003", "6950455.99979732", "6939334.56913735",
"6939307.37067749", "6938653.84084603", "6938553.23704896", "6947604.79611969",
"6948711.95248673", "6948705.26517144", "6949911.28082476", "6950419.0249694",
"6950382.66733361", "6950888.48060141", "6950962.1707009", "6950504.99999732",
"6949846.71988666", "6950474.80002068", "6940008.77544855", "6939804.09466782",
"6939738.05014143", "6944210.70033233", "6944058.32033335", "6945159.74505872",
"6945073.43495821", "6945415.9997973", "6946780.10900438", "6948041.92508107",
"6947083.82017497", "6942787.34028765", "6943109.02516937", "6943778.24430032",
"6941700.4576967", "6942406.74525871", "6942206.27970794", "6942350.24430031",
"6941976.44949473", "6940879.23088056", "6943505.69698196", "6942331.23724897",
"6942004.33618666", "6940557.72028662", "6941058.56225216", "6948023.13959424",
"6947439.23128059", "6947834.50035571", "6947586.32033337", "6944707.36004197",
"6944560.64777928", "6944309.21542726", "6944631.05014146", "6942679.63995262",
"6943503.6288662", "6943411.70013232", "6943677.68077802", "6941078.76269866",
"6943675.24470032", "6943192.40733539", "6941858.35387355", "6945545.64015263",
"6947030.9398176", "6945805.05217504", "6945932.48211818", "6945509.90030898",
"6946159.20292431", "6945907.77246438", "6943328.44929474", "6943037.82129174",
"6944206.35092321", "6943078.82109174", "6942256.8909902", "6941130.48992013",
"6941051.11983991", "6940932.13007546", "6940009.17981961", "6951604.71988667",
"6949952.25493589", "6952900.52962879", "6949811.900309", "6949850.98351126",
"6939807.16046531", "6940752.54254081", "6940504.21522724", "6948585.22064505",
"6948601.42994045", "6949129.00019731", "6942131.64015261", "6942333.86040035",
"6941006.99087852", "6939857.49032012", "6941157.07993129", "6940425.89990896",
"6941030.99999728", "6941005.87123589", "6948511.27038921", "6948527.96960746",
"6948404.83954073", "6948835.05535925", "6948931.82017498", "6950257.900109",
"6939257.69166428", "6941158.92334451", "6938330.23408961", "6939852.70675621",
"6941457.06752013", "6943037.24667451", "6941103.83970794", "6941057.70862268",
"6941803.25321758", "6942003.97161962", "6941530.66174451", "6943535.14360161",
"6942354.27844591", "6939831.28268866", "6943081.26715772", "6942578.71146123",
"6943002.63724861", "6943000.94039729", "6943677.26956481", "6942280.08567325",
"6940226.70291815", "6940228.49583991", "6939408.56180742", "6944032.52311707"]
15
16 for i in range(len(ID_Numerique)): # On étudie successivementn chaque ouvrage dans
une boucle FOR

```

```

17 g.run_command("r.water.outlet",drainage="FlowDirection_IRIP_ReprojReclass@Travail",
basin="BV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),easting=X_Coord_L93[i],northing=Y_Coord_L93[i
]) # On récupère le bassin versant amont à l'ouvrage numéro i
18 g.run_command("r.patch",input="BV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+
"@Travail,BV_Lezarde_patch0_reproj@Travail",output="BV_Ouvrage_Patch0_"+str(
ID_Numerique[i])) # On remplit les valeurs NULL avec des 0(zéro) pour
pouvoir utiliser la calculatrice raster par la suite (sinon, la calculatrice raster
laissera des données NULL)
19
20 if i==0: # On traite un
premier cas, différent des autres, où i=0 (ce qui correspond au premier ouvrage de la
liste)
21 SommeBVpatch0="BV_Ouvrage_Patch0_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail" # On définit la
variable SommeBVpatch0 qu'on initialise
22
23 else: #
La variable SommeBVpatch0 ayant été initialisée, on traite maintenant tous les autres
cas, où i>0
24 SommeBVpatch0=SommeBVpatch0+"BV_Ouvrage_Patch0_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail" #
On remplit itérativement la somme à réaliser plus tard (ligne suivante) avec la
calculatrice raster, afin de sommer TOUS les sous bassins versants liés aux
différents ouvrages
25
26 g.run_command("r.mapcalc",Somme_sousBV=SommeBVpatch0) #
On somme TOUS les sous bassins versants calculés précédemment et on stocke le résultat
dans un nouveau raster Somme_sousBV. Un pixel lié au BV d'un unique ouvrage prendra la
valeur 1, un pixel lié aux BV de 2 ouvrages prend la valeur 2, si 3 ouvrages valeur 3,
etc...
27
28 for i in range(len(ID_Numerique)):
# On étudie
successivement chaque ouvrage de régulation
29 g.run_command("r.mask",input="BV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail",overwrite=
"True") # On crée un MASK correspondant au BV de l'ouvrage étudié. la suite des
traitements de cette boucle FOR est donc réalisée uniquement sur les pixels
constituant le BV de l'ouvrage
30
31 MapName="Somme_sousBV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])
# On crée une variable MapName qui contient
le nom de la carte raster que l'on souhaite créer avec la calculatrice raster (ligne
suivante)
32 g.mapcalc("$output=Somme_sousBV@Travail",output=MapName)
# On utilise la variable MapName qui vient
d'être créée pour nommer la carte raster en sortie de la calculatrice raster. Grace au
calque, le calcul raster réalisé permet de découper le raster Somme_sousBV avec
l'emprise du bassin versant de l'ouvrage étudié
33 Min=int(g.raster_info("Somme_sousBV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]))["min"])
# On récupère la valeur minimale du raster. Dans le sous BV de
l'ouvrage, l'ensemble des pixels qui prennent cette valeur Min est liée UNIQUEMENT à
l'ouvrage étudié
34
35 MapName_2="BV_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])
# On crée une
variable MapName_2 qui contient le nom de la carte que l'on souhaite créer avec la
calculatrice raster (ligne suivante)

```

```

36 g.mapcalc("$output=if(Somme_sousBV_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail==" +str(Min
)+",1,null())",output=MapName_2) # On récupère le sous BV lié à l'ouvrage, en
supprimant les pixels appartenant aussi à un autre ouvrage en série
37
38 AreaInfos=g.read_command("r.stats",input="BV_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+
"@Travail",flags="a"+"n") # On crée une variable AreaInfos, qui contient les
statistiques de base du raster correspondant au sous BV lié uniquement à l'ouvrage
étudié (ces statistiques contiennent notamment la SURFACE totale du sous BV lié
uniquement à cet ouvrage)
39 if len(AreaInfos)==0:

    # On traite un premier cas de figure, où AreaInfos ne contiendrait pas
d'informations (ce qui signifie que le raster associé contient zéros pixels, autrement
dit que le sous BV en question est nul)
40     Area=float(0)
41 else:

    # On traite tous les autres cas de figure, où AreaInfos contient
bien des informations de surface
42     Area=float(AreaInfos[2:])

    # On crée une variable Area qui récupère uniquement l'information de surface totale
contenue dans la variable AreaInfos
43
44 g.run_command("v.db.update",map="Ouvrages_replace@Travail",value=Area,column=
"SURF_Serie",where="ID_OUVRAGE="+str(ID_Numerique[i])) # On met à jour la table
attributaire de la couche "Ouvrage_replace@Travail" en y renseignant la surface totale
du sous BV liée uniquement à l'ouvrage étudié
45
46 ## La suite de la boucle FOR permet de récupérer la surface totale DE PRODUCTION liée à
chaque ouvrage ##
47 g.run_command("r.to.vect",input="BV_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail",
output="VectorBV_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),feature="area")

    # On vectorise
le sous BV associé uniquement à l'ouvrage étudié
48 g.run_command("v.overlay",ainput="ProductionZones_Vector@Travail",binput=
"VectorBV_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+"@Travail",output=
"ProductionZones_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),atype="area",operator="and") #
On sélectionne uniquement les surfaces PRODUCTRICES (issues de la carte d'aptitude à
la production, supérieur à un seuil donné) comprises dans le BV associé à l'ouvrage
étudié
49 g.run_command("v.to.rast",input="ProductionZones_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i])+
"@Travail",output="RastProductionZones_Serie_Ouvrage_"+str(ID_Numerique[i]),type="area"
,use="val",value="1") # On transforme en raster les
surfaces productrices ainsi obtenues pour l'ouvrage étudié
50
51 AreaInfos=g.read_command("r.stats",input="RastProductionZones_Serie_Ouvrage_"+str(
ID_Numerique[i])+"@Travail",flags="a"+"n") # On crée une variable AreaInfos
qui contient les statistiques de base du raster correspondant aux ZONES DE PRODUCTION
du sous BV lié uniquement à l'ouvrage étudié (ces statistiques contiennent notamment
la SURFACE totale productrice du sous BV lié uniquement à cet ouvrage)
52 if len(AreaInfos)==0:

    # On traite un premier cas de figure, où AreaInfos ne
contiendrait pas d'informations (ce qui signifie que le raster associé contient zéros

```

```

pixels, autrement dit qu'il n'existe pas de surfaces productrices dans le sous BV lié
à l'ouvrage étudié)
53     Area=float(0)

                                     # On crée une variable Area, qui prend la valeur 0
                                     (puisqu'il n'y a pas de surface productrice à l'amont dans ce cas de figure)
54     else:

                                     # On traite tous les autres cas de figure,
                                     où AreaInfos contient bien des informations de surface
55     Area=float(AreaInfos[2:])

                                     # On crée une variable Area qui récupère uniquement
                                     l'information de surface productrice contenue dans la variable AreaInfos
56
57     g.run_command("v.db.update",map="Ouvrages_replace@Travail",value=Area,column=
        "Prod_Serie",where="ID_OUVRAGE="+str(ID_Numerique[i]))    # On met à jour la table
        attributaire de la couche "Ouvrage_replace@Travail" en y renseignant la surface
        PRODUCTRICE du sous BV lié uniquement à l'ouvrage étudié
58
59     ## On supprime le MASK créé en tout début de boucle FOR, avant de passer à l'ouvrage
        suivant dans la boucle ##
60     g.run_command("g.remove",rast="MASK@Travail",flags="f")

```

### **Résumé / Conclusion**

L'application de la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde, reconnu pour l'importance de ses inondations par ruissellement, a permis de disposer d'un certain nombre de données terrain déjà existantes. Les différentes comparaisons effectuées entre ces données et les résultats obtenus par IRIP sont très encourageants, et ont permis d'avancer dans l'évaluation de la méthode en mettant en évidence la diversité des utilisations possibles de cette dernière. En particulier, il semble important de souligner les potentialités d'application d'IRIP dans un contexte d'aménagement du territoire (implantation d'ouvrages de régulation des eaux pluviales, voire les dimensionner) ou de gestion opérationnelle de crise (prévision des zones touchées par le ruissellement, application aux coupures de voiries).

De manière plus générale, il apparaît que la méthode IRIP permet d'appréhender efficacement le fonctionnement global du ruissellement intense à l'échelle d'un bassin versant, et que les informations apportées présentent un intérêt notable pour des gestionnaires tels que le SMBV Pointe de Caux ou la CODAH. L'application de la méthode sur d'autres bassins versants, sur lesquels la dynamique du ruissellement est moins bien connue, pourrait donc a priori permettre une meilleure compréhension des processus locaux à l'origine des inondations par ruissellement intense des pluies.