

Groupe d'Etude sur les Géomatériaux
et Environnements Naturels
et Anthropiques



E.A. 3795



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Bassin versant de la Vesle

Variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques du sol

BRGM/RP-56977-FR
Décembre 2008

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Recherche du BRGM 2008 08RISR18

O. MALAM ISSA, J.F. DESPRATS, X. MORVAN, O. CERDAN, J.B. DESSOGNE, A. COMBAUD

Groupe d'Etude sur les Géomatériaux
et Environnements Naturels
et Anthropiques



E.A. 3795

Vérificateur :

Nom : Y. Caballero

Date : 19 janvier 2009

Signature :

Approbateur :

Nom : H. Modaressi

Date : 20 janvier 2009

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : Erosion des sols, modélisation, transfert polluants, Champagne, bassins versants

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

O. Malam Issa, J.F. Desprats, X. Morvan, O. Cerdan, J.B. Dessogne (2008) – Bassin Versant de la Vesle - Variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques du sol. BRGM/RP-56977-FR, 29 p., 13 ill..

Synthèse

L'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques du sol constitue un préalable à toute modélisation du ruissellement ou de l'érosion, vecteurs du transfert de polluants agricoles. Les bassins versants viticoles du Champenois sont particulièrement sensibles à ce risque du fait même des techniques agricoles employées. Elle vise à étudier sur plusieurs bassins versants Champenois la variabilité spatiale des sols, et plus particulièrement la spatialisation des propriétés hydrodynamiques. Ce préalable à la modélisation du ruissellement et de l'érosion doit permettre d'évaluer le risque de transfert de polluants agricoles potentiels (pesticides, engrais) vers le réseau hydrographique pérenne.

Les travaux menés en 2008 sont ciblés sur la caractérisation hydrodynamique sur les bassins versants sélectionnés, les simulations à l'aide du modèle d'écoulement STREAM (ruissellement et érosion) devant être réalisées en 2009.

Cette étude résulte d'une collaboration entre le BRGM et l'université de Reims (laboratoire GEGENA). Il est financé pour la partie BRGM dans le cadre de la recherche scientifique (Projet RISCOTTE / Erosion des Sols – EROSPACE).

Sommaire

1. Introduction.....	7
2. Description du site	9
2.1. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT	9
2.2. MESURES IN SITU	11
3. Méthodologie	13
3.1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	13
3-2 DONNEES HYDROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES.....	13
3.3. SYNTHESE DES MESURES DE PERMEABILITE	15
3.4. SIMULATIONS DE PLUIE SUR LA VIGNE	17
3.4.1. Dispositif et protocole suivi	17
3.4.2. Premiers résultats.....	19
4. Perspectives de modélisation.....	21
4.1. PRESENTATION DE STREAM.....	21
4.1.1. Analyse et paramétrisation des processus à l'échelle de la parcelle	22
4.1.2. Intégration des processus à l'échelle du bassin versant	23
4.2. TRANSFERT DU MODELE STREAM AU CONTEXTE DU BASSIN VERSANT DE LA VESLE	24
4.3. PRE-DEFINITION DES DONNEES DE PERMEABILITE STREAM.....	24
5. Conclusion et perspectives	27

6. Bibliographie..... 29

Liste des illustrations

Illustration 1 - Le bassin versant de la Vesle.....	9
Illustration 2 : mode d'occupation du sol sur le bassin versant de la Vesle d'après Corine Land Cover.....	10
Illustration 3 - Localisation de bassins viticoles au sud du bassin versant de la Vesle (agrandissement du carré rouge de l'illustration 2)	10
Illustration 4 - Variabilité des types de sols (16 unités différentes) et localisation des prélèvements	11
Illustration 5 - Emplacement des stations hydrométriques.....	13
Illustration 6 - Chronique temporelle des débits de la Vesle	14
Illustration 7 - Emplacement des stations météorologiques	15
Illustration 8 - Mesures et classement des conductivités hydrauliques à saturation.....	16
Illustration 9 - Classification des sols en fonction de la granulométrie.....	16
Illustration 10 - Simulateur de pluie sur vigne	18
Illustration 11 - Simulations de pluie – premiers résultats	19
Illustration 12 - Principe général du modèle STREAM.....	21
Illustration 13 - Superposition des sous bassins versants sur Quickbird	25

1. Introduction

Cette étude s'inscrit dans le contexte de la contamination des eaux superficielles et souterraines. Dans son rapport sur l'état de l'environnement en France - Edition 2006, l'Institut Français de l'Environnement précise que les apports diffus d'origine agricole, nitrates et pesticides, polluent de façon significative une grande partie des cours d'eau et des nappes. De plus, les teneurs en métaux lourds dans les cours d'eau montrent que la qualité du milieu s'est améliorée sur l'ensemble du territoire depuis une trentaine d'années même si le suivi dans la plupart des cours d'eau est très insuffisant, mais cette qualité reste très moyenne : 70 % des points de mesure affichent une qualité moyenne à mauvaise (IFEN, 2006). Ces résultats montrent la nécessité d'étudier les comportements de ces polluants dans l'environnement.

L'étude du transfert de polluants du sol vers les eaux superficielles et souterraines nécessite la prise en compte de différentes composantes du cycle de l'eau, l'eau étant le principal facteur permettant le transport des polluants dans le milieu. Il est donc nécessaire d'étudier en même temps que le lessivage des polluants, les mécanismes du ruissellement, de l'érosion diffuse (Andrieux et al., 1998 ; Lecomte, 1999 ; Lecomte et al., 2001), l'infiltration de l'eau dans le sol (Doussset et al., 1995 ; Morvan, 2004) ainsi que les mécanismes de recharge et de décharge des nappes souterraines (Baran, 1996 ; Garmouma, 1996 ; Lecomte et al., 2001 ; Morvan et al., 2006).

Des expérimentations allant de l'échelle de la particule à celle de la parcelle en passant par l'échelle des agrégats ont montré les relations entre la formation des croûtes et les mécanismes du ruissellement, de l'érosion diffuse et de l'infiltration de l'eau dans le sol (Malam Issa et al., 2004). Nous aborderons ici l'influence d'autres paramètres à l'origine de la variabilité des propriétés hydrodynamiques du sol sur une échelle d'étude plus vaste, le bassin versant. Les résultats qui sont présentés sont issus de l'étude des sols du bassin versant de la Vesle (Marne, 51). Les différents substrats pédologiques de ce bassin versant sont connus (Dutil et Ballif, 1968 ; Durand, 1979 ; Ballif et al., 1995) et cartographiés, dans le secteur du vignoble de Champagne. Cependant la caractérisation des propriétés hydrodynamiques et les mécanismes du transfert des polluants dans ces sols ont fait l'objet de très peu d'études (Ballif, 1999 ; Besnard, 1999 ; Besnard et al., 2001). La caractérisation de la variabilité des propriétés hydrodynamiques (Dessogne et al., 2007) et le transfert des éléments traces métalliques (Marin et al., 2007) dans le bassin versant de la Vesle seront donc les deux thèmes de recherche de cette étude.

Ces deux thèmes de recherche s'inscrivent dans une démarche de modélisation spatialisée du ruissellement et du transfert des éléments traces métalliques à l'échelle du bassin versant. La mise en œuvre de cette démarche pour étudier l'érosion et le ruissellement est proposée en collaboration entre le BRGM et l'équipe GEGENA de l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Pour cela, une validation dans le contexte champenois du modèle de transfert par le ruissellement et l'érosion hydrique STREAM (Sealing and Transfert by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Managment) sera réalisée. STREAM est un modèle spatialisé de type système expert, développé à

l'INRA d'Orléans (Lecomte, 1999 ; Cerdan et al., 2001). Les principales caractéristiques de ce modèle, qui fonctionne à l'échelle du bassin versant et de l'événement pluvieux, sont la prise en compte des états de surface (typologie des croûtes, couvert végétal et rugosité) dans les processus d'infiltration/ruissellement et celle des motifs agraires dans les processus de circulation de l'eau de ruissellement.

Les principales difficultés et questions scientifiques de l'adaptation de STREAM au bassin versant de la Vesle sont relatives à la disponibilité des données et l'établissement de règles de décisions adéquates pour estimer le partage entre le ruissellement et l'infiltration lors des événements pluvieux. Les phénomènes de battance n'étant pas le facteur dominant de la réponse érosive des sols du bassin de la Vesle, nous devons établir des règles de décision spécifiques à notre contexte d'étude. Celles-ci se baseront sur les mesures de capacité d'infiltration et la recherche de déterminants pertinents de la variabilité spatiale de l'infiltrabilité des sols. Dans un premier temps, des mesures d'infiltration sur le terrain sous simulations de pluies seront nécessaires au calage de ces règles de décision. Puis, dans un deuxième temps, pour extrapoler ces résultats à l'ensemble du bassin versant de la Vesle, il sera nécessaire (i) de développer des fonctions de pédo-transfert sur la base des mesures de paramètres physiques (ii) d'intégrer la variation des états de surface et (iii) de prendre en compte les pratiques culturales. Les simulations de pluies seront également utilisées pour estimer la quantité de terre érodée dans les différentes classes hydrologiques et déterminer les pluies d'imbibition.

L'ensemble de ces résultats permettra une définition et une hiérarchisation du terrain en unités hydrologiques homogènes sur lesquelles se basera la modélisation du flux d'eau et de particules érodées.

2. Description du site

Les modèles spatialisés représentent des outils privilégiés pour la compréhension des pollutions diffuses liées au ruissellement (Lecomte, 1999 ; León et al., 2001). Cependant leur utilisation nécessite la connaissance des propriétés hydriques et hydrodynamiques des sols qui, le plus souvent, sont obtenues à partir de mesures ponctuelles (Léonard et Andrieux, 1998 ; King et al., 2003). Il se pose alors le problème de la spatialisation des données ponctuelles qui doit tenir compte de leur variabilité.

La démarche adoptée dans le cadre de nos travaux dans le bassin versant de la Vesle comprend la mesure in situ des capacités d'infiltration sur différentes unités de sols et la recherche des déterminants de la variabilité de cette caractéristique des sols (Dessogne et al., 2007). Cette démarche se rapproche de la méthode de spatialisation des données hydriques dite « méthode hybride » qui combine l'utilisation de la carte pédologique et les mesures sur des sites ponctuels (Lagacherie et Voltz, 2000).

2.1. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant de la Vesle contient la ville de Reims (Illustration 1). Afin de ne pas prendre en compte la partie urbanisée que représente l'agglomération rémoise, le cadre de cette étude a été limité à la partie amont du bassin versant de la Vesle à partir de la ville de Reims, c'est-à-dire la partie est du bassin versant.

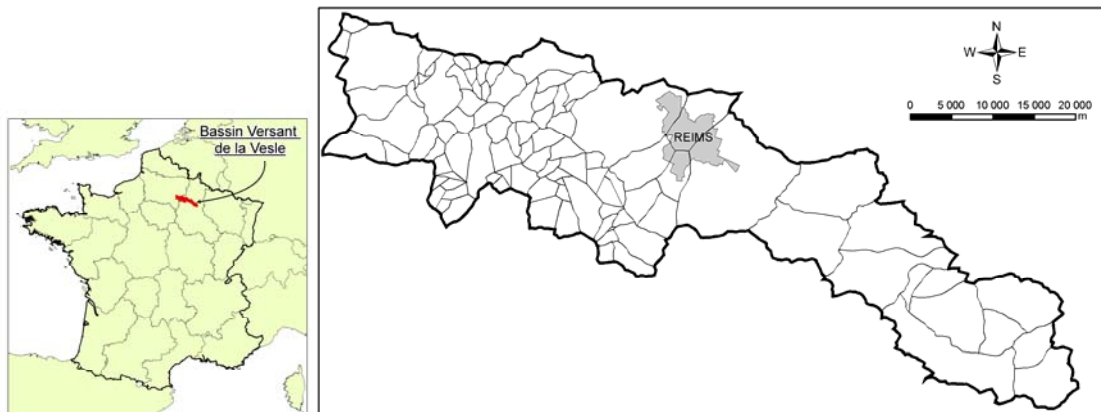


Illustration 1 - Le bassin versant de la Vesle.

Ce bassin versant est essentiellement constitué de terres arables (marron), le vignoble (magenta) étant localisé et concentré sur les coteaux (Illustration 2). Le vignoble devient dominant sur des sous bassins versants qui constitueront des unités élémentaires pour la modélisation. (Illustration 3).

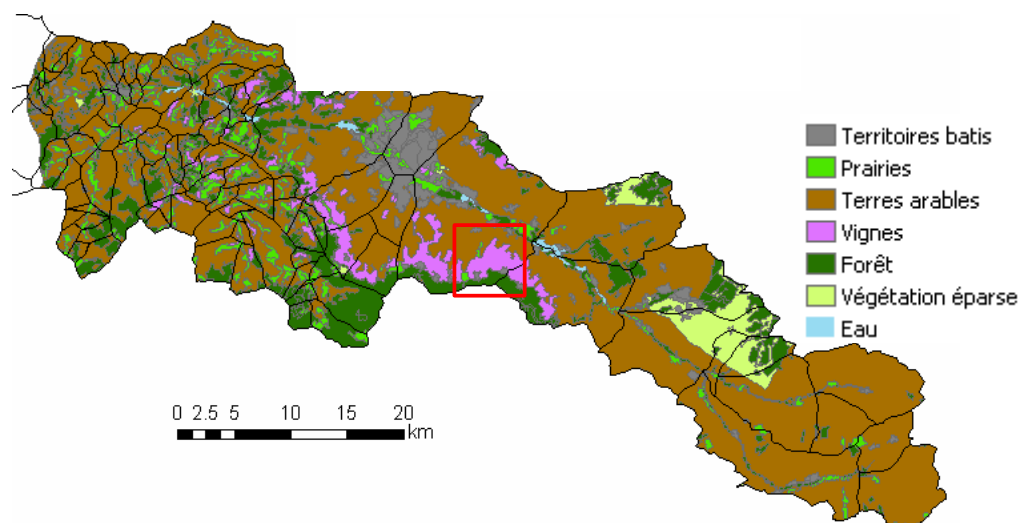


Illustration 2 - mode d'occupation du sol sur le bassin versant de la Vesle d'après Corine Land Cover

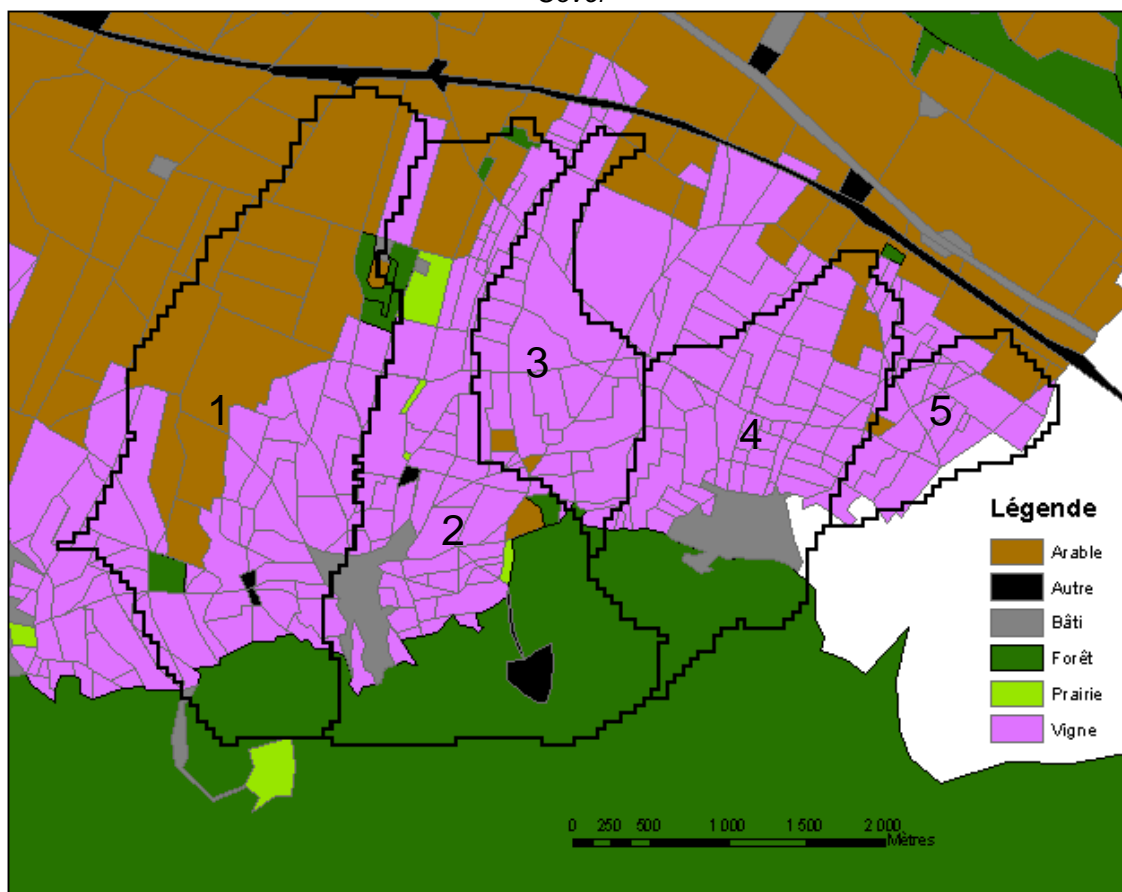


Illustration 3 - Localisation de bassins viticoles au sud du bassin versant de la Vesle (agrandissement du carré rouge de l'illustration 2)

Les 5 sous bassins versants identifiés sont situés dans la partie sud du bassin versant de la Vesle sur la Montagne de Reims. Ils ont une surface comprise entre 98 et 516 hectares et sont représentatifs d'unités viticoles, les vignes représentant de 43% (BV1) à 96% (BV3) de leur surface.

2.2. MESURES IN SITU

Nous nous sommes basés sur la carte de répartition des unités de sol dans le secteur viticole de la vallée de la Vesle (carte issue du travail de synthèse réalisé par la Chambre d'Agriculture de la Marne et le Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne, CIVC ; Illustration 4). Cette carte montre une grande diversité de sols (16 unités de sols) dont une grande majorité (plus de 75 %) appartient à un type génétique identique, la craie. Les mesures de la capacité d'infiltration sur les différentes unités de sols ont été réalisées à l'aide d'un infiltromètre de Guelph.

Le perméamètre de Guelph est fondé sur le principe de la mesure de l'écoulement de l'eau dans un milieu homogène et saturé. Il est constitué d'un dispositif de Mariotte assurant un niveau constant dans le trou cylindrique et permettant le suivi des flux infiltrés. Cet appareil permet de mesurer la conductivité hydraulique à saturation.

Ces mesures ont été complétées par la collecte de données sur plusieurs paramètres liés aux propriétés hydrodynamiques des sols (texture, densité apparente, résistance à la pénétration, pratiques culturales, état de la surface du sol). En tout, 120 mesures ont été réalisées sur 26 parcelles.

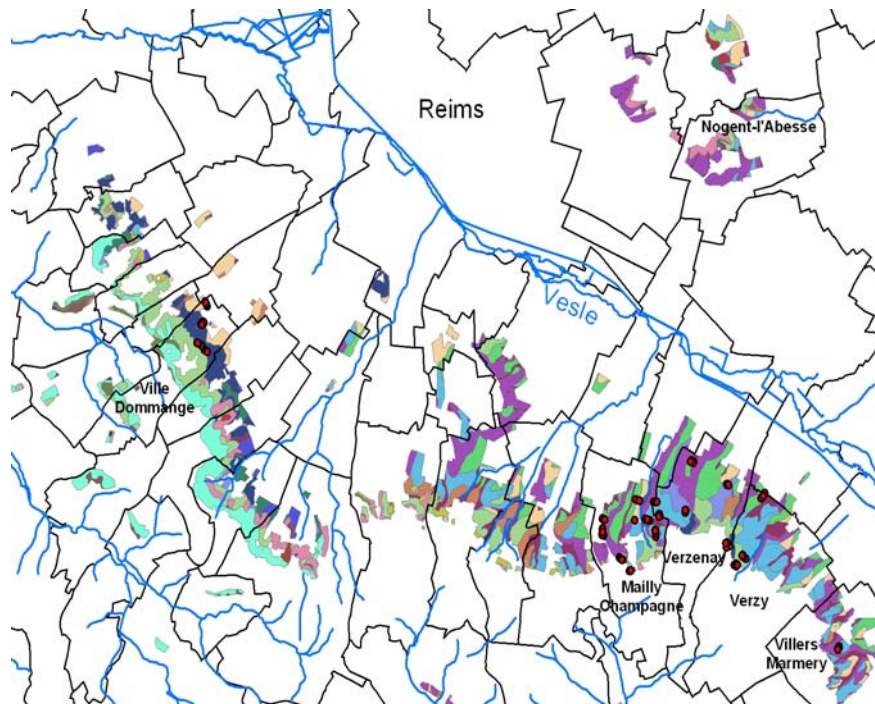


Illustration 4 - Variabilité des types de sols (16 unités différentes) et localisation des prélèvements

3. Méthodologie

3.1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Les travaux de Ballif (1999) sur le ruissellement et l'érosion en Champagne constituent une base solide pour appréhender le comportement des sols de vignoble par rapport au ruissellement.

Ces données sont complétées par l'expérience de mesures de perméabilité réalisées dans des contextes différents (vignobles en milieu méditerranéen, zones naturelles et cultures dans le Sud-Ouest de la France, ...).

3-2 DONNEES HYDROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES

Des données journalières de débit de la Vesle ont été acquises par l'intermédiaire de la DIREN en différents points de la rivière (Illustration 5).

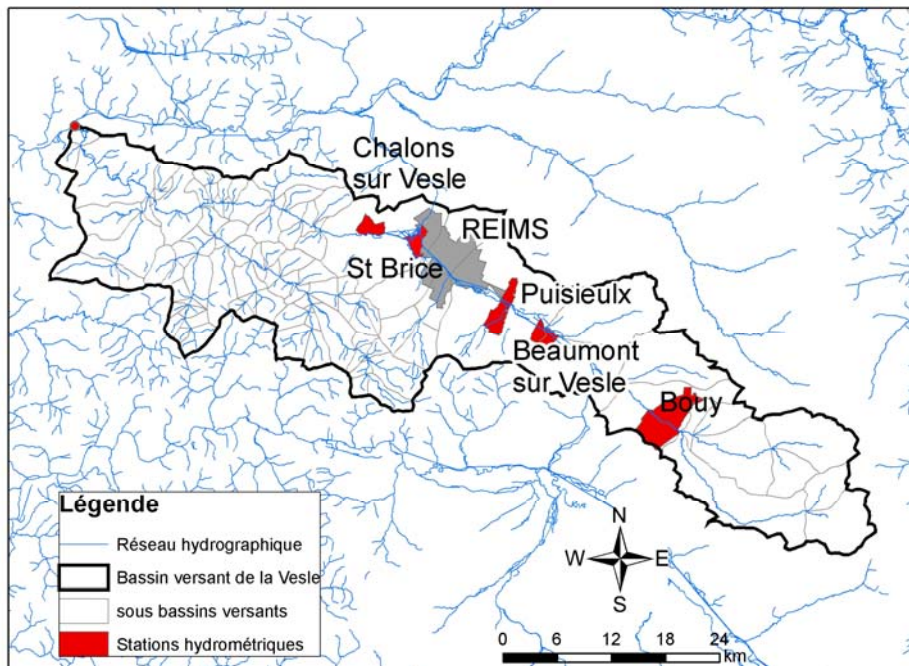


Illustration 5 - Emplacement des stations hydrométriques

Les valeurs de débits dans les différentes stations hydrométriques sont présentées sur l'illustration 6. En aval de la ville de Reims, les débits de la Vesle sont perturbés, les débits sont variables. Cette variabilité est probablement due aux rejets des eaux de l'agglomération rémoises. Cette variabilité non naturelle rend difficile l'analyse des

mesures réalisées en aval de Reims. En amont, en revanche, les débits semblent moins variables. A partir de la station hydrométrique de Puisieux, les chroniques sont plus stables. Elles semblent plus caractéristiques de l'évolution naturelle des débits de la rivière.

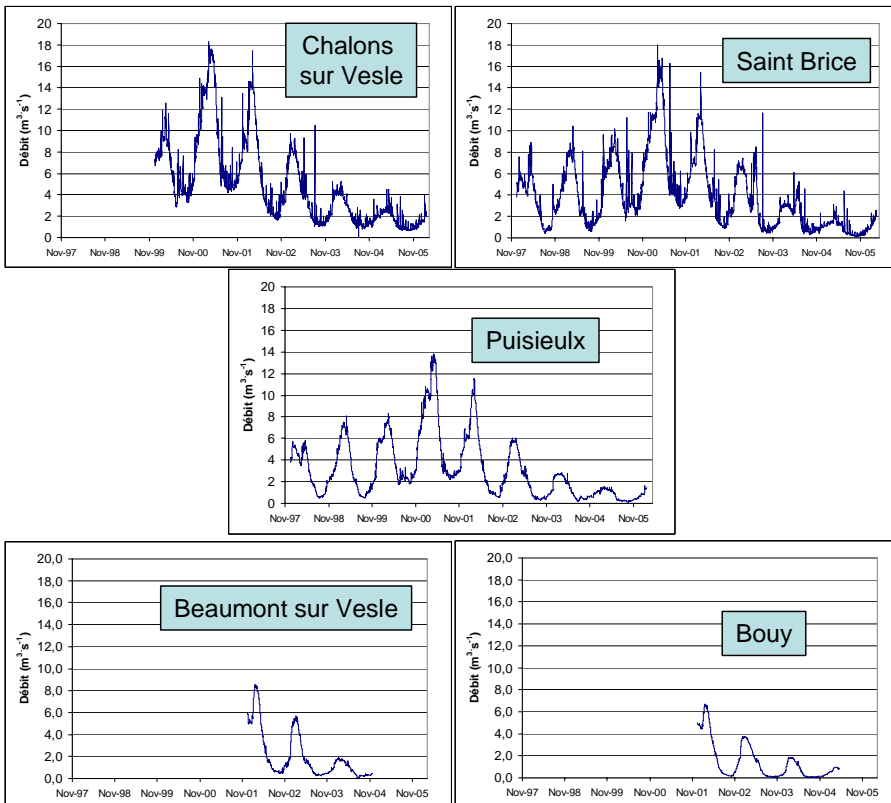


Illustration 6 - Chronique temporelle des débits de la Vesle

Des données météorologiques (pluie et évapotranspiration potentielle, ETP) ont également été acquises par l'intermédiaire du CIVC. Les stations météorologiques sélectionnées sont celles situées dans le bassin versant de la Vesle (Illustration 7). Le pas de temps de mesure est de 1 heure pour les données de hauteurs de pluie et les données sont journalières en ce qui concerne l'ETP.

A la station de Mailly Champagne, pendant la période de 2000 à 2007, la hauteur d'eau de précipitation maximale mesurée pendant une journée est de 54 mm le 6 juillet 2001 et l'intensité maximale mesurée pendant cette période a été de 29,8 mm/h le 20 août 2002.

Ces données ont permis de connaître l'ordre de grandeur des intensités de pluie de la région, nécessaire pour réaliser des expérimentations de simulations de pluie et pour estimer les quantités d'eau ruisselées.



Illustration 7 - Emplacement des stations météorologiques

3.3. SYNTHÈSE DES MESURES DE PERMEABILITÉ

Au stade actuel de l'avancement de nos travaux, nous disposons de données de conductivités hydrauliques à saturation, de granulométrie, de densité apparente et de résistance à la pénétration, mesures réalisées sur plusieurs sites localisés sur les bassins versants étudiés.

Les valeurs des conductivités hydrauliques à saturation traduisent une grande variabilité qui semble indépendante des unités de sol. L'analyse de variance (ANOVA, tests de Tukey et Fisher, 95 % de confiance) des capacités d'infiltration obtenues sur l'ensemble des sols a permis de proposer un découpage en trois classes d'infiltrabilité (Illustration 8). Ces trois classes d'infiltrabilité se distinguent aussi par leurs teneurs en argile et en éléments grossiers (Illustration 9). Les sols de la classe 3 sont caractérisés par des proportions en éléments grossiers supérieures à celles des sols des classes 1 et 2, tandis que les sols de la classe 2 montrent des teneurs en argiles significativement inférieures comparées aux 2 autres groupes.

Les valeurs des mesures de la résistance à la pénétration et de la densité apparente des différentes unités de sol traduisent le tassement des horizons superficiels à la suite du passage des engins agricoles (Dessogne et al., 2007). Ce tassement ne semble pas influencer les capacités d'infiltration des différentes unités de sol (Dessogne et al., 2007). La variabilité intra classe constatée peut être attribuée au travail du sol (parcelle labourée, désherbée chimiquement, enherbée, ..), ainsi qu'à la variabilité spatiale de la texture et de la répartition des pores dans les sols.

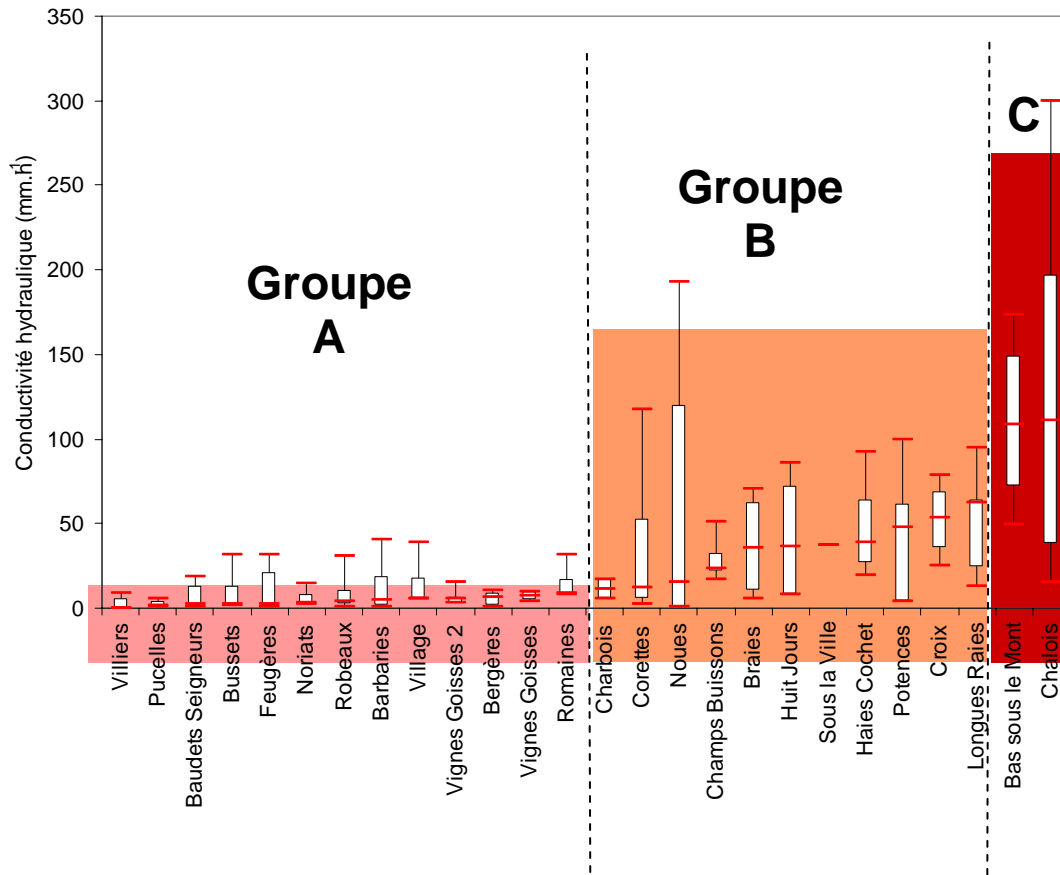


Illustration 8 - Mesures et classement des conductivités hydrauliques à saturation

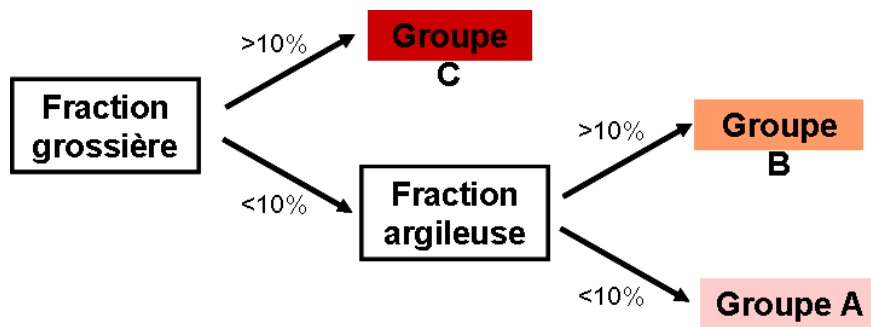


Illustration 9 - Classification des sols en fonction de la granulométrie

Finalement, les unités de sols définies dans le bassin versant de la Vesle ne constituent pas des volumes pertinents pour le découpage en unités hydrologiques homogènes. Ce découpage doit reposer sur le croisement de plusieurs paramètres caractéristiques du sol ou de son état de surface. Au stade de l'avancement de ce travail, seules les teneurs en éléments grossiers et en argiles permettent une définition de classes d'infiltrabilité.

Les travaux se poursuivent dans le sens de la recherche d'autres paramètres pertinents pour la définition des unités hydrologiques homogènes, nécessaires à la modélisation des flux d'eau et de polluants dans le bassin versant de la Vesle.

3.4. SIMULATIONS DE PLUIE SUR LA VIGNE

3.4.1. Dispositif et protocole suivi

Les variations de ruissellement sur différentes parcelles de vignes ont été étudiées lors d'une campagne de simulation de pluies à l'aide d'un simulateur de type ORSTOM (matériel loué à l'INRA Orléans par le laboratoire GEGENA) (Illustration 10).

Le système expérimental nécessite le matériel suivant :

1. le simulateur ORSTOM lui-même qui consiste en un petit moteur entraînant un jet qui balaie une surface d'environ 1 m², les intensités peuvent être réglées outre le manomètre par des buses de débit variable,
2. une pompe et un manomètre,
3. une batterie et un chargeur de batterie pour activer le simulateur,
4. un générateur pour la pompe et le chargement de la batterie,
5. un portique permettant de placer le simulateur à une hauteur d'environ 180 cm,
6. un cadre carré de 50 cm de côté muni d'une gouttière permettant la récupération de l'eau ruisselée,
7. une réserve d'eau de 500 litres par mesure,
8. une bâche plastique permettant de recouvrir le portique et donc de limiter l'impact du vent sur la pluie simulée.

Les autres outils et appareils nécessaires sont des bécards et éprouvettes pour les mesures, un chronomètre, des outils de jardinage / bricolage (pelle bêche, massette, niveau, fil à plomb,) pour la mise en place du cadre.

Le protocole suivi est le suivant :

- test sur une surface définie (bécards + cuvette) afin d'avoir un débit relativement constant,
- lancement de la simulation au temps T₀,
- relevé du temps T₁ de début de ruissellement,

- mesure du ruissellement à un pas de temps défini (toutes les 15mn lorsque le ruissellement est modéré, 2 minutes de collecte du ruissellement toutes les 5 minutes lorsqu'il est très important),
- suivi de l'intensité de la pluie pour éviter tenir compte d'une éventuelle variation,
- mesures poursuivies jusqu'à l'établissement d'un seuil (1h30 à 3 heures selon les sols).



Illustration 10 - Simulateur de pluie sur vigne

3.4.2. Premiers résultats

Les mesures ont débuté début novembre et doivent se poursuivre sur 4 semaines. Ce paragraphe présente les résultats des premières mesures, l'étape suivante étant la recherche d'une relation avec les perméabilités de Guelph faites sur les différents types d'occupation du sol du bassin versant de la Vesle.

Les premières expérimentations ont été réalisées sur des parcelles viticoles avec des pratiques culturales contrastées (Illustration 11).

Essai	Pratique culturale	Intensité pluie	Coefficient de ruissellement
1	Inter-rang désherbé / travail bord du rang -décavaillonnage - pente faible à nulle	25 mm/h	4,1%
2	Inter-rang un peu herbe (20%) - pente moyenne	29 mm/h	1,6%
3	Inter-rang enherbé (60%) - pente nulle à très faible	19,8 mm/h	5,3% (palier non atteint)
4	Inter-rang désherbé. Ni herbe ni écorce - pente nulle à très faible	23,9 mm/h	86,6%
5	Inter-rang désherbé. Ecorce - pente nulle à très faible - décavaillonnage donc travaillé sur le bord, tassé au milieu	49,5 mm/h	3,2%
6	Inter-rang enherbé (90%) - pente nulle à très faible	54,6 mm/h	1,2%

Illustration 11 - Simulations de pluie – premiers résultats

L'intensité de la pluie simulée est supposée être constante. Cependant les conditions expérimentales font que celle-ci va différer d'un test à l'autre, malgré les suivis en continu afin de réguler au mieux le flux et le stabiliser.

Les premiers résultats démontrent l'impact des pratiques culturales sur le ruissellement (travail ou non travail du sol). Ainsi, sur les sols qui n'ont jamais été travaillés et, uniquement désherbés et qui sont donc très compacts, on observe un ruissellement qui débute vite et devient très important (Coefficient de ruissellement = 86% sur

l'essai n°4). Sur la base d'observations macroscopiques, l'activité biologique est très faible, sans vers de terre dans ce type de sol. A l'inverse, sur les sols vignes enherbées (essais n°3, 6) l'activité biologique est importante.

Afin de structurer le sol et limiter le ruissellement, de nombreux viticulteurs apportent des morceaux d'écorces sur leurs parcelles. Une expérimentation a été réalisée sur ce type de parcelle (essai 5). Le sol de cette parcelle de vigne est également travaillé, ce travail du sol consiste en un décavaillonnage, c'est-à-dire en un passage d'une griffe sur le bord des ceps de vignes afin de couper les racines latérales et forcer la vigne à chercher l'eau en profondeur. Ce travail ameublisse le sol qui devient plus perméable. L'activité biologique est plus importante que dans le sol précédent. Le ruissellement observé est assez limité (beaucoup plus faible que sur l'essai 4).

Enfin les premières mesures faites sur vignes enherbées (essais 2, 3 et 6) montrent des résultats contrastés qui nécessiteront des tests complémentaires. Lors des essais 2 et 6, le ruissellement est très faible (1,2% et 1,6%) et un palier semble être atteint à cette valeur. En revanche lors de l'essai 3, un coefficient de ruissellement très important a été atteint. La valeur moyenne du coefficient de ruissellement était de 5% avec une dernière valeur mesurée à 16%. Aucun palier n'a été atteint pour cet essai. Ce résultat surprenant devra être confirmé ou invalidé par des mesures supplémentaires proches de ce premier site, les deux autres mesures réalisées dans un contexte proche étant très différentes (1,2 et 1,6 %).

4. Perspectives de modélisation

4.1. PRESENTATION DE STREAM

STREAM (Sealing and Transfert by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Managment) est un modèle spatialisé de type système expert, développé à l'INRA d'Orléans (Lecomte, 1999 ; Cerdan et al., 2001). Les principales caractéristiques de ce modèle, qui fonctionne à l'échelle du bassin versant et de l'événement pluvieux, sont la prise en compte des états de surface (typologie des croûtes, couvert végétal et rugosité) dans les processus d'infiltration/ruissellement et celle des motifs agraires dans les processus de circulation de l'eau de ruissellement.

Défini, calé et validé en Normandie par l'INRA pour étudier les phénomènes d'érosion et de ruissellement hortonien sur les sols limoneux agricoles, STREAM¹ est un modèle de type expert qui s'appuie sur une connaissance des mécanismes élémentaires de genèse du ruissellement (Illustration 12).

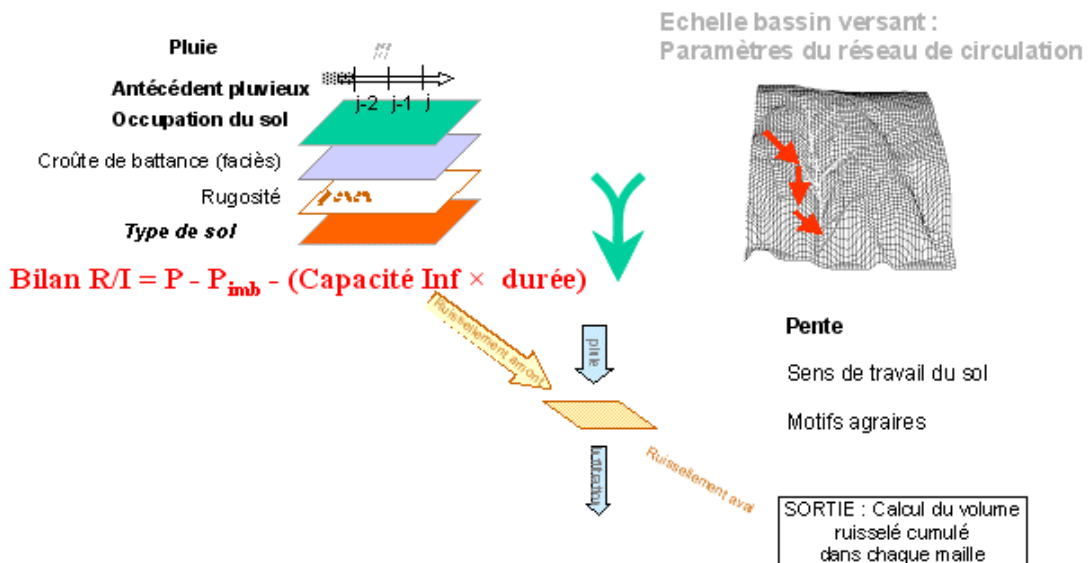


Illustration 12 - Principe général du modèle STREAM.

Ce modèle a été élaboré en se fondant sur les connaissances actuelles des mécanismes de l'érosion. Le parti pris a été de se concentrer sur les processus

¹ Le modèle STREAM utilisé ici bénéficie d'une licence d'utilisateur et des développements INRA-BRGM co-réalisés depuis l'édition du logiciel en 2002.

dominants afin d'éviter les problèmes liés à la sur-paramétrisation d'une part et de rendre le modèle potentiellement utilisable par les acteurs locaux d'autre part.

La démarche suivie pour l'élaboration du modèle a été de procéder en deux étapes : l'identification et la paramétrisation des facteurs dominants à l'échelle locale sur la base de résultats expérimentaux, puis une spatialisation à l'échelle du bassin versant en prenant en compte les paramètres propres à ce niveau d'investigation (Cerdan et al 2002). Ces étapes sont explicitées au paragraphe suivant.

Ce modèle prend en compte des paramètres physiques du milieu (relief, sol, végétation) et des paramètres météorologiques:

- la pente dérivée du Modèle Numérique de Terrain ;
- la cartographie de l'occupation du sol ;
- la répartition des sols ;
- l'infiltrabilité de la surface (absence ou non de croûte de battance) ;
- la rugosité du sol ;
- le sens du travail du sol ;
- les motifs agraires ;
- la hauteur de l'évènement pluvieux, avec une hypothèse de répartition spatiale homogène sur l'ensemble du bassin versant ;
- l'occurrence et la hauteur des antécédents pluvieux sur le bassin.

L'idée sous-tendant le développement du modèle STREAM est d'élaborer une approche de modélisation qui se base sur les connaissances actuelles des mécanismes de l'érosion. Le parti pris est de se concentrer sur les processus dominants afin d'éviter les problèmes liés à la surparamétrisation d'une part et de rendre le modèle potentiellement utilisable par les acteurs locaux d'autre part.

La démarche suivie pour l'élaboration du modèle a consisté en l'identification et la paramétrisation des facteurs dominants à l'échelle locale sur la base de résultats expérimentaux, puis une spatialisation à l'échelle du bassin versant en prenant en compte les paramètres propres à ce niveau d'investigation.

4.1.1. Analyse et paramétrisation des processus à l'échelle de la parcelle

Pour une grande partie des sols à texture limoneuse (de faible stabilité structurale), le ruissellement et l'érosion résultent de la diminution de l'infiltrabilité consécutive à la dégradation structurale de la surface des sols (formation de croûtes de battance par désagrégation des mottes de terre) sous l'action des pluies. La capacité d'infiltration peut, dans certains cas, être réduite jusqu'à des valeurs de quelques mm/h. En territoire agricole s'ajoute l'influence de la rugosité (modifiée par les techniques culturales) et du couvert végétal (Le Bissonais et al., 2005). Sur la base de nombreux travaux expérimentaux réalisés sous pluie simulée ou en conditions naturelles nous

avons évalué l'importance de ces trois facteurs en fonction de leur influence sur le ruissellement et l'érosion.

Dans le but de formaliser les processus de ruissellement ou d'érosion, nous avons établi une table typologique qui soit à même de décrire l'influence de ces trois facteurs simultanément sur l'infiltrabilité, sur la concentration potentielle en sédiment du ruissellement, sur l'érosivité du flux et sur la cohésion de la surface du sol (Cerdan et al, 2002; 2002a; Le Bissonnais et al, 2005).

Pour décrire les conditions d'infiltrabilité, l'importance de rendre compte de l'état hydrique initial a été démontrée. Ce quatrième facteur a été intégré sous la forme d'un indice des pluies antécédentes. Sur la base de références expérimentales, une capacité d'infiltration potentielle a pu être associée à chaque combinaison de ces facteurs. Cinq classes ont été définies qui s'étalent de 2 mm/h pour une surface nue complètement dégradée à 50 mm/h pour une surface fraîchement travaillée ou une prairie (Cerdan et al., 2002).

Les typologies élaborées peuvent se résumer en bref à une hiérarchisation des combinaisons de facteurs. Elles permettent de caractériser des situations en fonction de leur impact sur le mécanisme étudié. Elles ont l'avantage d'intégrer non seulement des lois bien quantifiées mais aussi des résultats expérimentaux ou d'observation acquis à l'échelle locale (bac – parcelle). Elles permettent, en outre, de tenir compte de manière simple des interactions entre facteurs; l'effet d'un paramètre pouvant être amplifié ou, au contraire, inhibé en fonction du degré d'expression des autres. Par exemple, la rugosité de surface du sol aura un effet très différent sur la concentration potentielle en sédiments, selon le développement et le taux de couverture du couvert végétal (Cerdan et al., 2002a). La validité de ces typologies est limitée aux zones cultivées de la ceinture loessique du nord de l'Europe, par contre la démarche reste transposable à tout contexte.

4.1.2. Intégration des processus à l'échelle du bassin versant

Ces typologies sont utilisées pour établir la modélisation spatialisée à l'échelle du bassin versant.

Pour bâtir cette spatialisation, la première étape est le calcul du réseau de circulation des écoulements. Pour faciliter la prise en compte des caractéristiques topographiques et la visualisation des résultats, le modèle est bien sûr intégré dans un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) : ArcGIS.

Pour la simulation de la hauteur d'eau ruisselée en tout point du bassin versant (Illustration 12) une fonction calcule l'accumulation des flux en permettant à chaque pixel de pouvoir infiltrer la pluie « directe » et en sus, pouvoir infiltrer la totalité ou une partie du ruissellement provenant des zones situées en amont du point considéré (Cerdan et al., 2002).

Une première évaluation des modules de ruissellement et d'érosion diffuse à l'aide de données provenant de bassins versants expérimentaux, a démontré la capacité de

cette approche à reproduire les valeurs mesurées avec satisfaction (Cerdan et al. 2002 ; 2002b).

Bien que STREAM ait été développé pour l'étude du ruissellement sur des sols limoneux en zone agricole, il a déjà été testé avec succès sur des bassins versants de type méditerranéen et forestier, ceux du Gardon d'Anduze (Desprats et al, 2006b) et sur plusieurs petits bassins versants de Haute-Corse : Luri, Olmetta, Patrimonio et Agriates (Cerdan et al. 2005) et Calenzana, Pietralba et Lancone (Desprats et al, 2006a), affectés par des incendies.

4.2. TRANSFERT DU MODELE STREAM AU CONTEXTE DU BASSIN VERSANT DE LA VESLE

Pour envisager le transfert du modèle dans le contexte Champenois, il faut reprendre à la base les hypothèses fortes du modèle et les limites de transposabilité dans ce contexte.

Le modèle simule un ruissellement de type hortonien (le ruissellement se produit lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol).

Dans le contexte du vignoble Champenois, on peut donc émettre l'hypothèse que l'infiltration est assez rapidement limitée. En effet, l'absence presque systématique de travail du sol sur les vignes (sauf les jeunes plantations) tend à rendre les sols peu perméables même si l'épandage d'une couche d'écorce vise à limiter le ruissellement. Lors d'épisodes intenses, on retrouve des écorces dans le réseau hydrographique. Une approche du type ruissellement hortonien peut donc représenter une première approximation en attendant que des expérimentations mettant en évidence le cheminement des écoulements le long des versants (i.e. expérience de traçage) soient réalisées. La variation de rugosité induite par les pratiques agricoles est peu importante sur le vignoble du fait de l'absence de labour. Ce paramètre devra toutefois être pris en compte sur les terres cultivées en céréales.

Les valeurs de perméabilité (et de pluie d'imbibition) et d'érodibilité proposées doivent être étalonnées par rapport à différentes mesures précises d'un point de vue quantitatif.

4.3. PRE-DEFINITION DES DONNEES DE PERMEABILITE STREAM

Les paramètres de perméabilité suivants ont été retenus pour permettre une première cartographie sur le bassin versant de la Vesle :

- terres arables : 10 mm/h,
- zones bâties : 5 mm/h,
- forêt : 60 mm/h,
- prairie : 50 mm/h,

- vigne : 15 mm/h,
- autre : 5 mm/h.

Les autres paramètres requis par STREAM tels que la rugosité que l'on pourrait associer en zone de vignoble à l'orientation des rangs ne sont actuellement pas disponibles. Ils pourront être extraits d'imagerie très haute résolution telle que les données Quickbird visibles sur GoogleEarth (Illustration 13).

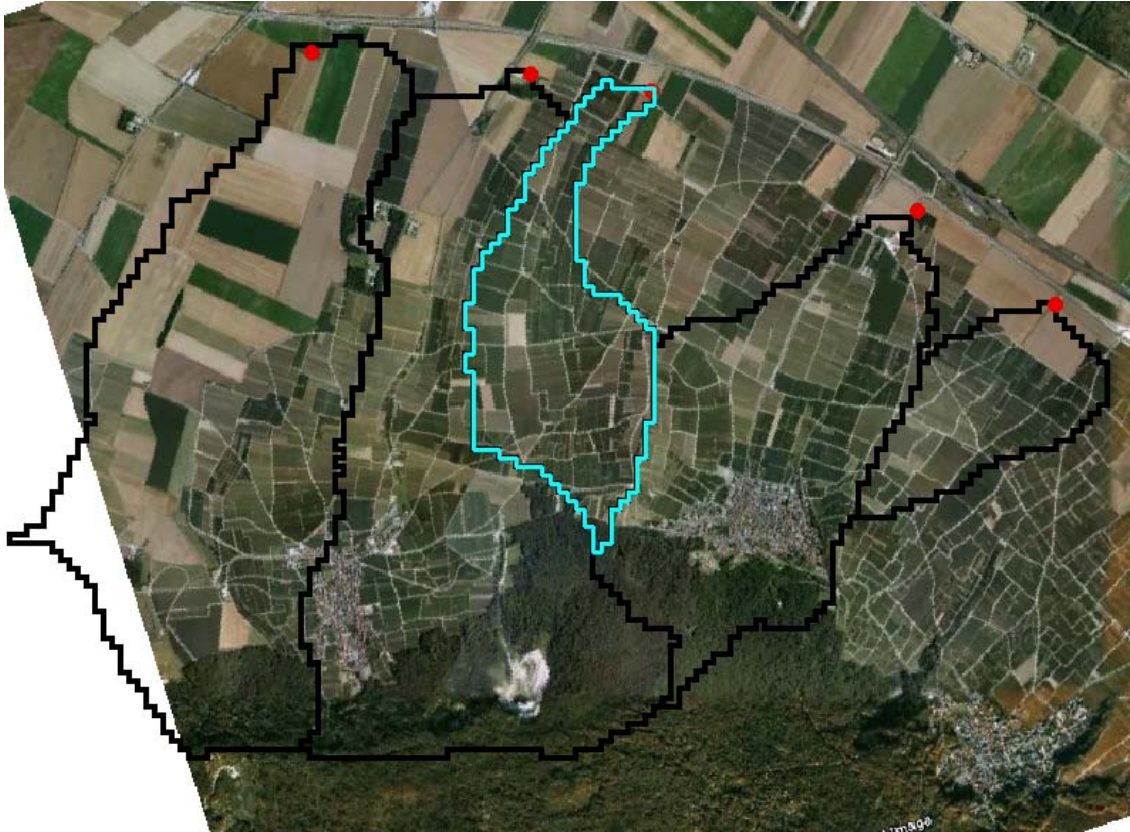


Illustration 13 - Superposition des sous bassins versants sur Quickbird

Il apparaît nécessaire d'étudier plus précisément le comportement des sols sur vignes, apparemment très différent selon les techniques culturales employées.

5. Conclusion et perspectives

La mise en œuvre d'une approche par modélisation pour étudier l'érosion et le ruissellement est prévue en collaboration avec le BRGM et l'équipe GEGENA de l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Nous proposons de réaliser une validation dans le contexte champenois du modèle de transfert par le ruissellement et l'érosion hydrique, à l'aide du modèle STREAM décrit précédemment.

Les principales difficultés et questions scientifiques de l'adaptation de STREAM au bassin versant de la Vesle sont relatives à la disponibilité des données et l'établissement de règles de décisions adéquates pour estimer le partage entre le ruissellement et l'infiltration lors des événements pluvieux. Les phénomènes de battance n'étant pas le facteur dominant de la réponse érosive des sols du bassin de la Vesle, nous devons établir des règles de décision spécifiques à notre contexte d'étude. Celles-ci se baseront sur les mesures de capacité d'infiltration et la recherche de déterminants pertinents de la variabilité spatiale de l'infiltrabilité des sols. Des mesures de ruissellement in situ avec simulations de pluies sont nécessaires au calage des données obtenues sur le terrain. Elles ont débutés fin 2008 et devront être complétées afin de valider pour chaque type de conduite culturale sur vigne (enherbée, désherbée, apport d'écorces) l'impact sur l'écoulement de l'eau. Il sera par la suite utile (i) de développer des fonctions de pédo-transfert sur la base des mesures de paramètres physiques, (ii) d'intégrer la variation des états de surface et (iii) de prendre en compte les pratiques culturales.

L'ensemble de ces résultats permettra une définition et une hiérarchisation du terrain en unités hydrologiques homogènes sur lesquelles se basera la modélisation du flux d'eau et de particules érodées.

Les actions prévues en 2009 pour modéliser les sous bassins versants d'une part, le bassin de la Vesle d'autre part sont :

- mesurer l'infiltrabilité des sols (relation conductivité hydraulique à saturation – infiltrabilité) sur des unités pédo-paysagères viticoles et non viticoles (cultures et prairies),
- cartographier les bandes enherbées et les fossés/rigoles pour la modélisation STREAM,
- intégrer des mesures de débits à l'exutoire d'un sous BV,
- extraire depuis des données de télédétection très haute résolution l'orientation des rangs de vigne.

6. Bibliographie

Baran N., 1996, Transit de l'isoproturon et de l'atrazine dans un système hydrologique karstique de la craie (Gâtinais-France) : de la station hydrologique expérimentale à l'échelle du système. Thèse de l'Université d'Orléans. 350 p.

Dousset, S., Mouvet, C., Schiavon, M., 1995. Leaching of atrazine and some of its metabolites in undisturbed field lysimeters of three soil types. *Chemosphere* 30, 511–524.

Garmouma M., 1996, Transferts d'herbicides (triazines et phénylurées) et de produits de dégradation dans le bassin versant de la Marne. Thèse de doctorat de l'université Paris VI,

IFEN, 2006. Rapport sur l'état de l'environnement en France - Edition 2006. Etat des lieux de l'environnement en France et de son évolution. Les synthèses de l'IFEN. 504 pp.

Morvan X., 2004. Influence de la variabilité spatiale de différentes caractéristiques du milieu aux échelles de la parcelle expérimentale et du bassin versant hydrogéologique sur la contamination d'un aquifère sableux par les phytosanitaires. Thèse de doctorat, Université d'Orléans. 526 pp.

Morvan X, Mouvet C, Baran N, Gutierrez A, 2006. Pesticides in the groundwater of a spring draining a sandy aquifer: temporal variability of concentrations and fluxes. *J Contam Hydrol*; 87 (3-4): 176-190.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34