



Association de recherche
sur le Ruissellement, l'Erosion
et l'Aménagement du Sol
www.areas-asso.fr

Rapport de fin de programme

Suivi des transferts de produits phytosanitaires

Programme PESTICEROS

Février 2021

Partie 1
**Contexte,
enjeux et
objectifs**

Programme de suivi de la qualité des eaux de ruissellement à l'échelle du bassin versant rural de Bourville en pays de Caux, dans un contexte érosif en zone de grandes cultures

Période 2008-2018

Suivi des transferts de produits phytosanitaires dissous et adsorbés,
et des matières en suspension issues de l'érosion des sols

Avec l'appui et la participation financière de



Préambule :

Ce rapport présente l'ensemble du programme Pesticéros sur la période globale pendant laquelle l'AREAS a effectué un suivi très précis sur le bassin versant de Bourville et une analyse de tous les résultats de mesures.

Il vient clore un ensemble de programmes ayant financé *l'observatoire Pesticéros* de 2009 à 2020, qui ont permis de le mettre en œuvre, d'en assurer le fonctionnement, puis d'en exploiter les données.

Pour des raisons pratiques, ce rapport est divisé en 4 grandes parties, comme suit :

- Partie 1 : contexte, enjeux, objectifs, territoire, agronomie, usages des produits et érosion ;
- Partie 2 : matériels et méthodes ;
- Partie 3 : résultats ;
- Partie 4 : pilotage et communication.

Chacune de ces parties fait l'objet d'un document indépendant pour faciliter l'accès aux thématiques essentielles.

Cette partie du rapport traite de la partie n° 1 : « Contexte, enjeux, objectifs, territoire, agronomie, usage des produits et érosion »

Remerciements

Ce programme de recherche et de connaissance a été soutenu par l'AESN, par l'État au titre du FNADT, par l'UIPP, par Syngenta, par CapSeine, par Cristal Union de Fontaine le Dun et les Départements de Seine-Maritime et de l'Eure, dans le cadre de 3 programmes de recherche appliquée complémentaires 2008-2013 puis 2014-2018 et enfin 2019-2020, intitulés : PESTICEROS

L'AREAS remercie tout particulièrement les personnes ayant contribué à la réalisation de ce programme, à commencer par les 38 agriculteurs du bassin versant de Bourville, qui ont permis la réalisation de ces suivis sur le terrain, en nous fournissant toutes les informations quant à leurs itinéraires techniques détaillés jour par jour depuis 10 ans sur chacune de leurs parcelles, et qui pour certains, ont accepté d'avoir du matériel de mesure en bordure de leurs champs.

- M. Jean-Bernard BARET
- M. Vincent BARET
- M. Louis-Timothée BAZIRE
- M. Cédric BOUCLON
- M. Denis BOUCLON
- M. Charles BUREL
- M. Pierre BUREL
- M. Jean-Marie CABOT
- M. Guillaume CABOT
- M. Jean-Marie CONSTANTIN
- M. Philippe CORDIER
- M. Marc DELAFONTAINE
- M. Francis DELAMARE
- M. Philippe DELAUNAY
- Mme Lydie GRINDEL
- M. Gaëtan LAGUERRE
- M. Benoît LARCHER
- M. Samuel LARCHER
- M. Jacques LEFRANÇOIS
- M. Patrick MARTINE
- M. Yves MIGNOT
- M. Jean et Mme Marianne MOONEN
VAN MEER
- M. Ludovic OLIVIER
- M. Régis OLIVIER
- M. Jean-Baptiste PESQUEUX
- M. Grégoire PETIT
- M. Pierre PLANCHON
- M. Gérard POULET
- M. Sylvain ROSSIGNOL
- M. Alain ROUSSEL
- M. Etienne ROUSSEL
- M. Laurent ROUSSEL
- M. Matthieu ROUSSEL
- M. Pierre-Vincent ROUSSEL
- M. Vincent ROUSSEL
- M. Alexandre TERRIER
- M. Rémy TERRIER
- M. et Mme Jean et Jeanne-Marie VOISIN

L'AREAS remercie très sincèrement tous les chercheurs, ingénieurs, techniciens, membres des comités de pilotage et scientifique, les partenaires financiers, les collègues et stagiaires, qui nous ont conseillés, aidés lors de l'analyse, de l'interprétation des données et lors du suivi de ce programme.

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans le soutien des partenaires financiers et de leurs techniciens : l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), l'État au titre du FNADT, l'Union de Producteurs de Produits Phytosanitaires (UIPP), Syngenta, CapSeine (aujourd'hui NatUp), Cristal Union de Fontaine-le-Dun et les Départements de Seine-Maritime et de l'Eure, qu'ils en soient remerciés.

Réalisation : Association de recherche sur le Ruissellement, l'Erosion et l'Aménagement du Sol 2 avenue Foch, 76460 Saint-Valery-en-Caux - 02.35.97.25.12. - www.areas-asso.fr - Février 2021

Titre : Suivi des transferts de Produits Phytosanitaires dissous et adsorbés, et des Matières En Suspension issues de l'Erosion des sols sur le bassin versant de Bourville, période 2008-2018. RAPPORT de fin de Programme AREAS.

Crédit photos : AREAS

Reproduction soumise à autorisation.

Sommaire

1. Contexte et cadre général	1
2. Objectifs.....	2
3. Le Territoire, ses problématiques et les sites de mesures	3
3.1. Contexte général : Territoire du pays de Caux	5
3.2. Problématiques de ruissellement-érosion-pollution en pays de Caux.....	9
4. Caractéristiques du bassin versant de Bourville et des sites de mesures.....	13
4.1. Sites de mesures sur le bassin versant de Bourville.	15
4.2. Les Sols du bassin versant	17
4.3. Occupation du sol sur le bassin versant complet : BRVL.....	19
4.4. Exploitations agricoles sur le bassin versant	25
4.5. Caractérisation des Assolements et des rotations des cultures	27
4.6. Etat des Pratiques culturales par culture et interculture.....	30
4.6.1. Cultures d’hiver : Colza, Blés et Escourgeon.....	31
4.6.2. Période d’interculture	38
4.6.3. Cultures de Printemps	45
4.7. Caractéristiques générales des pratiques de traitements par culture : IFT.	57
5. Erosion du sol et des éléments chimiques associés sur le bassin versant de Bourville	63
5.1. Bilan et exports des Matières en Suspension (MES)	65
5.2. Turbidité	69
5.3. Bilan des transferts en Carbone Organique	73
5.4. Bilan et exports en Phosphore total	77
5.5. Bilan et exports en Orthophosphate PO4 Dissous	79
5.6. Bilan et Exports en Nitrates, Nitrites et Ammonium	81
5.6.1. Nitrates NO3	81
5.6.2. Nitrites NO2.....	81
5.6.3. Ammonium NH4	83

BIBLIOGRAPHIE

1. Contexte et cadre général

Les ruissellements érosifs peuvent être assez fréquents dans plusieurs régions de grandes cultures du Nord-Ouest de l'Europe. Ils ont des conséquences directes en matière de coulées de boues, de turbidité et de fertilité des sols. Ils ont aussi un impact fort sur la qualité des eaux de surface et souterraines par le transfert de produits phytosanitaires. C'est le cas en Haute-Normandie.



Figure d'érosion de talweg au cœur du bassin versant de Bourville en décembre 2012

L'utilisation durable des produits phytosanitaires est l'une des stratégies du sixième programme communautaire d'actions pour l'environnement. Cela s'est traduit lors du Grenelle de l'environnement, par l'instauration du plan « *Ecophyto 2018* » qui vise à réduire l'usage des produits phytosanitaires, et à limiter l'impact de ceux qui resteront indispensables à la protection des cultures.



« Réduire les impacts » est un objectif qui nécessite au préalable de bien connaître ces transferts : leurs caractéristiques, leur nature et leur importance.

Dans ces territoires où le ruissellement est le principal mode de transfert, les connaissances actuelles sont éparpillées et souvent limitées à l'échelle de la parcelle. Il apparaît nécessaire de mieux connaître ces transferts à l'échelle des

bassins versants.

2. Objectifs

Le but de l'observatoire Pesticéros est de suivre sur le long terme les apports et les transferts de produits phytosanitaires par ruissellement dans un bassin versant bien connu, en grandes cultures, sur limons sensibles à l'érosion hydrique.

Il s'agit de : (1) quantifier les flux susceptibles d'impacter les masses d'eau, (2) suivre l'évolution des pratiques phytosanitaires, (3) identifier les pratiques et les circonstances présentant les plus forts risques de transferts par ruissellement en contexte érosif.

Pour cela, le programme de l'observatoire est le suivant :

- **quantifier les apports** de tous les produits phytosanitaires utilisés sur l'ensemble du bassin versant - 200 molécules recensées - par une collecte exhaustive des données auprès de tous les acteurs du territoire (usages agricoles, communaux et des particuliers). Chaque application de produits est datée et géo-localisée ;
- **quantifier les exportations** de produits phytosanitaires sortant du bassin versant par ruissellement à chaque épisode : mesures des concentrations sur eaux brutes, sur eaux filtrées et sur Matières En Suspension (MES), mesures d'hydrologie et d'infiltration dans le karst ;
- **effectuer des analyses croisées multicritères** des données, pour dégager des corrélations pour chaque molécule et identifier les conditions favorables à leur transfert : climat, érosion, occupation du sol, états de surface, propriétés physico-chimiques, itinéraires techniques, etc...

Les résultats sont analysés et valorisés par les membres des 2 comités technique et scientifique. Ils ont vocation à être diffusés pour faciliter la construction de stratégies pertinentes de réduction des transferts par ruissellement.

Cet observatoire a donc une double vocation d'amélioration de la connaissance et d'aide à la mise en place de solutions efficaces pour réduire les impacts de l'usage des produits phytosanitaires.

3. Le Territoire, ses problématiques et les sites de mesures

L'observatoire est localisé sur le bassin versant de Bourville (Figure n° 3.1), au cœur du pays de Caux en Seine-Maritime – Normandie.

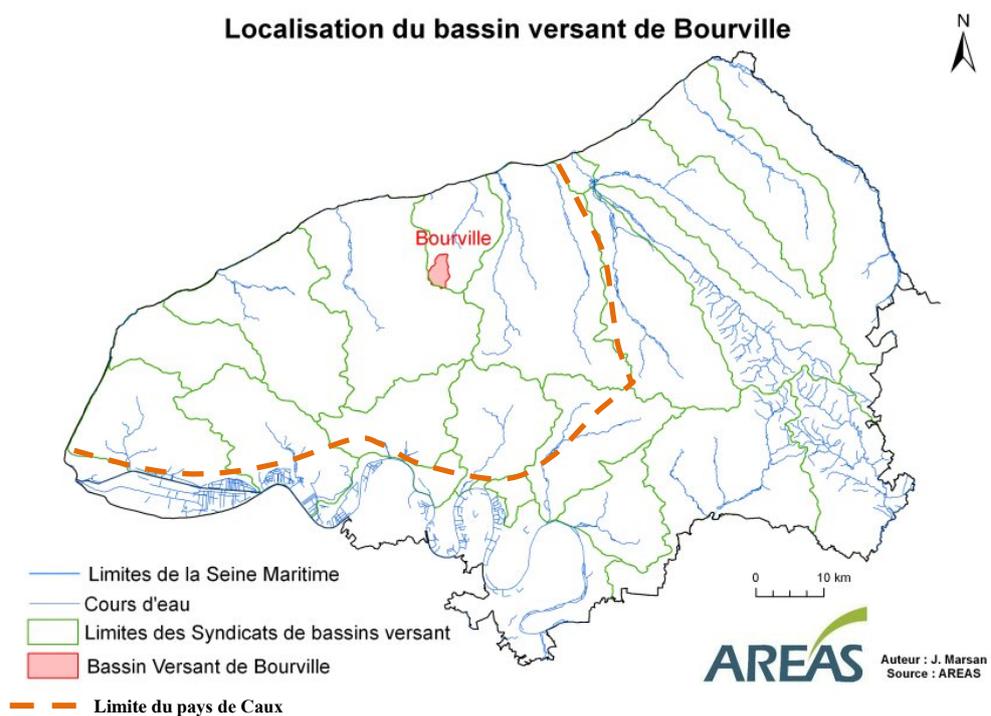
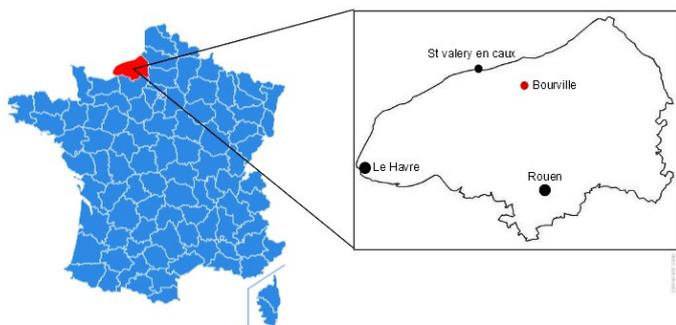


Figure n° 3.1 : localisation du bassin versant de Bourville

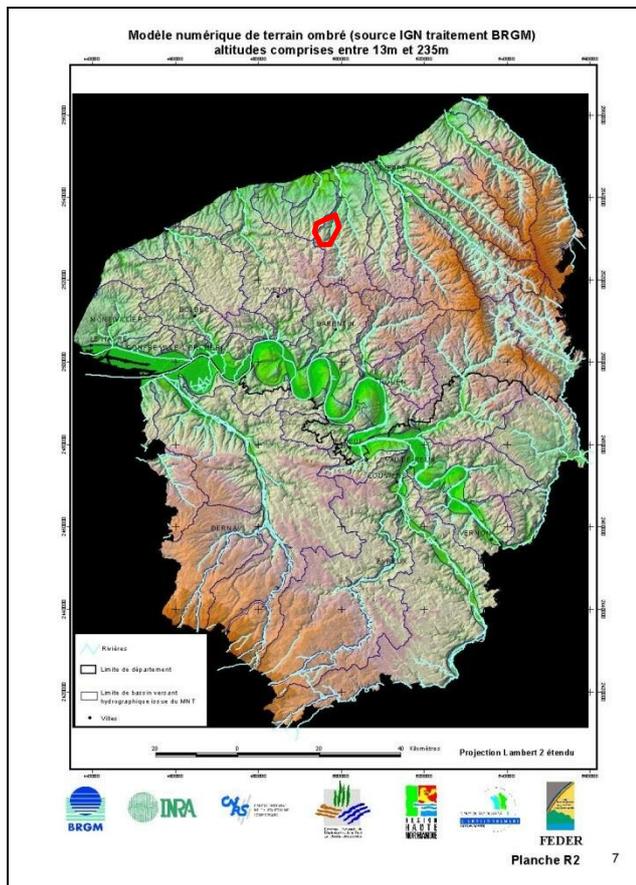


Figure n° 3.1-2 : Relief et pentes en Haute-Normandie

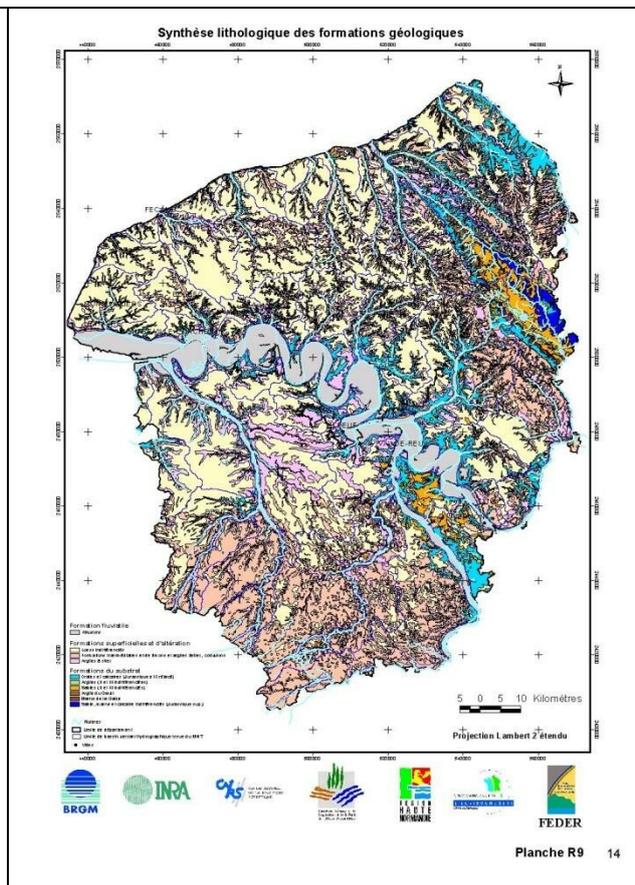


Figure n° 3.1-4 : Carte des formations superficielles de Haute-Normandie

3.1. Contexte général : territoire du pays de Caux

D'une manière générale, le pays de Caux est une petite région naturelle de plateau en bordure maritime. Ce plateau est constitué de calcaire tendre karstifié recouvert de limons éoliens. Il est entaillé de nombreuses vallées sèches car le réseau hydrographique est particulièrement faible : peu de cours d'eau, pas de ruisseau et pas de fossé (Figure n° 3.1-1).

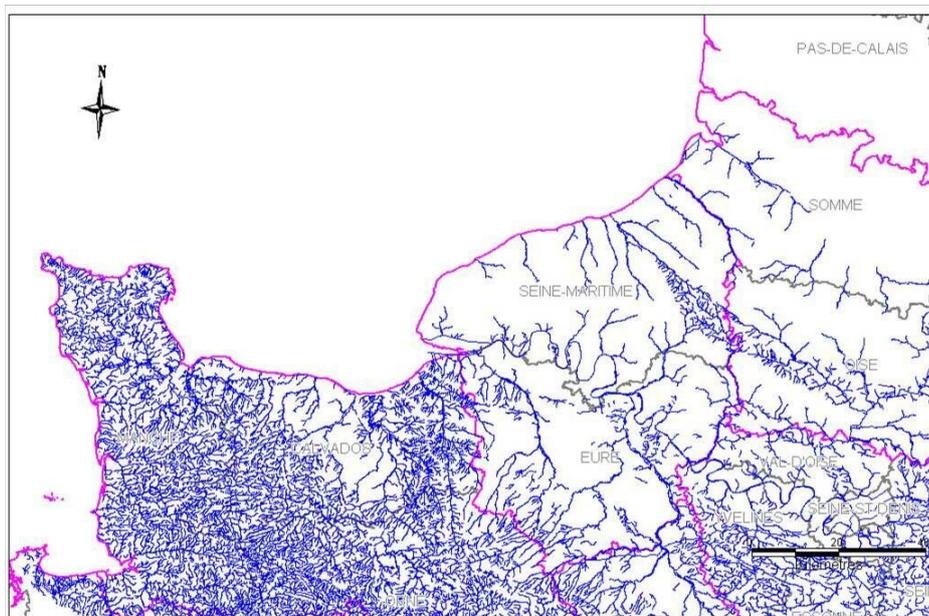


Figure n° 3.1-1 : Réseau hydrographique de faible développement en Haute-Normandie – BRGM

La géomorphologie est caractéristique des plateaux calcaires tendres fracturés à la fin du tertiaire qui ont permis la formation d'une succession de vallées peu profondes et aux pentes douces à moyennes : 1 à 10 %. (Voir carte Figure n° 3.1-2).

Le relief est ondulé, avec des pentes omniprésentes de 2 à 5 % en zone labourée avec des pentes plus fortes quand les vallées sèches s'enfoncent dans le plateau.

Au cours des trois dernières périodes glaciaires, tout le territoire a été recouvert de limons fins (du Riss, du Mendel et du Würm) sur une couche importante relativement épaisse (1 à 5 m) dont l'épaisseur décroît avec l'éloignement de la côte. (Voir carte Figure n° 3.1-3).

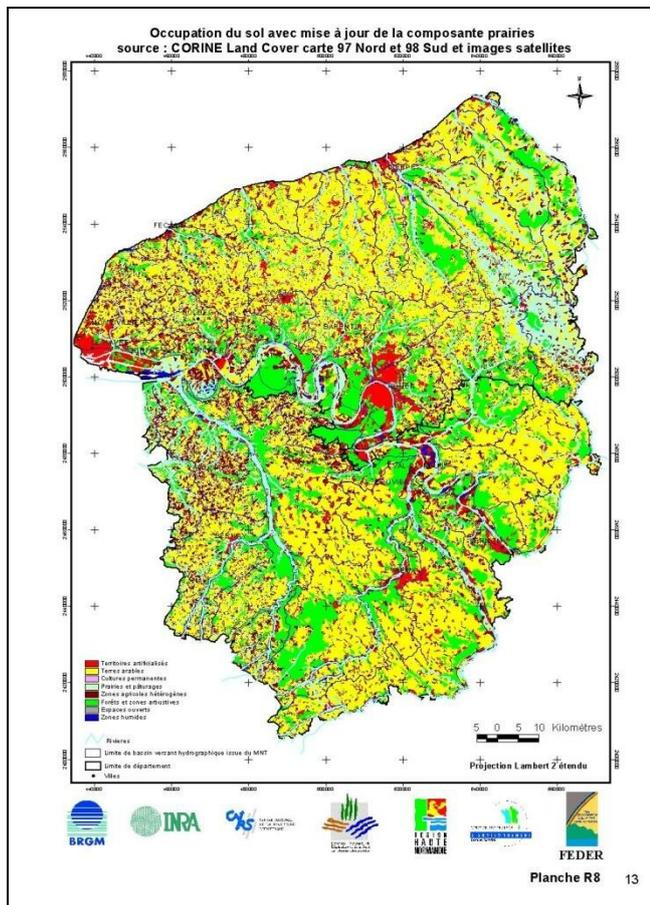


Figure n° 3.1-4 : Carte de l'occupation du sol de Haute-Normandie – Corine Landcover

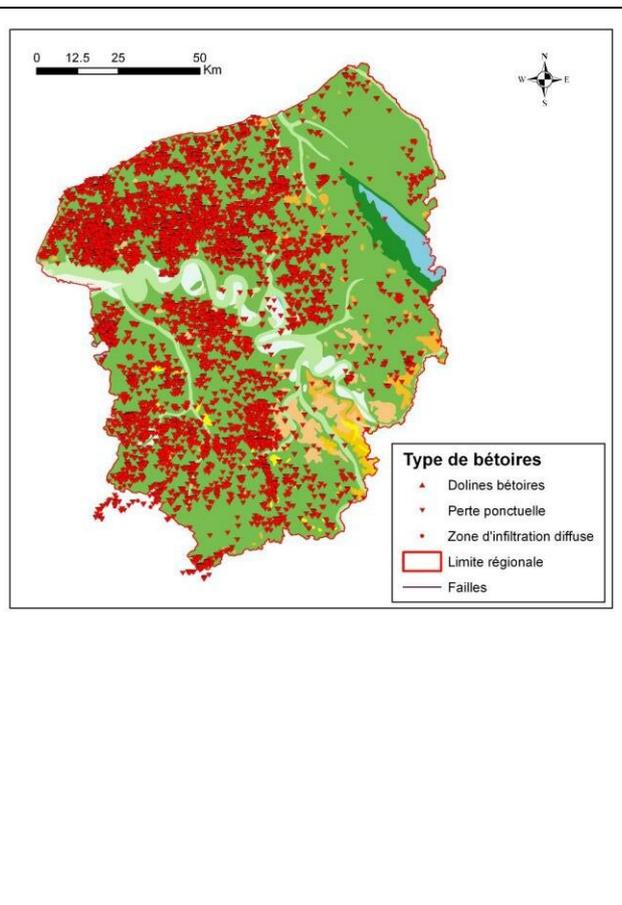


Figure n° 3.1-5 : Carte de localisation des bétoires recensées dans le cadre de l'inventaire régional des bétoires en cours de réalisation – en date du 05/07/2010 - BRGM/RP-58795-FR

Cette région maritime subit un climat typique océanique doux et humide.

L'occupation du sol est en majorité agricole. L'agriculture y est prospère. Elle fut longtemps tournée vers la polyculture-élevage, (nomenclature Corine Landcover). (Voir carte sur la Figure n° 3.1-4). Mais depuis les années 1990, l'élevage a fortement décliné au profit de la culture. Les contextes pédo-climatique d'une part, et historique-humain d'autre part, font que les cultures suivantes sont développées : Blé d'hiver, colza, escourgeon, lin, Betteraves sucrières, Pommes de terre et Maïs ensilage. Il y a aussi en faible proportion des cultures de : Féverole, Pois, Légumes, luzerne.

Quant à l'habitat, il est groupé en un grand nombre de petits bourgs, villages et hameaux très dispersés sur l'ensemble du territoire.

Le pays de Caux : une région Karstique :

En ce qui concerne la ressource en eau potable, elle est abondante et issue en totalité de la nappe phréatique présente dans le plateau calcaire. Mais, cette ressource est extrêmement vulnérable du fait de l'existence de pertes karstiques -appelées localement bétoires- hyper présentes dans toutes les vallées sèches. Les eaux de ruissellement s'y engouffrent épisodiquement, ce qui provoque des pollutions ponctuelles par les MES et tout le cortège d'éléments véhiculés par ces eaux de ruissellement.



Photo de ruissellement s'engouffrant dans une perte karstique ou bétoire en pays de Caux.

On dénombre près de 6 600 pertes karstiques sur la Haute-Normandie et 3 700 indices de pertes non identifiées. Cela représente une densité moyenne de l'ordre d'une perte par km² (BRGM). (Voir carte Figure n° 3.1-5).

Le cas du bassin versant de Bourville sera décrit au paragraphe suivant.

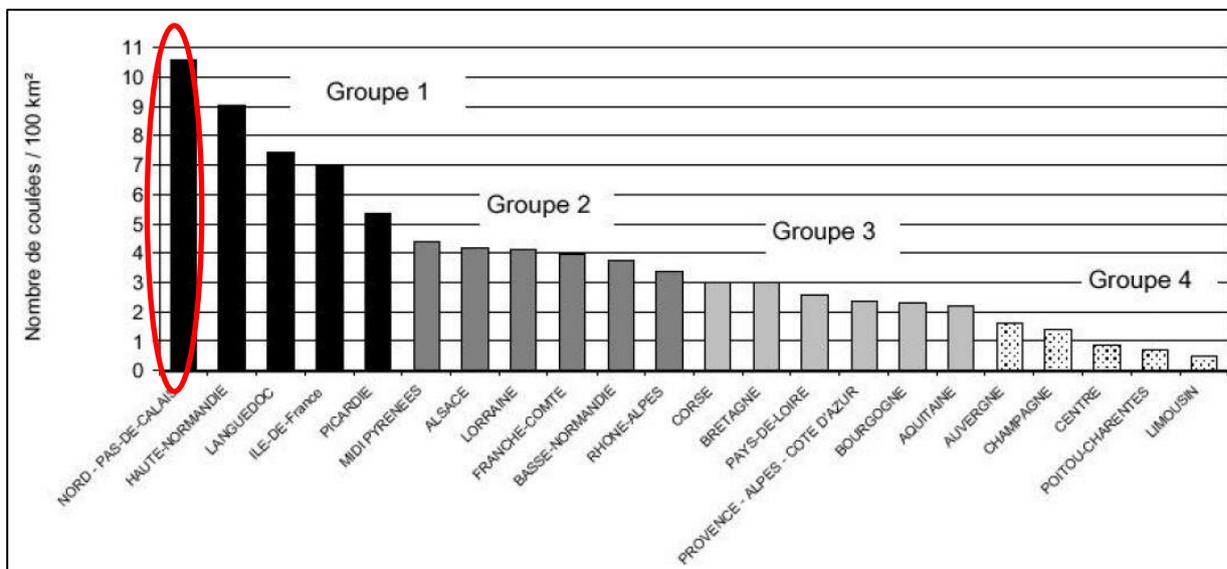


Figure n° 3.2-1 : Histogramme des densités de coulées de boues (dossier de demande d'indemnisation) par région de 1985 à 2001. (Source : base des coulées de Boues - INRA 2002).

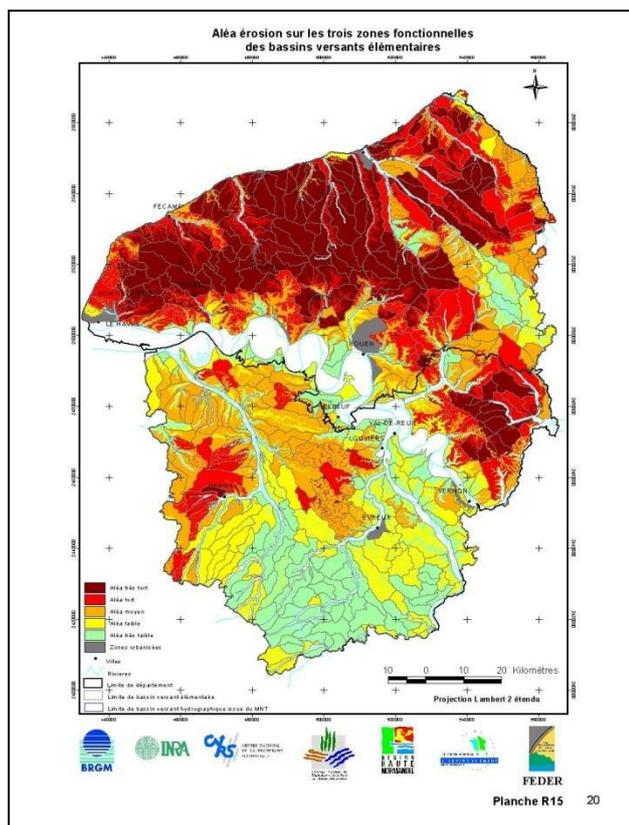


Figure n° 3.2-2 : Cartographie de l'aléa Erosion en Haute Normandie. (Sources : BRGM -INRA 2000).

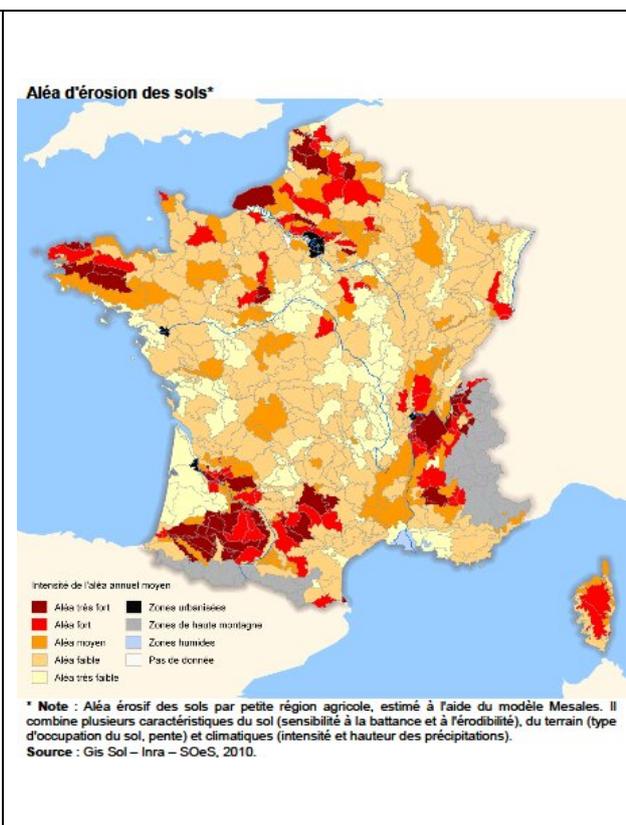


Figure n° 3.2-3 : Cartographie de l'aléa Erosion par petite région française. (Sources : SOeS & BRGM 2010).

3.2. Problématiques de ruissellement-érosion-pollution en pays de Caux.

La sensibilité du pays de Caux aux ruissellements et à l'érosion des sols a fait l'objet de nombreuses publications scientifiques. Elle est bien connue et bien établie (Boiffin et al 1988, Papy et al. 1988, Ouvry J.F., 1989, Eimberck M., 1989-90, Auzet V. et al. 1990, King D., et al. 1992, Ludwig B., 1992, Martin Ph. 1997, Souchère V. 1995, Le Bissonnais et al. 1996, Lecomte V., 1999, Cerdan O. 2001).

Ce territoire fait partie des zones les plus touchées du Nord de la France et de l'Europe, comme dans les régions limoneuses de grandes cultures soumises à un climat pluvieux d'automne-hiver, ou plus rarement à des épisodes printaniers de pluies intenses. Ainsi, sur la période 1985-2001, l'INRA a démontré que la Haute-Normandie était la seconde région de France en termes de densité de coulées de boues par km² (Figure n° 3.2-1) avec une densité de l'ordre de 9 coulées de boues par km² en 16 années.

Les cartes de l'aléa Erosion des terres élaborées par l'INRA et le BRGM en 2000 sur la Haute-Normandie (Figure n° 3.2-2), et révisées à l'échelle française par le BRGM en 2010 (Figure n° 3.2-3) illustrent la vulnérabilité du pays de Caux. *Les résultats obtenus sur le BV de Bourville aux paragraphes suivants en donneront la preuve.*

A l'échelle des bassins versants de plusieurs km², les lames ruisselées annuelles varient de 0 à 10 mm, mais elles peuvent être bien supérieures sur des surfaces plus petites comme au Fond des Tilleuls sur le Bassin Versant de Bourville. Le taux d'érosion (arrachement de particules) varie de 0,5 à 10 t/ha de bassin versant/an, avec une moyenne proche de 7t/ha/an (Y. Le Bissonnais). Mais il y a eu des crises pouvant localement produire une érosion de 20 à 50 t/ha sur certaines parcelles particulières (Govers *et al.*).

En pays de Caux, le processus érosif majoritaire est appelé : érosion par ruissellement concentré, ce qui signifie que l'érosion se développe essentiellement sur le chemin de l'écoulement par concentration des flux diffus. Ainsi les figures d'érosion apparaissent régulièrement sur les axes de talwegs et sur les bouts de champs situés en aval, dans la dérayure laissée par les outils de travail du sol. Il y a aussi des manifestations d'érosion diffuse sur l'ensemble de la surface parcellaire lorsque les sols sont nus. Le taux d'érosion par ces processus avoisine 0,5 t/ha/an (Evrard *et al.*, 2008).

Malgré les faibles intensités de pluie hivernale (2 à 10 mm/h), les processus de dégradation de la structure motteuse superficielle des sols sont possibles compte tenu de leur très faible stabilité structurale. Cela conduit à la formation de croûtes de battance assez épaisses (2 à 20 mm) de très faible perméabilité : 1 à 2 mm/h en condition saturée (Boiffin *et al.*, 1987).

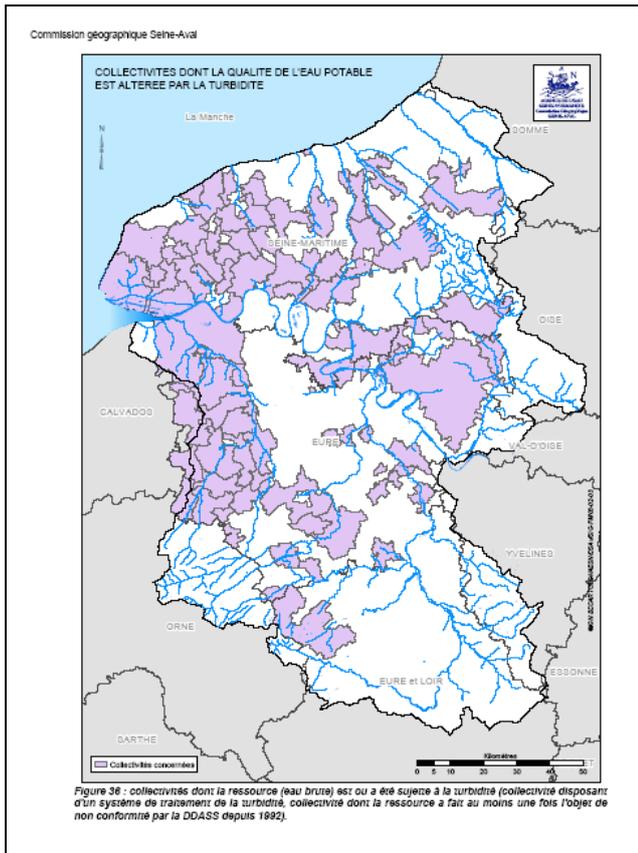


Figure n° 3.2-4 : Cartographie de l'aléa Erosion par petite région française (Sources : BRGM, 2010)

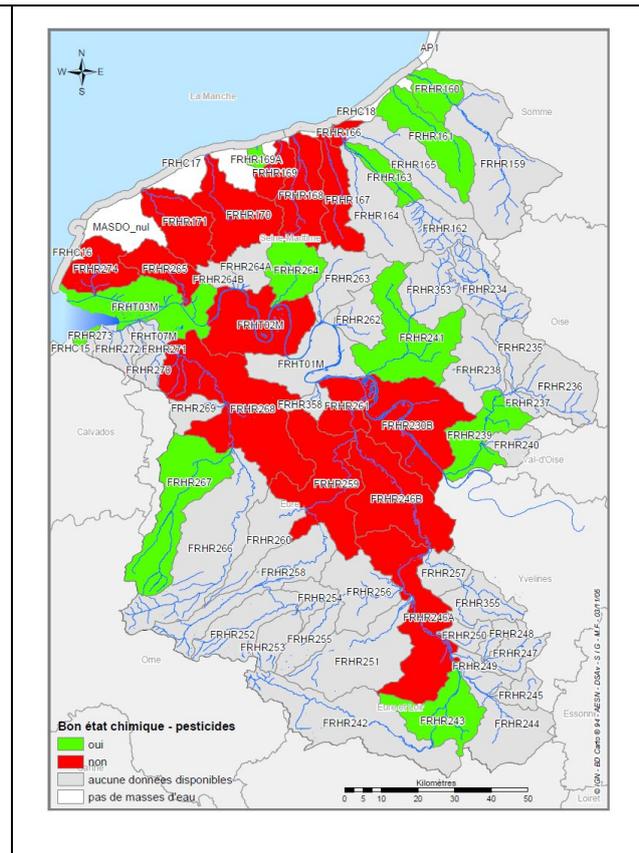


Figure n° 3.2-5 : Etat des détections des pesticides dans les eaux de surface – mesures sur eau (Source : AESN - élaboration du SDAGE, décembre 2005).

Compte tenu de la géologie régionale et du karst fortement présent, ces ruissellements et ces érosions des terres engendrent de forts impacts sur la ressource en eau potable avec des épisodes de forte turbidité pouvant atteindre 5 000 NTU, et des pollutions par les produits phytosanitaires lessivés sur les terres agricoles.

Les cartes élaborées par l'AESN (Figures n° 3.2-4 et 3.2-5) illustrent les points d'eau concernés par la turbidité, avec leurs aires de distribution. Au cours des dernières années, en moyenne 1 000 à 20 000 habitants sont privés d'eau potable pendant 8 à 15 j/an.

Du point de vue des transferts de pesticides, dans son bilan sur la qualité des eaux distribuées en Haute-Normandie de 2013, l'ARS fait état de 38 Unités de Distribution (UDI) alimentant 135 000 personnes concernées par au moins une analyse dépassant le seuil de 0,1µg/l au cours de l'année. 23 UDI sont touchées par 2 dépassements ou plus, et représentent 61 000 habitants.

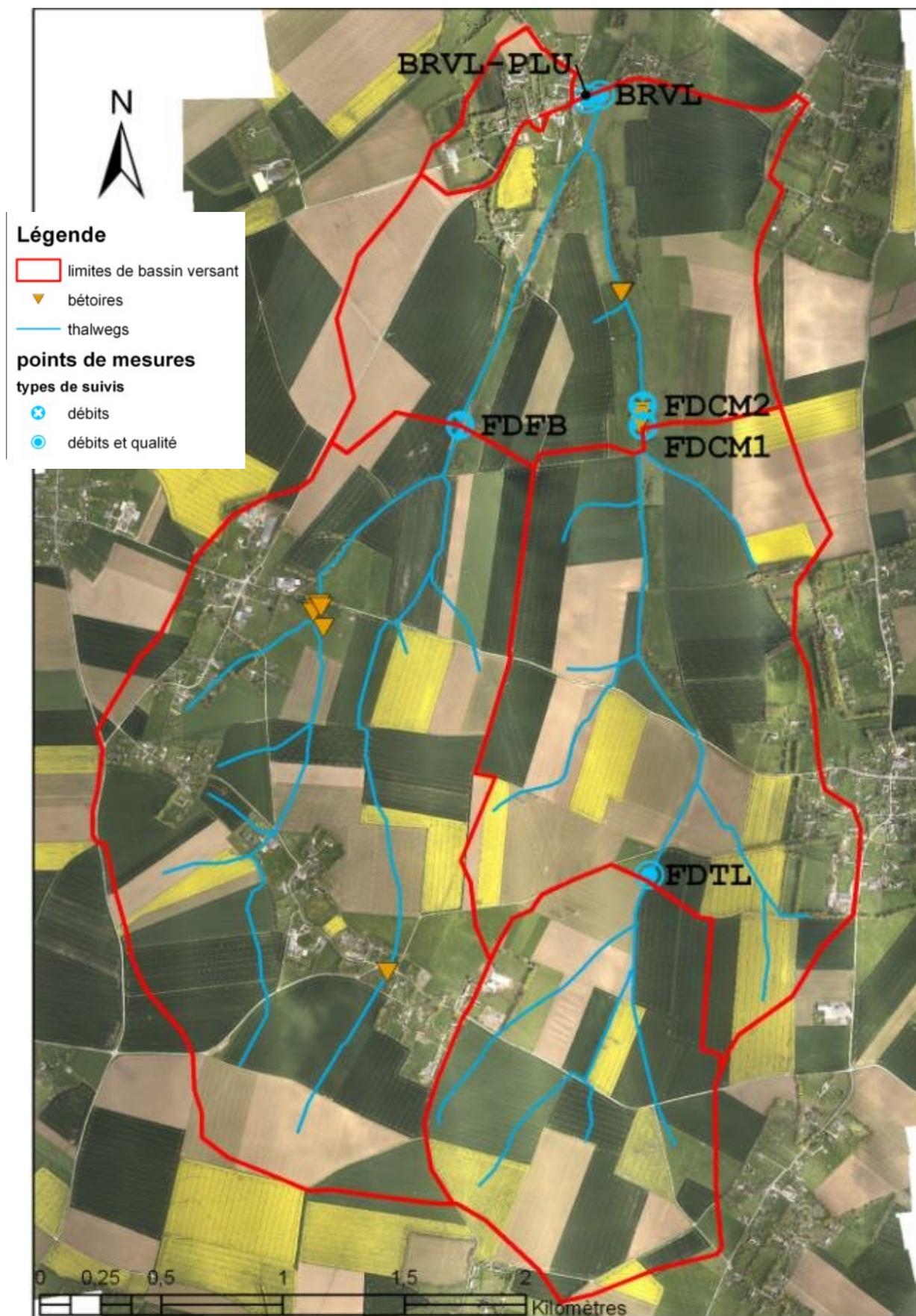


Figure n° 4.1 : Carte du Bassin versant de Bourville, sur ortho photo IGN avec l'occupation du sol de 2010.

4. Caractéristiques du bassin versant de Bourville et des sites de mesures

Le bassin versant de Bourville (Figure n° 4.1) est constitué d'un plateau entaillé de 2 vallées sèches orientées Sud-Nord qui se rejoignent à 250 m avant l'exutoire général du Bassin versant de Bourville (BRVL). Ces 2 vallées sèches sont parallèles. La longueur totale du Bassin Versant est de 4,6 km et la largeur maximale est de 3,1 km. L'exutoire se caractérise par un ponceau en brique sous la route départementale surélevée qui constitue une sorte de barrage à la vallée principale. La chaussée de la voirie se situe à plus de 5 m au-dessus du terrain naturel de la vallée sèche. Ce site est propice à l'installation de matériel de mesure de ruissellement.

Ce bassin versant a fait l'objet d'un levé topo LIDAR en 2012 qui permet une détermination très précise des limites et des surfaces de l'ensemble du bassin versant et de chaque sous bassin versant.

Ce bassin versant de Bourville s'étend sur 1 045 ha. Il n'est drainé par aucun cours d'eau, et il n'y a pas de fossé, hormis ceux en bord de certaines voiries départementales. Depuis 1995, il fait l'objet d'un suivi pluviométrique et hydrométrique en continu pour caractériser les ruissellements et les crues de la région.

En 2007, le suivi a été élargi par un suivi qualitatif des eaux de ruissellement de chaque crue :

- Paramètres physico chimiques : Matières En Suspension (MES), Phosphore total et orthophosphate, Azote : NO₃, NH₄, Turbidité,
- Micropolluants organiques : Résidus de Pesticides sur eau brute.

Ce suivi à l'exutoire du bassin versant a été doublé par la connaissance des usages de pesticides auprès de tous les agriculteurs du bassin versant. A partir de novembre 2010, le premier programme Pesticéros a été engagé avec l'ajout d'autres points de suivi et mesures, par la systématisation d'analyse sur eau filtrée et sur MES et par l'augmentation du nombre de résidus suivis. Toutes les données sont bancarisées et géo-référencées.

Ce bassin versant est situé au cœur du pays de Caux. Tant du point de vue pédologique que agricole, géomorphologique et géologique, il est représentatif de tous les bassins versants des régions limoneuses du pays de Caux, et plus largement des régions limoneuses du nord de la France, voire de l'Europe.

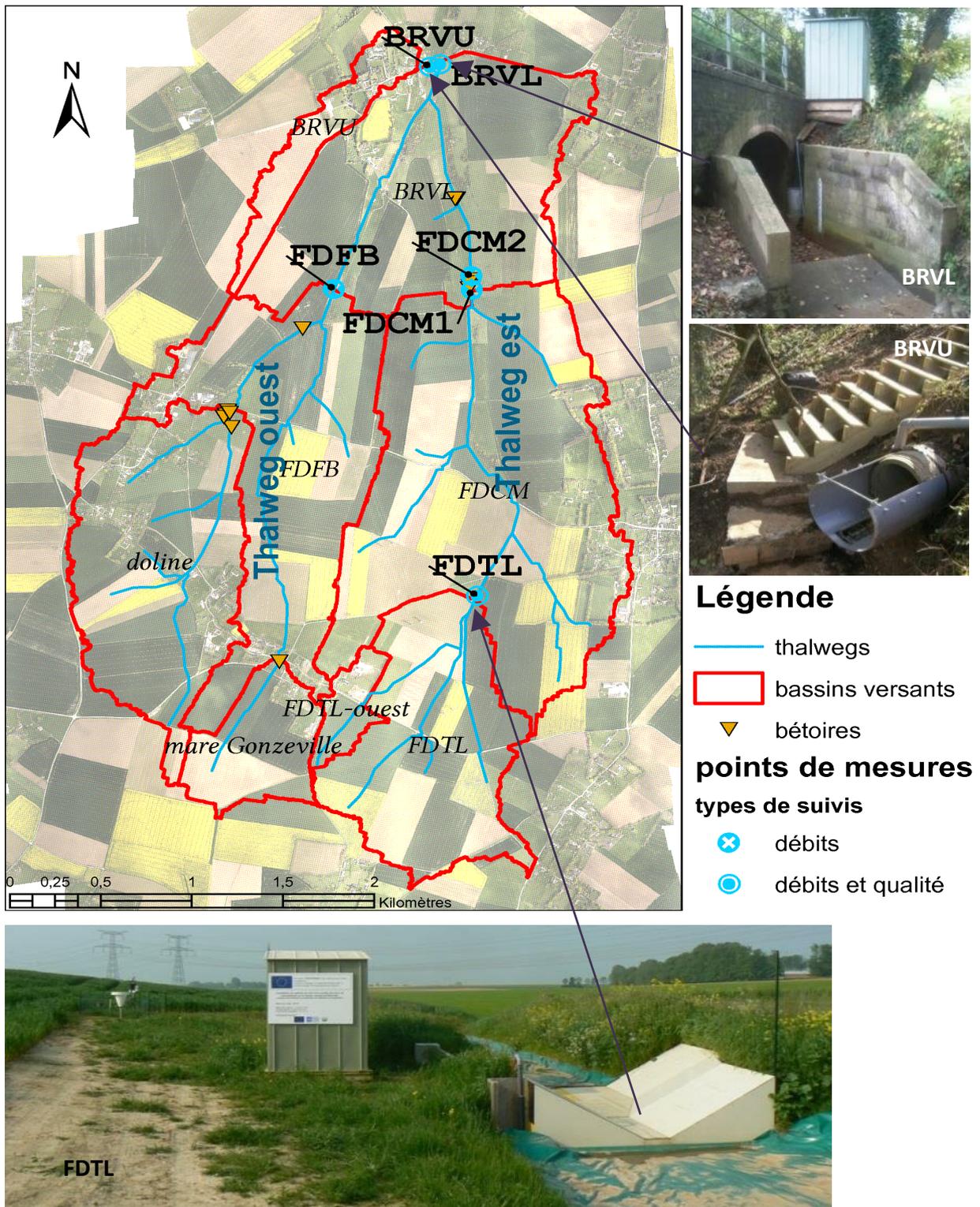


Figure n° 4.1-1 : Carte du Bassin versant de Bourville, avec localisation des points de suivi, sur ortho photo IGN.

4.1. Sites de mesures sur le bassin versant de Bourville.

Le BV de Bourville est équipé de cinq stations de mesures (Figure n° 4.1-1) :

- A l'exutoire - **BRVL** : une station de mesures quantitatives, qualitatives et pluviométriques depuis 2007, où sont effectuées en continu des mesures quantitatives et qualitatives des ruissellements. (Coordonnées Géographiques : Lat. = 49°795630 ; Long = 0°823488)

- Sur deux sous bassins versants, des stations de mesures complètes identiques :
 - Une au Fond des Tilleuls, **FDTL**, là aussi avec un pluviographe, sur un sous bassin versant amont entièrement agricole ; (Coordonnées Géographiques : Lat. = 49°766237 ; Long = 0°827167)
 - Une à l'exutoire du réseau pluvial du village de Bourville, sur un sous bassin versant amont plus urbanisé et avec 2 parcelles agricoles : **BRVU** ; (Coordonnées Géographiques : Lat. = 49°795170 ; Long = 0°822660)

- Sur deux sous bassins versants intermédiaires, des stations de mesures de débits :
 - L'un sur le talweg Est, en amont et en aval d'un champ de bétouilles afin d'approcher les capacités d'infiltration de tels objets ; (Coordonnées Géographiques : Lat. = 49°782990 ; Long = 0°826267)
 - L'autre sur le talweg Ouest dans le fond juste en amont du barrage de 10 000 m³ construit par le syndicat de bassin versant en 2012. (Coordonnées Géographiques : Lat. = 49°782846 ; Long = 0°815787)

Sur l'ensemble du BV, les pratiques culturales et les traitements phytosanitaires, agricoles et non agricoles, sont également suivis, à partir d'enquêtes annuelles.

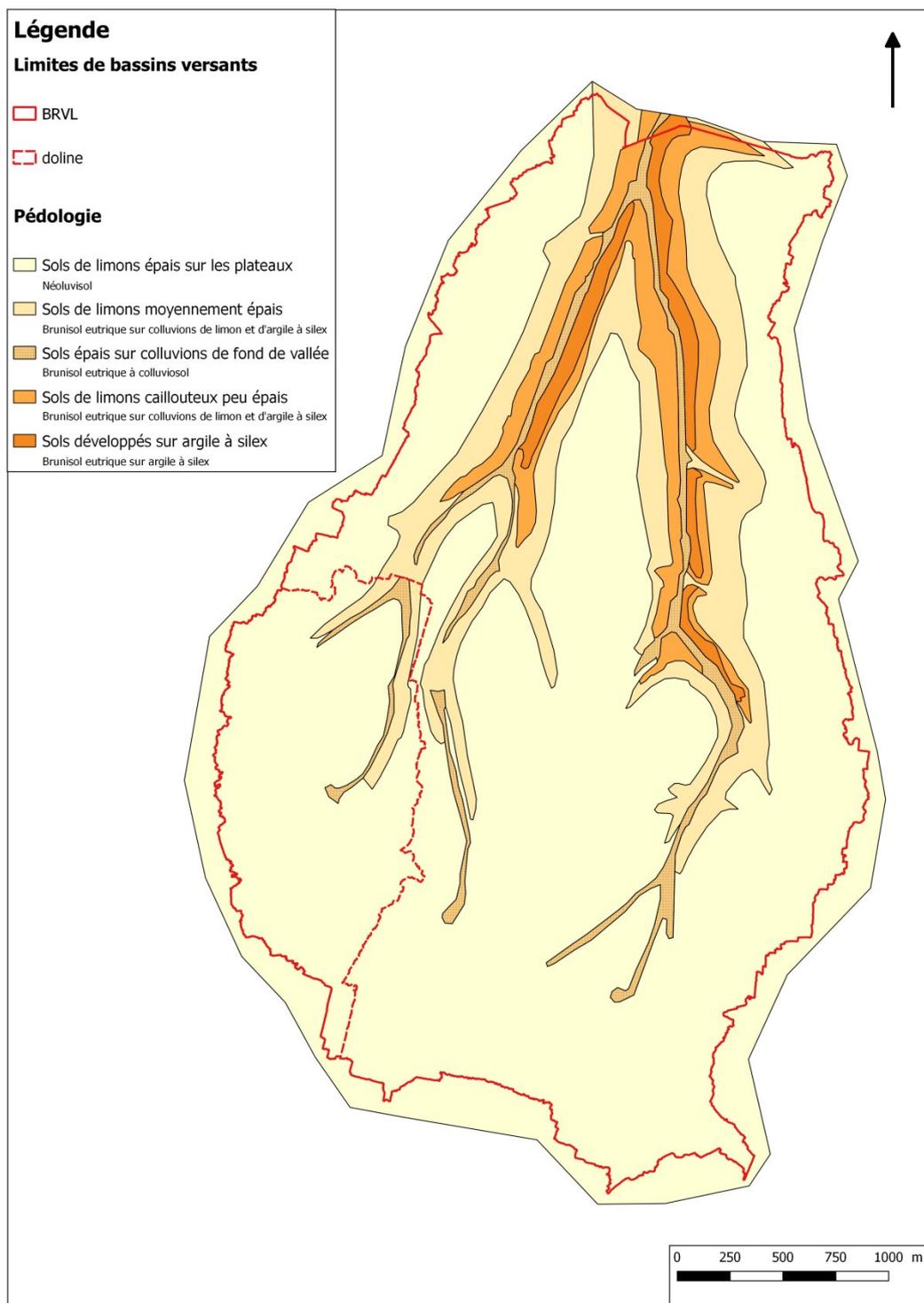


Figure n° 4.2-1 : Carte des sols du Bassin versant de Bourville construite à dire d'expert sur la base, de la carte des sols de Haute-Normandie (CEN 2018), des données du RRP, de la carte géologique du BRGM et de la carte topo Lidar.

4.2. Les Sols du bassin versant

La majorité des sols du bassin versant est développée dans le matériau géologique constitué de limons éoliens (Würm) épais à très épais sur le plateau (Figure n° 4.2-1). Leur épaisseur s'amincit à mesure que l'on se rapproche des bords pentus (10 à 15 %) des vallées sèches encaissées au nord du Bassin versant. Sur ces zones marginales couvertes par des bois, les argiles à silex affleurent. Il n'y a pas de sol hydromorphe sur ce bassin versant.

Les sols ont été décrits par les pédologues du Conservatoire de Espaces Naturels de Normandie (CEN). Cinq Fosses pédologiques (F140 à F144) sont situées sur le bassin versant de Bourville (sources RRP réalisé par le CEN).

On distingue 3 principales catégories de sols avec des sous types dans les limons :

a. Sols de limons :

- Les sols de limons épais sur les plateaux (*Néoluvisol*). Ces sols ont une épaisseur comprise entre 1 et 5 m, entièrement développés dans le loess éolien du quaternaire récent. La texture de surface est Limono-sablo argileuse, très battante (12-14 % d'argile ; 55-65 % de limons et 25-30 % de sables fins). La teneur en matière organique dans les sols labourés varie entre 1,2 et 1,8 %. Ces sols sont situés sur les pentes faibles inférieures à 3 %. Ils n'ont pas de charge en cailloux. Lorsque la croûte de battance est généralisée sur toute la surface, l'infiltrabilité minimale est de l'ordre de 2 mm/h.
- Les sols de limons moyennement épais (0,6 à 1 m) en ceinture des sols précédents sur des pentes comprises entre 3 et 6 % (*brunisol eutriqué sur colluvions de limon et d'argile à silex*). La texture reste limono-sablo-argileuse, mais avec une augmentation de la teneur en argile, (14-18 % d'argile ; 55-65 % de limons et 20-25 % de sables fins). Les niveaux de battance et d'infiltrabilité restent proches de ceux des sols précédents, mais quelques silex peuvent apparaître dans la couche labourée.
- Les sols de limons caillouteux peu épais (0,3 à 0,6 m) en ceinture des sols précédents sur les pentes comprises entre 6 et 10/12 % (*brunisol eutriqué sur colluvions de limon et d'argile à silex*). On distingue 2 variantes pour ce type de sols selon l'exposition des vallées en lien avec la dissymétrie des vallées du pays de Caux, suite aux conditions de dépôts des limons éoliens pendant la période glaciaire, et la charge en cailloux :
 - Variante 1 : Les sols sur pente exposée à l'Est : La texture est limono-argilo-sableuse avec un risque de battance moyen ; la charge en silex est moyenne. Lorsque la croûte de battance est généralisée sur toute la surface, l'infiltrabilité minimale est de l'ordre de 5 mm/h.
 - Variante 2 : Les sols sur pente exposée à l'ouest : La texture est limono-argileuse avec un risque de battance faible à moyen ; la charge en silex est moyenne à élevée. Lorsque la croûte de battance est généralisée sur toute la surface, l'infiltrabilité minimale est de l'ordre de 10 mm/h.

b. Sols développés sur argile à silex : (*Brunisol eutriqué sur argile à silex*)

- Ces sols sont peu épais (épaisseur inférieure à 0,5 m). La texture de surface est argileuse, non battante. Ils sont situés uniquement sur pente forte, supérieure à 12 % des versants exposés à l'ouest. Ils sont caillouteux. La plupart du temps, ils sont couverts de bois et parfois de prairies. Sur ce bassin versant, ils ne sont pas labourés.

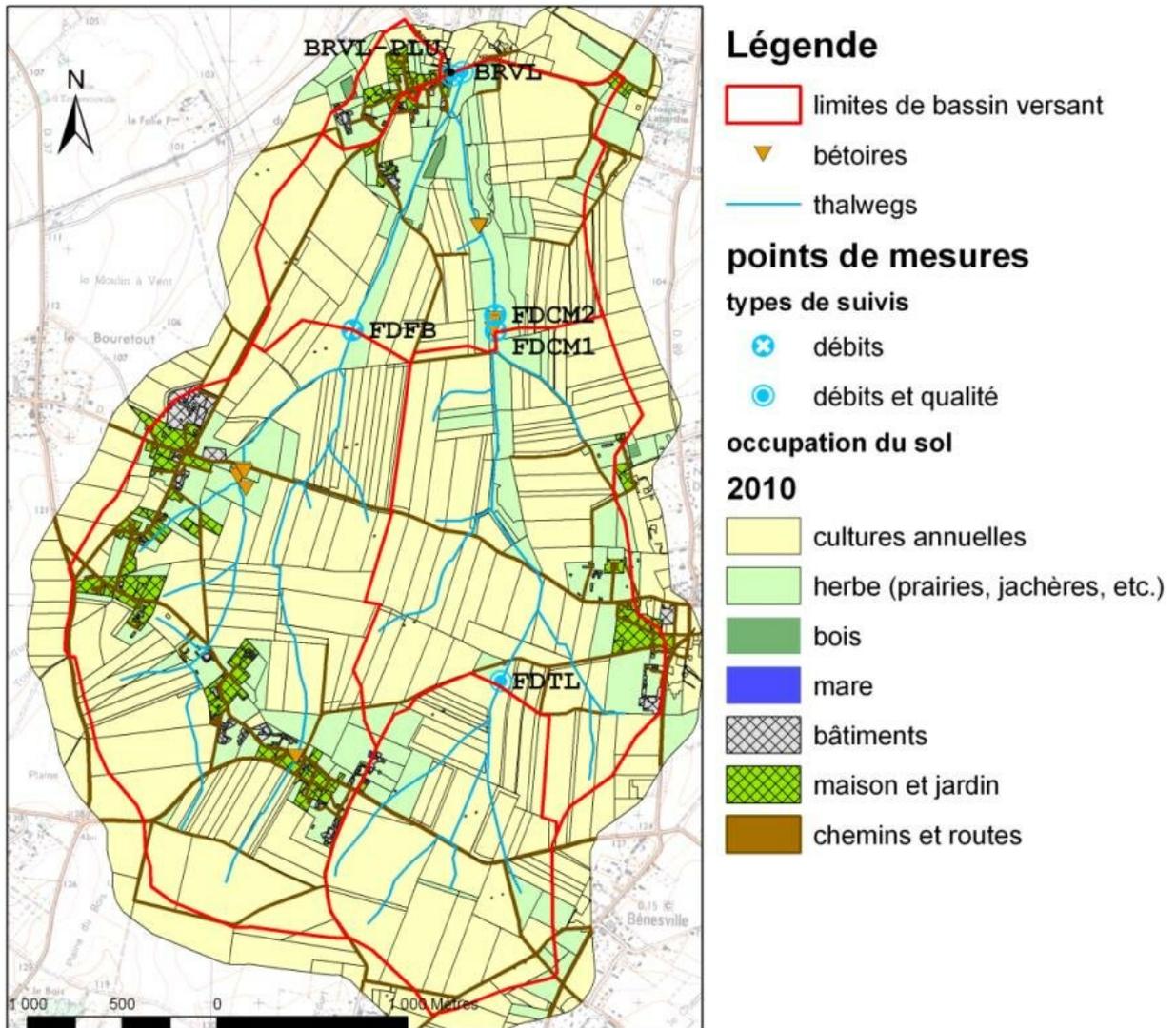


Figure n° 4.3-1 : Carte d'occupation du sol du Bassin versant de Bourville.

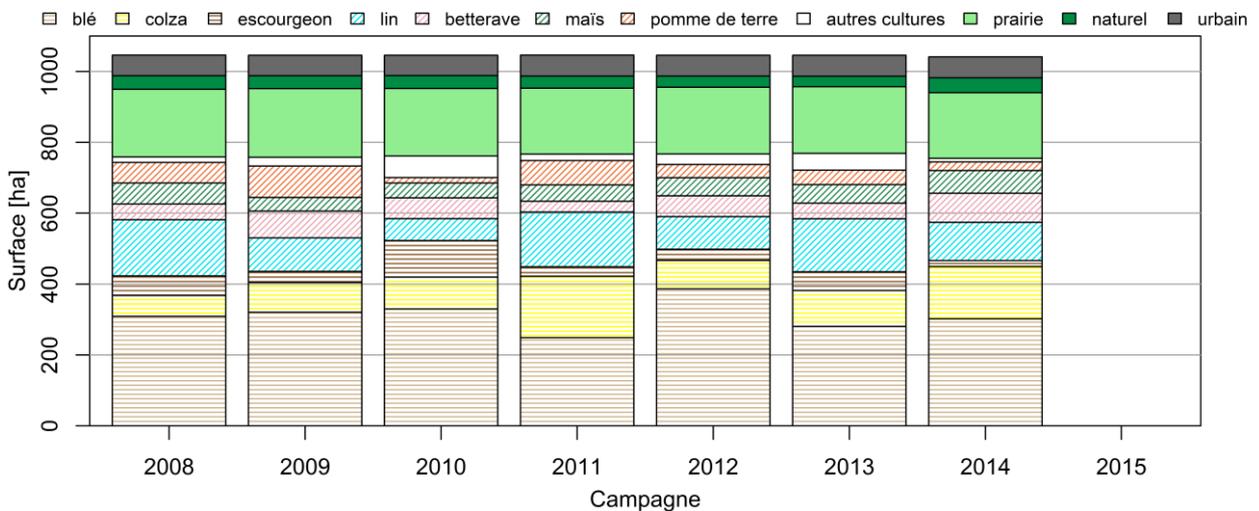


Figure n° 4.3-2 : Evolution annuelle de l'occupation du sol du Bassin versant de Bourville.

c. Sols épais sur colluvions de fond de vallée : (de Brunisol eutrique à colluviosol et luvisol typique)

- Ces sols ont une épaisseur de plusieurs mètres, entièrement dans les colluvions de limons, soit de pied de versant, soit de talweg.

La texture de surface est sablo-limono-argileuse, battante, avec une forte capacité d'infiltration. La teneur en matière organique dans ces sols est identique à celle des limons profonds. Ils sont situés uniquement sur des pentes très faibles inférieures à 1,5 %. Ils n'ont pas de charge en cailloux et ne sont pas hydromorphes. Lorsque la croûte de battance est généralisée sur toute la surface, l'infiltrabilité minimale est de l'ordre de 10 mm/h.

4.3. Occupation du sol sur le bassin versant complet : BRVL

L'agriculture occupe 90,9 % des 1 045 ha de la surface totale du bassin versant. Les zones urbanisées peu denses des villages ne couvrent que 58,7 ha, soit 5,5 % de la surface totale, et les bois 36,7 ha, soit 3,6 % de la surface totale. Ces surfaces sont très stables et n'ont pas évolué sur la période d'étude : 2007-2016.

On constate (Figure n° 4.3-1) que les 5 villages avec leurs zones bâties sont répartis en périphérie du bassin versant sur/ou en bordure des lignes de délimitation du bassin versant.

En moyenne, les surfaces agricoles se répartissent en 763 ha en labour (4/5), et 186 ha en prairie (1/5). Ainsi les labours couvrent 73,1 % du bassin versant général. Cette faible proportion de prairies confirme l'orientation des exploitations vers les grandes cultures. Durant la période d'étude, les surfaces en prairie ont diminué progressivement de 190 ha à 176 ha, soit une diminution des surfaces de 14 ha (- 7,4 %). Les surfaces labourées ont augmenté d'autant.

(moyenne en ha.)	BRVL	FDTL	BRVU
Surfaces totales	1045	145	33
Surfaces Boisées	36,7	2	0
Surfaces non agricoles : village et voirie.	58,7	4	7,6
Prairies	186	14	6,5
Surfaces cultivées en labour	763	125	18,9

Tableau n° 4.3-1 : répartition moyenne de l'occupation du sol sur le bassin versant de Bourville.

Les prairies sont réparties selon une logique simple et classique :

- autour des corps de ferme, à proximité des bâtiments d'élevage
- sur les terres les plus difficiles à exploiter :
 - les pentes fortes (> 12 %),
 - dans les fonds de talwegs étroits et encaissés,
 - les sols non labourables (sur argile à silex) mais qui sont aussi les parcelles en forte pente.

Globalement et en moyenne, l'occupation du sol, notamment en culture est restée stable de 2008 à 2016 (Figure n° 4.3-2). On observe des différences de surfaces inter-campagnes, mais il n'y a pas de tendance évolutive à l'augmentation ou à la diminution des principales cultures. Les systèmes sont bien établis.

campagne	blé (ha)	colza (ha)	escourgeon (ha)	lin (ha)	betterave (ha)	maïs (ha)	pomme_de_terre (ha)	autres_cultures (ha)	prairie (ha)	permanent_naturel (ha)	permanent_urbanisé (ha)	inconnu (ha)	somme
2008	308,87	58,92	58,75	158,28	44,52	59,38	57,91	6,35	190,77	41,19	58,11	2	1045,1
2009	320,39	83,97	32,53	94,81	75,33	38,74	88,40	3,55	193,98	38,70	57,73	17	1045,1
2010	335,34	89,82	110,88	61,74	58,76	41,78	15,31	0,91	190,72	36,53	57,76	45	1044,6
2011	248,65	173,35	35,08	154,46	30,61	45,99	68,97	3,20	185,60	34,40	58,99	6	1045,3
2012	386,43	80,22	40,17	92,14	58,68	50,84	37,51	6,54	187,99	31,49	59,04	14	1045,0
2013	280,27	101,73	88,96	145,77	48,09	52,20	40,78	6,19	190,10	31,49	59,04	0	1044,6
2014	297,62	147,50	17,00	107,79	81,94	64,20	28,27	9,68	186,03	54,50	59,04	0	1053,6
2015	330,08	59,59	33,89	134,71	80,18	24,81	30,89	78,95	168,37	34,13	58,10	11	1044,7
2016	265,68	91,77	62,51	120,53	31,79	56,44	78,89	17,83	176,76	28,29	60,22	54	1044,7
moyenne	308,1	98,5	53,3	118,9	56,7	48,3	49,7	14,8	185,6	36,7	58,7	16,6	1045,9
%	29,5%	9,4%	5,1%	11,4%	5,4%	4,6%	4,7%	1,4%	17,7%	3,5%	5,6%	1,6%	100,0%
TL	308,1	98,5	53,3	118,9	56,7	48,3	49,7	14,8				16,6	764,9
%	40,3%	12,9%	7,0%	15,5%	7,4%	6,3%	6,5%	1,9%				2,2%	100,0%

Tableau n° 4.3-2 : Proportion de chaque culture par rapport aux surfaces en TL au cours des 9 campagnes suivies à BRVL

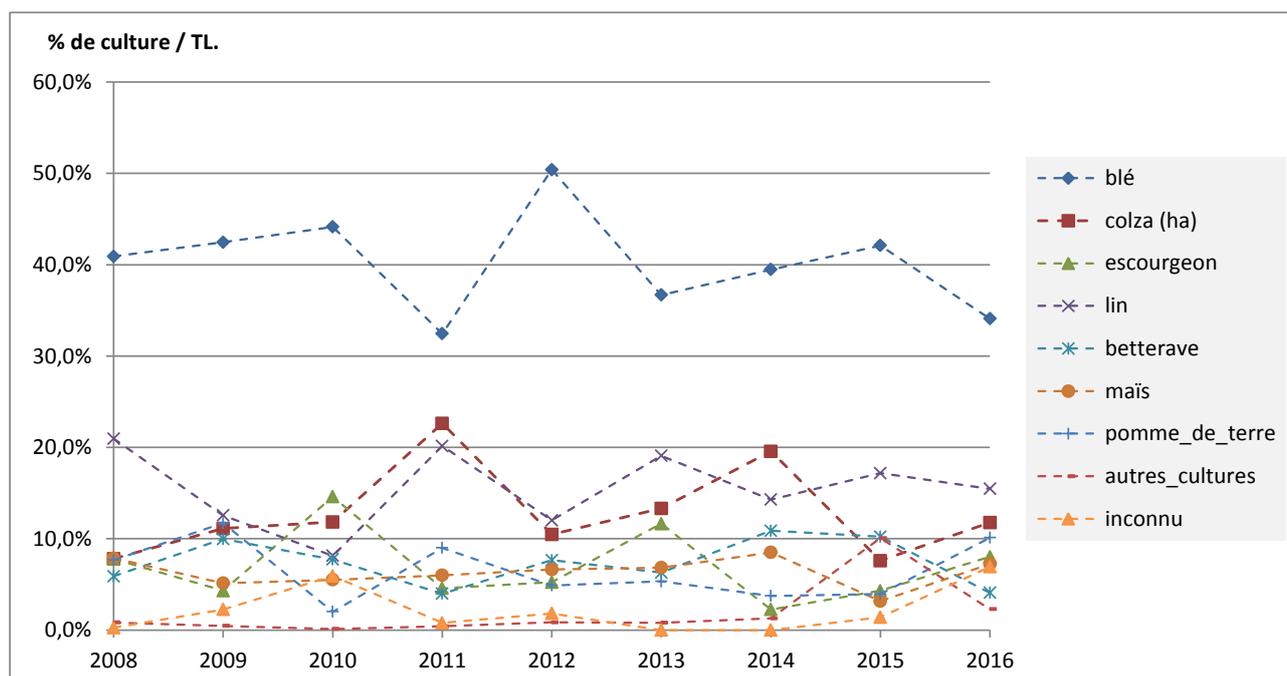


Figure n° 4.3-3 : Evolution interannuelle de la part de chaque culture par rapport aux surfaces en TL au cours des 9 campagnes suivies à BRVL

L'occupation du sol de l'année 2013 est assez proche de l'occupation du sol moyenne sur les 9 campagnes.

En moyenne sur 9 campagnes, la répartition des cultures se fait entre 60,1 % en culture d'hiver et 39,9 % en culture de printemps (Tableau n° 4.3-3 ci-dessous). Les surfaces des différentes cultures peuvent varier de plus ou moins 20 % (jusqu'à 50 % pour le blé d'hiver) d'une année sur l'autre au sein du BV, compte tenu du fait que les exploitations n'ont qu'une partie de leur exploitation agricole dans le bassin versant.

Cultures	% de chaque culture par rapport aux TL à BRVL	
	Moyenne interannuelle	Variabilité interannuelle
Blé d'hiver	40,3 %	32,4 % à 50,4 %
Colza	12,9 %	7,6 % à 22,6 %
Escourgeon	7,0 %	2,3 % à 14,6 %
Lin	15,5 %	8,1 % à 21,0 %
Betteraves sucrières	7,4 %	4,0 % à 10,9 %
Maïs ensilage	6,3 %	3,2 % à 8,5 %
Pommes de terre	6,5 %	2,0 % à 11,7 %
Autres cultures	1,9 %	0,1 % à 10,1%
Inconnues	2,2 %	de 0,0 % à 6,9 % en 2010 et 2016.

Tableau n° 4.3-3 : Proportion de chaque culture par rapport aux surfaces en TL à BRVL.

Le détail par campagne est placé dans le Tableau n° 4.3-2 et le graphique Figure n° 4.3-3 ci-contre.

La répartition spatiale des cultures sur le bassin versant pour 9 campagnes de 2008 à 2016 sont illustrées sur les 9 cartes (Figure n° 4.3-4) ci-après.

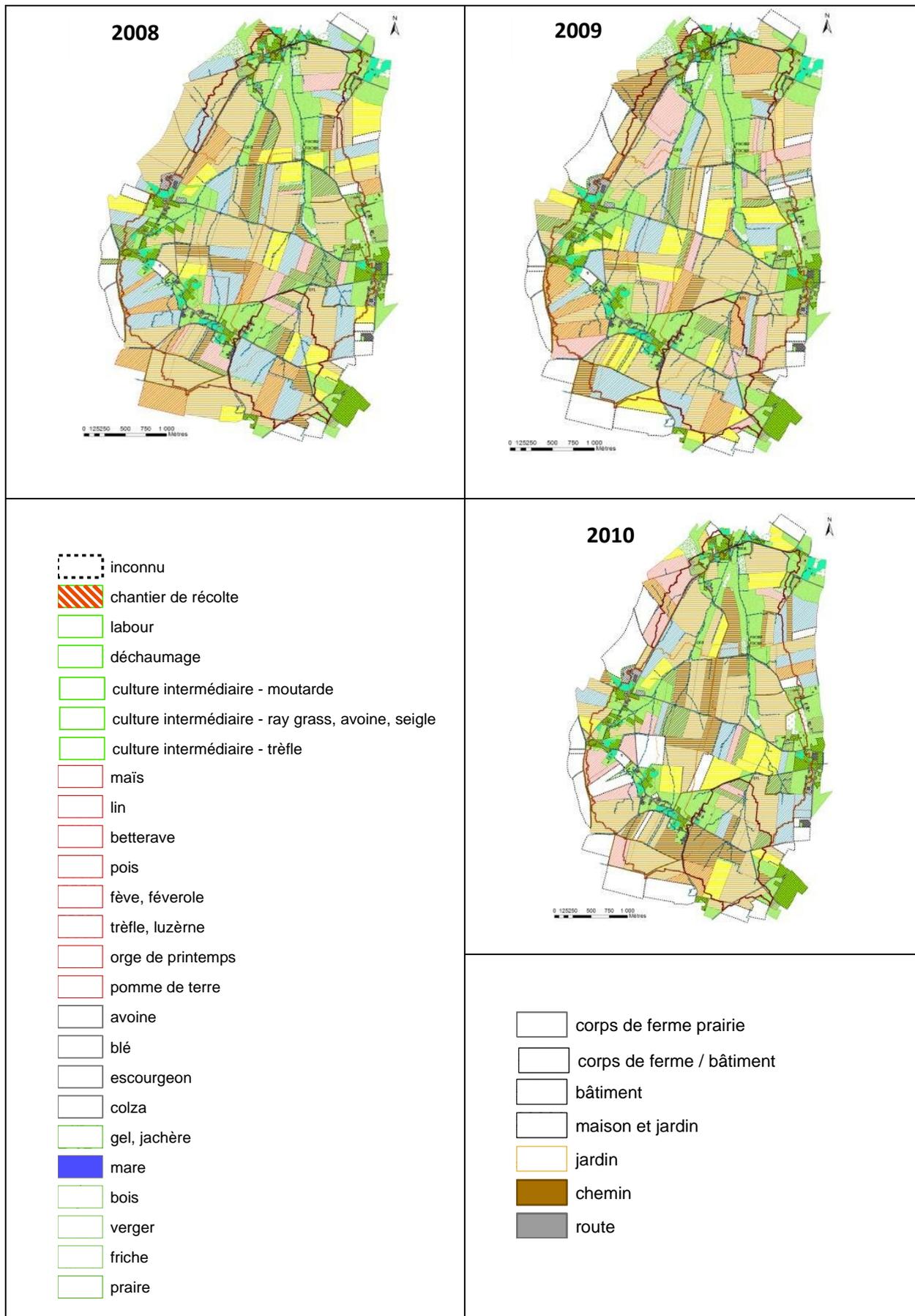
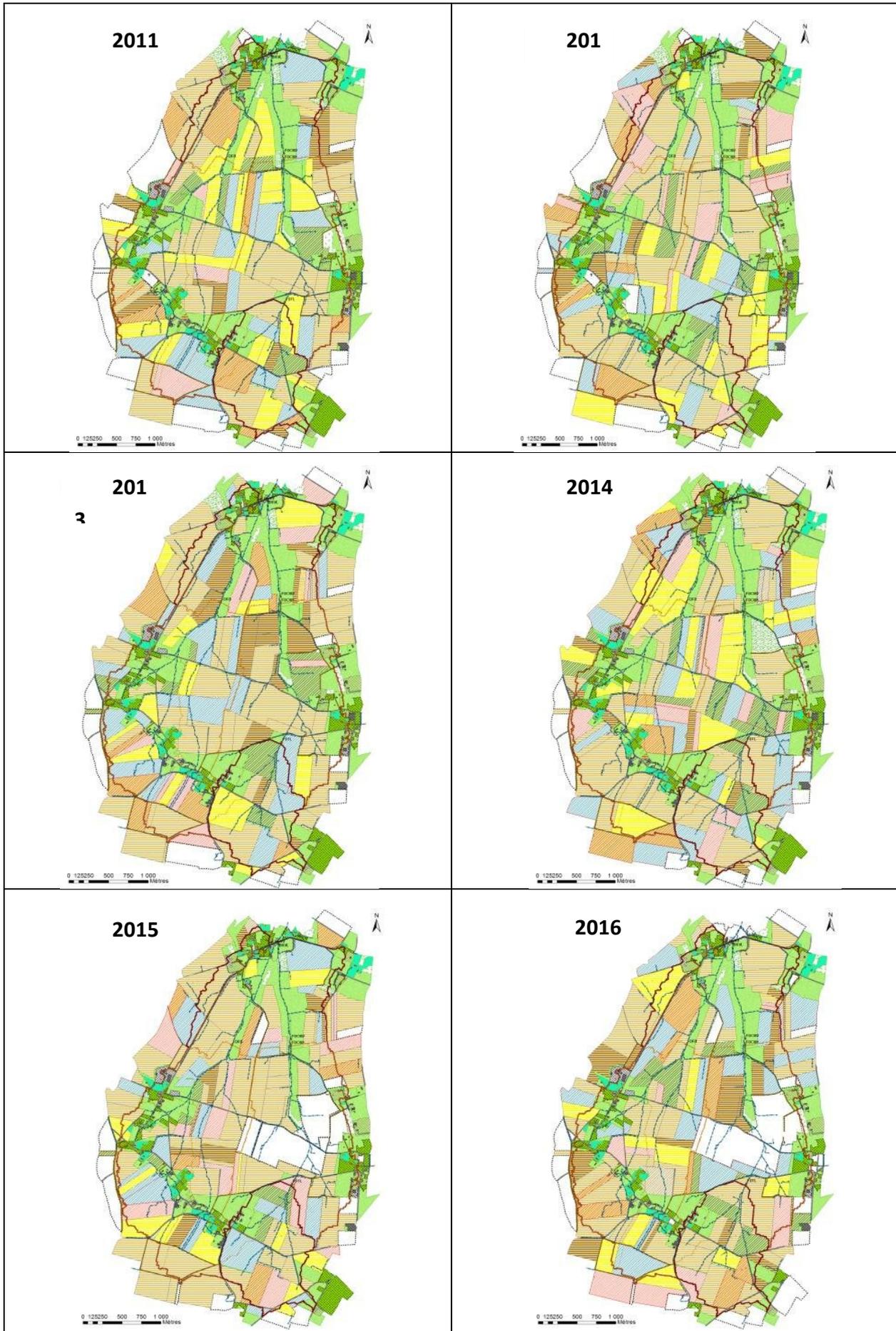


Figure n° 4.3-4 : Cartes de l'occupation du sol du Bassin versant de Bourville pour les 9 campagnes de 2008 à 2016.



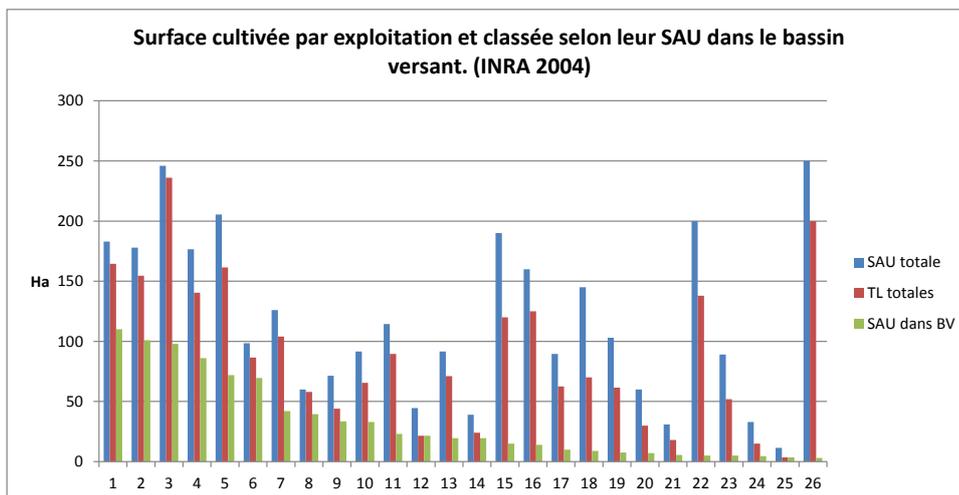


Figure n° 4.4-1 : Histogramme par exploitation de la SAU totale, des terres labourées totales et de la SAU dans le Bassin versant de Bourville. (Source : A. Joannon, 2004)

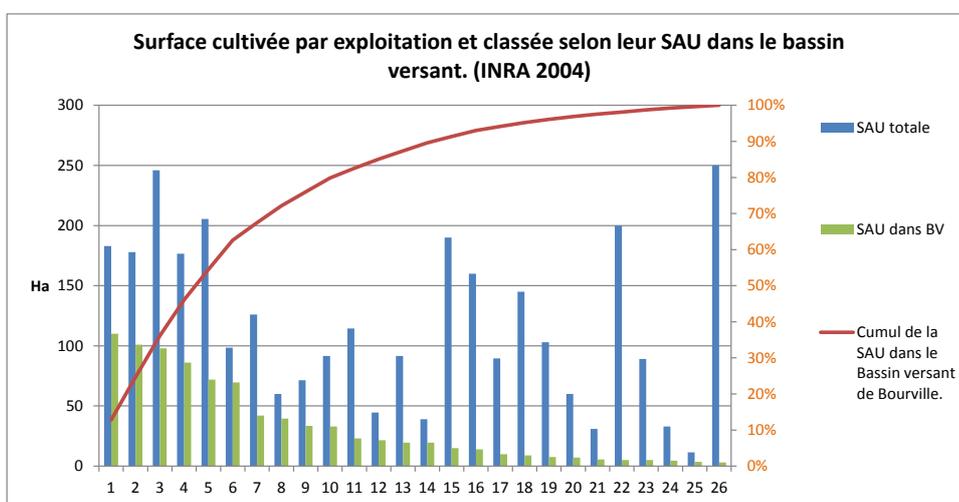


Figure n° 4.4-2 : Histogramme par exploitation de la SAU totale, et de la SAU et du cumul des SAU dans le Bassin versant de Bourville. (D'après A. Joannon, 2004)

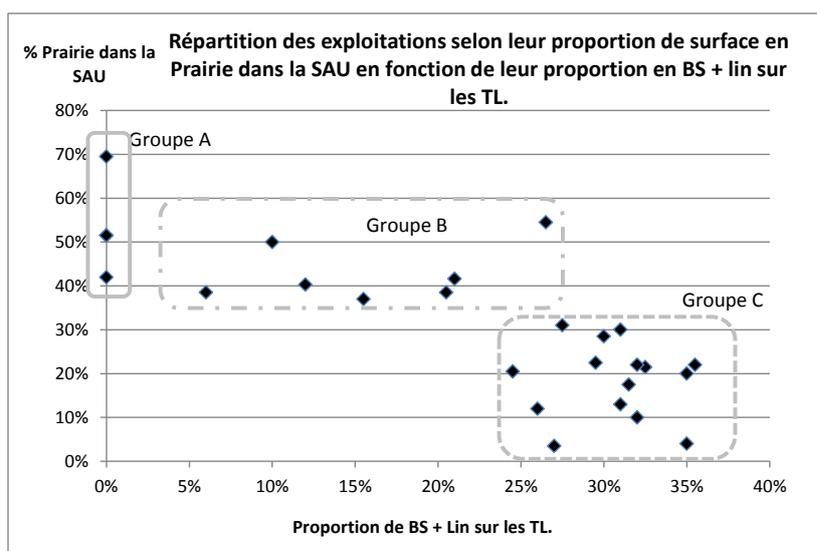


Figure n° 4.4-3 : Classement des exploitations de BRVL en 3 groupes selon leur proportion en Prairies dans la SAU et leur proportion en cultures de lin et betteraves par rapport au TL.

4.4. Exploitations agricoles sur le bassin versant

Dans le cadre du programme Pesticéros, nous avons connaissance de toutes les occupations du sol et des pratiques des exploitations dans le bassin versant. 26 agriculteurs exploitent les terres du bassin versant de Bourville. Aucun d'entre eux n'a son exploitation en totalité dans le bassin versant.

Les informations globales des exploitations n'ont été renseignées avec précision qu'en 2000 dans la thèse d'Alexandre Joannon. Nous reprenons ici les éléments issus de son travail de recherche.

Caractérisation technico-économique des exploitations en 2000 sur le bassin versant de Bourville :

(Source : A. Joannon 2004 d'après enquête sur l'occupation du sol de 2004.)

9 fermes exploitent de 150 à 250 ha et 6 moins de 50 ha. Dans le bassin versant, 3 fermes exploitent près de 100 ha, 3 autres entre 70 et 86 ha, 8 entre 20 et 50 ha et les 12 autres, entre 3 et 20 ha. Ainsi 80 % des terres agricoles du bassin versant sont exploitées par 10 agriculteurs (Figures n° 4.4-1 et 4.4-2).

La plupart des exploitations ont un atelier élevage, associé aux surfaces en prairies. Ces surfaces en prairies sont variables et résultent soit de contraintes de pentes ou pédologiques soit de choix technico-économiques. Parmi ces exploitations, A. Joannon distingue trois groupes d'orientation technico-économiques, illustrés Figure n° 4.4-3.

- Le groupe **A** : Il est constitué de 3 exploitations tournées vers l'élevage avec un troupeau de vaches à lait. Ces exploitations sont caractérisées par une surface en herbe importante représentant 40 à 70 % de la SAU, par l'absence de cultures industrielles Betteraves, Lin et même Pommes de terre. Ceci fait que les cultures sont essentiellement des céréales, du maïs ensilage.
- Le groupe **B** : Il est constitué de 7 exploitations tournées vers l'élevage avec les vaches à lait et vers les cultures. Ces exploitations sont caractérisées par une surface en herbe importante, représentant 35 à 55 % de la SAU, et par la présence de cultures industrielles Betteraves et Lin dans des proportions inférieures à 25 %, en plus des céréales et du maïs ensilage.
- Le groupe **C**, majoritaire : Il est constitué de 16 exploitations tournées vers la grande culture et un peu d'élevage avec des vaches à lait ou des vaches allaitantes. Ces exploitations sont caractérisées par des surfaces en herbe faibles, inférieures ou égales à 30 % de la SAU, et par une proportion élevée de cultures industrielles Betteraves et Lin supérieures à 25 %, en plus des céréales, du colza et parfois des pommes de terre.

Contraintes déterminant la zone cultivable de chaque culture										
		LE	SC	OL	OIS	E	F	S	DT	IN
Parcellaire	Distance zone stockage					■	■			
	Accès difficile pour l'agriculteur					■	■	■		
	Accès difficile pour camions							■		
	Géométrie de la parcelle							■		■
Milieu	Pente et/ou cailloux				■		■	■	■	■
Agronomie	Repousses dans culture de BS			■						
	Désherbage difficile				■					
	Excès d'azote									■
	Pression parasitaire				■					■

Tableau n° 4.5-1 : Contraintes déterminant la zone cultivable de chaque culture sur le bassin versant de Bourville. (Source : A. Joannon, 2004)

Délais de retour et précédents cultureux appliqués		
	Principaux délais de retour (ans)	Principaux précédents cultureux
BLE	2-3	Tous sauf ESC
ESC	3-6	BLE
COL	3-6	ESC, BLE, LIN ou POIS
POIS	5-6	ESC, BLE, LIN ou BS
ME	Variable	BLE, ESC, LIN, ME, POIS ou BS
BS – BF	3-6	LIN, BLE ou ESC
PDT	5-6	BS, BLE, LIN, ESC ou POIS
LIN	5-6	BLE ou ESC

Tableau n° 4.5-2 : Délais de retour et précédents cultureux appliqués sur le bassin versant de Bourville. (Source : A. Joannon, 2004)

Cultures	Niveau d'exigence	Délai de retour	précédent culturel
Blé, colza, maïs, betteraves	faible	court	Plusieurs possibles
Escourgeon, pois, pommes de terre	moyenne	Long	un ou deux
Lin	forte	long	un

Tableau n° 4.5-3 : Classement des cultures en fonction de la longueur du délai de retour et des précédents cultureux sur le bassin versant de Bourville. (Source : A. Joannon, 2004)

4.5. Caractérisation des Assolements et des rotations des cultures

En 2004, dans son travail de thèse sur le bassin versant de Bourville, A. Joannon a classé les cultures et les assolements, selon les règles de successions culturales, les contraintes du milieu ou organisationnelles et les exigences agronomiques (Tableau n° 4.5-1 ci-contre).

Les règles liées à ces 3 critères n'ont pas changé sur la période 2008-2018.

Pour caractériser les types d'assolements observés en grandes cultures, A. Joannon s'appuie sur 3 paramètres : le délai de retour de la culture sur une même parcelle, les précédents possibles et leurs contraintes (Tableau n° 4.5-2 ci-contre).

Les cultures peuvent être classées en fonction de leur degré d'exigence vis-à-vis de la longueur du délai de retour et des précédents culturaux. A. Joannon a défini 3 classes de cultures : Tableau n° 4.5-3 ci-contre).

Tableau A des Successions culturales types sans la culture de pomme de terre.		
Durée de retour du Blé	3 ans	2 ans
	COL POIS ME / BLE BS / ESC BF	COL POIS ME / BLE, BS/F LIN
Exemple de succession culturale sur 6 ans	BS-BLE-ESC-POIS-BLE-LIN	BS-BLE-COL-BLE-LIN-BLE
Exemple de succession culturale sur 5 ans	BS-BLE-COL-BLE-LIN	
Parcelles sans lin, ni pois, ni betteraves : Exemple de succession culturale sur 3 ans.	COL-BLE-ESC ou ME-BLE-ESC	

Tableau n° 4.5-4A : Assolements types sur le bassin versant de Bourville. (Source : A. Joannon, 2004)

Tableau B des Successions culturales types avec culture de pommes de terre.		
Durée de retour du Blé	3 ans	
	COL ME / BLE PDT (POIS) /	LIN ESC BS ou BF (POIS)
Exemple de succession culturale sur 6 ans	PDT-BLE-BS-POIS-BLE-LIN ou PDT-BLE-LIN-POIS-BLE-BS	

Tableau n° 4.5-4B : Assolements types sur le bassin versant de Bourville. (Source : A. Joannon, 2004)

Ainsi, sur le bassin versant de Bourville on observe les assolements types suivants : Chez les exploitants sans pomme de terre, l'ensemble des données démontre que les assolements sont de 5 à 6 ans, soit avec des blés tous les 2 ans ou tous les 3 ans (Tableau n° 4.5- 4A ci-contre). Pour les producteurs de pommes de terre, les assolements sont de 6 ans avec un blé tous les 3 ans (Tableau n° 4.5-4B ci-contre).

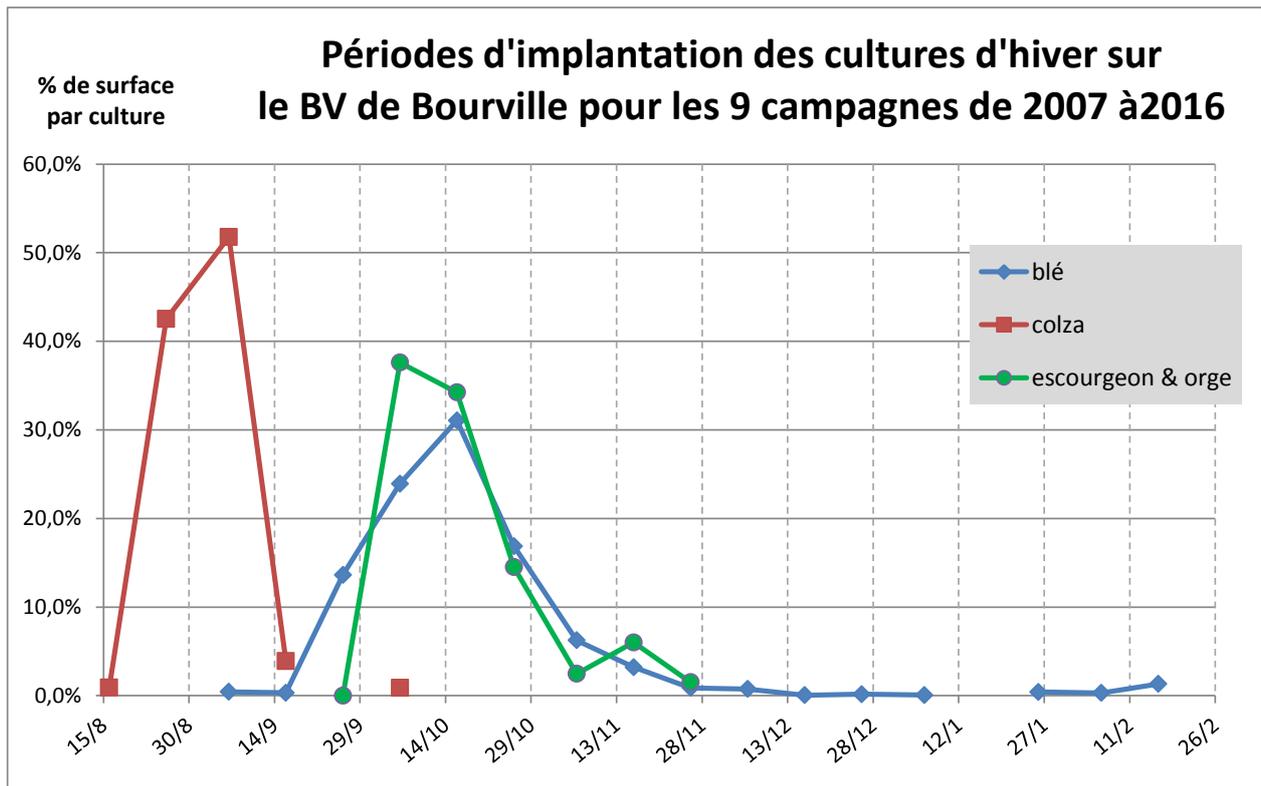


Figure n° 4.6.1-1 : Evolution temporelle moyenne des périodes de semis et les taux de semis pour chaque culture d’hiver sur le bassin versant de Bourville.

4.6. Etat des Pratiques culturales par culture et interculture

De 2007 à 2016, quasiment toutes les cultures ont été implantées après un labour. Il n'y a qu'un exploitant agricole qui est passé au non labour à partir de la campagne 2015. Ces surfaces sont situées en tête de bassin versant et représentent 95 ha sur le Bassin Versant.

Ce chapitre détaille par culture, les pratiques culturales observées et enregistrées au cours des 9 campagnes.

4.6.1. Cultures d'hiver : Colza, Blés et Escourgeon

Sur le bassin versant de Bourville, à l'automne les exploitants implantent les colzas, les escourgeons les blés et les intercultures. La Figure n° 4.6.1 - 1 ci-contre indique la proportion de surfaces implantées en moyenne sur 9 campagnes selon les décades.

a. Colza

Période de semis	Les colzas sont implantés tôt et sur une courte période : 94,3 % des semis ont été réalisés sur la dernière décade d'août et première décade de septembre.
Précédent cultural	Ils suivent une céréale : 33 % des parcelles après un Escourgeon ou une Orge (en priorité) si ces cultures sont dans l'assolement, 63 % des parcelles après un Blé et rarement lin ou autre. <i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i>
Gestion des résidus de récolte avant semis	Les pailles ont été exportées avant le semis de colza.
Labour	Un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours).
Travail du sol au semis	Après le labour, un premier passage est effectué avec un tracteur équipé à l'avant d'un tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil à dents vibrantes + rouleau barre ou d'une herse animée. Le reste du travail du sol est réalisé au semis, avec généralement : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes + d'un tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil animé à dents (rotatif vertical), du semoir à céréales classique et d'un rouleau Packer ou barre. <u>Résumé des passages d'outils sur le sol :</u> L / TA- TPL- DV /DV- TA-TPL-DA-S-RP - Les semis de précision en ligne de grand écartement (0,40 m) existent aussi. Le chantier est alors décomposé en 2 avec la même préparation du lit de semence, suivi du passage du semoir de précision avec un tracteur équipé de pneus larges.
Etat de surface après semis	Le lit de semence est régulier, plat et très affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 33 cm et 90 % de la surface du champ est couverte d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.

<p>Exemple d'état de surface après les 1^{ères} pluies</p>	 <p>Date photo : 2015-10-20 / CO22-2</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>84,6 % des surfaces sont récoltés sur les 2 dernières décades de juillet et la première décade d'août.</p>

b. Blé d'hiver

<p>Période de semis</p>	<p>L'implantation des blés est étalée sur une longue période allant de fin septembre à janvier. Néanmoins, 71,9 % des parcelles sont semées en octobre. Après un précédent, lin, colza, pois ou féverole, pommes de terre, les blés sont généralement semés avant le 20 octobre ; après maïs ils sont semés entre le 15 et le 30 octobre ; après betteraves les semis peuvent être plus tardifs selon les dates d'arrachage.</p>
<p>Précédents culturaux</p>	<p>Ils suivent toutes les cultures :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 29 % des parcelles après un Colza ; • 17 % des parcelles après un Lin ; • 16 % des parcelles après une BS ; • 13 % des parcelles après une Pomme de terre ; • 11 % des parcelles après un Maïs ; • 5 % des parcelles après un Escourgeon ou une Orge ; • 11 % Autres (Blé, pois, féverole ...) <p><i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i></p>
<p>Gestion des résidus de récolte avant semis</p>	<p>Les principaux précédents n'ont pas de résidus, sinon les pailles sont soit broyées, soit exportées.</p>
<p>Labour</p>	<p>Un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours)</p>
<p>Travail du sol au semis</p>	<p>Le travail du sol est réalisé au semis, avec généralement : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes +d'un tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil animé à dents (rotatif vertical), du semoir à céréales classique et d'un rouleau Packer ou barre.</p> <p><u>Résumé des passages d'outils sur le sol :</u> L /DV-TA-TPL-DA-S-RP</p>
<p>Etat de surface après semis</p>	<p>Le lit de semence est régulier, plat et affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 4,0 cm et 50 % de la surface du champ est couverte d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.</p>

<p>Exemple d'état de surface après les 1^{ères} pluies</p>	 <p>Date photo : 2015-10-20 / B021-3 : Blé de lin.</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>Pratiquement toutes les surfaces (92,3 %) sont récoltées sur les 3 décades d'août et en majorité du 10 au 30 août.</p>

c. Escourgeon et orge d'hiver

La conduite de l'escourgeon est très semblable à celle du blé d'hiver.

Période de semis	Les escourgeons et orges d'hiver sont implantés sur une période assez courte : 86,3 % des semis ont été réalisés sur la dernière décade de septembre et les deux premières décades d'octobre.
Précédents culturaux	Ils suivent les Blés (67 %) ou les lins (33 %). <i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i>
Gestion des résidus de récolte avant semis	Après blé, les pailles sont soit broyées, soit exportées.
Labour	Un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours)
Travail du sol au semis	Identique à celui du Blé. Le travail du sol est réalisé au semis, avec généralement : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes + d'un tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil animé à dents (rotatif vertical), du semoir à céréales classique et d'un rouleau Packer ou barre. <u>Résumé du train d'outils passé sur le sol :</u> L /DV-TA-TPL-DA-S-RP
Etat de surface après semis	Le lit de semence est régulier, plat et affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 4,0 cm et 50 % de la surface du champ est couvert d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.
Exemple d'état de surface après les 1^{ères} pluies	Idem Blé.
Période de Désherbage herbicide	Automne : Printemps :

Période de Traitement insecticide	Automne : Printemps :
Période de Traitement fongicide	Printemps :
Période de récolte	Toutes les surfaces sont récoltées entre la dernière décade de juillet et les deux premières décades d'août.

Tableau A des Successions culturales types sans la culture de pomme de terre.		
Durée de retour du Blé	3 ans	2 ans
Exemple de succession culturale sur 6 ans	BS-BLE-ESC-POIS-BLE-LIN	BS-BLE-COL-BLE-LIN-BLE
Exemple de succession culturale sur 5 ans	BS-BLE-COL-BLE-LIN	
Parcelles sans lin, ni pois, ni betteraves : Exemple de succession culturale sur 3 ans.	COL-BLE-ESC ou ME-BLE-ESC	
Tableau B des Successions culturales types avec culture de pommes de terre.		
Durée de retour du Blé	3 ans	
Exemple de succession culturale sur 6 ans	PDT-BLE-BS-POIS-BLE-LIN ou PDT-BLE-LIN-POIS-BLE-BS	

Tableau n° 4.6-2: Interculture longues dans les assolements types sur le bassin versant de Bourville, sauf avant cultures d'automne . (Source : A. Joannon, 2004)

4.6.2. Période d'interculture

Compte tenu des assolements pratiqués sur le territoire et présentés au paragraphe 4.5, où les cultures de printemps sont très présentes, il existe une diversité de situations après récolte avec des intercultures courtes et des intercultures longues. Ces dernières sont souvent, mais pas systématiquement, semées de cultures intermédiaires (paragraphe a). En effet, les récoltes des cultures de printemps (lin et pomme de terre) s'étalent jusque fin septembre, voire plus pour les maïs ensilage et les betteraves, ce qui engendre des pointes de travail et laissent peu de temps pour implanter ce type de culture. Les intercultures courtes sont travaillées en surface avec un ou plusieurs passages d'outils à dents, des « cultivateurs lourds » (paragraphe b). Mais les dates d'intervention sont très variables, avec des déchaumages juste après récolte de céréales comme des interventions seulement 1 à 2 mois après certaines récoltes.

Le tableau n° 4.6-2 ci-contre récapitule les intercultures longues au sein des assolements pratiqués sur le bassin versant de Bourville. En théorie, en moyenne 42 % des surfaces pourraient être couvertes de cultures intermédiaires. En pratique, sur les 9 campagnes de 2007 à 2015, au 1^{er} novembre, les cultures intermédiaires couvrent en moyenne 22 % des terres labourables et 8,5 % restent en chantiers de récolte travaillés par un outil superficiel (non compris les chantiers de récolte en betteraves et Maïs qui sont destinés à être semés en Blé).

a. Cultures intermédiaires

<p>Période de semis</p>	<p>Les cultures intermédiaires sont implantées sur une longue période : de fin juillet à fin septembre. Natures des cultures intermédiaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 67,8 % Moutarde seule • 9,8 % Moutarde + légumineuses • 7,3 % Avoine seule • 2,8 % Avoine + légumineuses • 3,0 % Ray Grass ensilage • 3,6 % Ray Grass et Ray Grass + légumineuses (éleveurs) • 2,8 % Seigle • 2,2 % Phacélie • 0,8 % Trèfle <p><i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i></p>
<p>Précédents culturaux</p>	<p>Elles précèdent les cultures de printemps</p>
<p>Gestion des résidus de récolte avant semis</p>	<p>Les pailles ont été soit broyées soit exportées.</p>
<p>Labour</p>	<p>Aucun</p>
<p>Travail du sol au semis</p>	<p>Un premier passage d'outil à dents (lourd), type néo-déchaumeur, est réalisé après récolte du précédent.</p> <p>Le reste du travail du sol est réalisé le jour du semis en un passage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit avec un semoir type « Delimbe » sur le passage d'un outil à dents vibrantes et d'un rouleau barre. <p><u>Résumé des passages d'outils sur le sol</u> : D / -DV-S-RP</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit avec un équipement classique de semis de céréales : un tracteur équipé d'un outil animé à dents (rotatif vertical), du semoir à céréales classique et d'un rouleau Packer ou barre. <p><u>Résumé des passages d'outils sur le sol</u> : D / DA-S-RP</p>
<p>Etat de surface après semis</p>	<p>Le lit de semence est plus ou moins grossier selon le précédent, le type d'interculture, le statut des pailles et le type d'outil de travail du sol. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 6 cm et 30 à 80 % de la surface du champ est couverte d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm : variabilité forte.</p>

<p>Exemple d'état de surface après les 1^{ères} pluies</p>	
	<p>Ray-Grass après Colza ; Date photo : 2015-10-20 / IO 42-03</p>
	
	<p>Moutarde après Lin ; Date photo : 2015-10-20 / IO 31-03</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>néant</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Néant</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Néant</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>La majorité des parcelles en interculture sont détruites entre le 15 novembre et le 20 décembre, mécaniquement ou chimiquement. Quelques parcelles le sont en janvier-février. Les éleveurs ensilent les Ray-Grass sur les 2 premières décades d'avril.</p>

b. Chantiers de récolte

Période de semis	Néant
Précédents culturaux	Toutes cultures
Gestion des résidus de récolte	Néant
Labour	Aucun
Travail du sol du chantier de récolte	<p>Il y a 2 catégories principales de travaux du sol selon l'objectif recherché, selon le précédent et selon la durée de l'interculture, longue ou courte :</p> <p><u>1^{er} objectif</u> : favoriser la repousse des graines ou des mauvaises herbes : cas après colza, céréales, lin, pomme de terre, pois.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le chantier de récolte peut rester en état pendant plusieurs jours pour favoriser une première levée ; - 3 à 4 semaines après, le travail du sol superficiel est réalisé par un passage d'un outil à dents vibrantes et d'un rouleau barre. Les buts sont de détruire les plantes levée et de favoriser une seconde levée des graines. - Ensuite soit une interculture est implantée, soit un nouveau passage d'outil à dents (lourd), type néo-déchaumeur, est réalisé après quelques semaines. <p><u>2^{eme} objectif</u> : Incorporer les résidus de culture dans la couche labourée et créer un état très motteux durant tout l'automne-hiver : cas après betteraves, maïs, cultures intermédiaires détruite en fin d'automne et interculture courte.</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit un passage d'outils à dents (lourd), type néo-déchaumeur, soit un passage d'outil à soc type déchaumeuse à soc.
Etat de surface après travail du sol	Les états de surface sont plus ou moins grossiers selon le précédent, le statut des pailles et le type d'outil de travail du sol.
Période de Désherbage herbicide	Rare sur sol sans culture intermédiaire, parfois avant lin, maïs et pomme de terre (voir § IFT) Fin d'hiver avant labour de printemps.
Période de Traitement insecticide et fongicide	Néant

**Exemple d'états de surface
après les 1^{ères} pluies**



Travail du sol après Betterave ; Date photo : 2018-02-04



Travail du sol motteux créé par un passage de déchaumeuse à soc ;
Date photo : 2017-12-15



Travail du sol après Interculture de Moutarde ;
Date photo : 2018-04-02

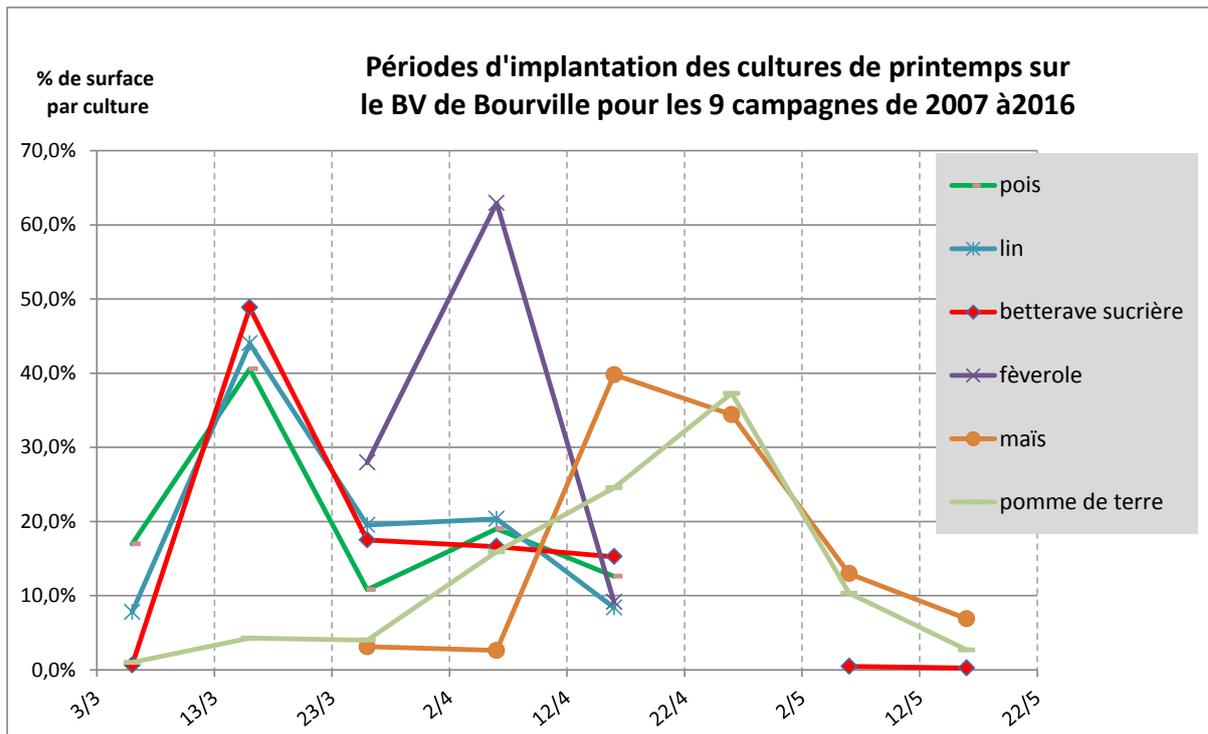


Figure n° 4.6.3-1 : Evolution temporelle moyenne des périodes de semis et les taux de semis pour chaque culture de printemps sur le bassin versant de Bourville

4.6.3. Cultures de Printemps

Sur le bassin versant de Bourville, au printemps les exploitants implantent les Légumineuses, le lin, les betteraves sucrières ou fourragères, le maïs et les pommes de terre. La Figure n° 4.6.3-1 ci-contre indique la proportion de surfaces implantées en moyenne sur 9 campagnes selon les décades.

On distingue généralement 3 périodes successives :

- Début mars (2 premières décades) semis des Pois, pour les exploitants qui en font. Compte tenu des faibles surfaces en Pois sur le bassin versant, il n'y a pas de différence visible dans les dates de semis ;
- Mi-mars à mi-avril :
 - semis du lin, en moyenne étalés sur 3 décades, mais chaque année plutôt répartis sur 1 à 2 décades selon la pluviométrie.
 - semis des betteraves, en moyenne étalés sur 3 décades selon la pluviométrie, mais chaque année plutôt répartis en 2 périodes :
 - 1 décade sur mars pour les semis précoces des exploitants qui ont de grandes surfaces à implanter au printemps (concurrence avec les PDT),
 - 1 à 2 décades en avril pour les semis tardifs et les exploitations avec moins de cultures de printemps (éleveurs entre autres).
 - semis de Féveroles, sur la première décade d'avril.
- Avril :
 - semis de Maïs chez les éleveurs sur les 2 dernières décades, voir la première décade de mai selon la pluviométrie,
 - plantation de pommes de terre sur les 2 dernières décades.

a. Légumineuses : Pois – Féveroles

Période de semis	<p>Les Pois sont implantés le plus tôt et sur une courte période : 57,6 % des semis ont été réalisés sur les 2 premières décades de mars.</p> <p>Les Féveroles sont implantées sur une courte période : 63,9 % des semis ont été réalisés sur la première décade d'avril et le reste sur la décade précédente.</p>
Précédents culturaux	<p>Ils suivent une céréale : un Escourgeon, une Orge d'hiver ou une avoine.</p> <p><i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i></p>
Gestion des résidus de récolte avant semis	<p>Les pailles sont soit broyées, soit exportées.</p> <p>Les intercultures (rares) ont été détruites.</p>
Labour	<p>La terre (chantier de récolte ou interculture) est généralement travaillée avec un outil à dents droites, type : cultivateur lourd.</p> <p>Puis un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours).</p>
Travail du sol au semis	<p>Le travail du sol est réalisé au semis, avec généralement : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes – d'un tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil animé à dents (rotatif vertical), du semoir à céréales classique et d'un rouleau Packer ou barre.</p> <p><u>Résumé des passages d'outils sur le sol :</u></p> <p>L /DV-TA-TPL-DA-S-RP</p>
Etat de surface après semis	<p>Le lit de semence est régulier, plat et peu affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 4,0 cm et 40 % de la surface du champ est couvert d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.</p>

<p>Exemple d'état de surface au semis</p>	 <p>Pois après Blé ; Date photo : 2016-03-18 / PO12-01</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>79,2 % des surfaces en pois sont récoltés entre les 2 premières décades d'août. La récolte des féveroles à 73,1 % s'échelonne sur les 2 dernières décades d'août et la première de septembre.</p>

b. Lin

Période de semis	Les Lins sont implantés sur une courte période : 63,5 % des semis ont été réalisés sur les 2 dernières décades de mars.
Précédents culturaux	Ils suivent un Blé à 82 %. <i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i>
Gestion des résidus de récolte avant semis	Les intercultures sont détruites de façon précoce, en décembre pour s'assurer que leur décomposition soit totale avant le semis. Les pailles sont exportées.
Labour	La terre (chantier de récolte ou interculture) est travaillée avec un passage d'outil à dents droites, type : cultivateur lourd. Puis un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours).
Travail du sol au semis	Sur le labour, la préparation du lit de semence est généralement réalisée en un passage avec : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes + tasse-avant, de pneus larges, suivi d'outil à dents vibrantes, type : cultivateur léger et de rouleaux cages ; Le reste du travail du sol est réalisé au semis, avec : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes +de tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil animé à dents (rotatif vertical), du semoir à céréales classique et d'un rouleau Packer ou barre. <u>Résumé du train d'outils passé sur le sol :</u> L / DV-TA-TPL- DV-RC / DV-TA-TPL-DA-S-RP
Etat de surface après semis	Le lit de semence est régulier, plat et très affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 3,0 cm et 75 à 90 % de la surface du champ sont couverts d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.

<p>Exemple d'état de surface au semis</p>	 <p>Lin après Blé ; Date photo : 2016-03-18 / L011-1</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>Les lins sont arrachés en juillet et le rouissage demande 3 à 4 semaines en moyenne. Les lins sont ensuite enroulés et exportés sur les 2 dernières décades d'août et la première de septembre.</p>

c. Betteraves

Période de semis	Les Betteraves sont implantées sur une courte période : 66,3 % des semis ont été réalisés sur les 2 dernières décades de mars, le reste sur les deux décades suivantes.
Précédents culturaux	Ils suivent un Blé à 41 %, du lin à 37 % et un escourgeon (ou orge) à 15 %. <i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i>
Gestion des résidus de récolte avant semis	Les intercultures sont détruites de façon précoce, en décembre pour s'assurer que leur décomposition soit totale avant le semis. Les pailles sont soit broyées, soit exportées.
Labour	La terre (chantier de récolte ou interculture) est travaillée avec un passage d'outil à dents droites, type : cultivateur lourd. Puis un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours).
Travail du sol au semis	Sur le labour, la préparation du lit de semence est effectuée en au moins un passage avec : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes + tasse-avant, de pneus larges, suivi d'outil à dents vibrantes multiples, type : cultivateur léger complexe et de rouleaux cages ; (ou sinon deux passages avec le même équipement à l'avant et suivi d'un outil à dents vibrantes simples et de rouleaux cages). Le semis est réalisé avec un semoir de précision attelé sur un tracteur équipé de pneus étroits. <u>Résumé du train d'outils passé sur le sol :</u> L / DV-TA-TPL- DVMulti-RC / TPE-S
Etat de surface après semis	Le lit de semence est régulier, plat et très affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 3,0 cm et 50 à 75 % de la surface du champ sont couverts d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.

<p>Exemple d'état de surface au semis</p>	 <p>Betteraves sucrières après Blé ; Date photo : 2016-03-18 / BS022-1</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>Les betteraves sont arrachées régulièrement de fin septembre à mi-décembre selon les consignes établies par la sucrerie.</p> <p>En moyenne 75 % des surfaces sont récoltés sur 4 décades entre le 1^{er} octobre et mi-novembre.</p>

d. Maïs ensilage

Période de semis	74,2 % des semis de Maïs sont réalisés sur les 2 dernières décades d'avril, le reste sur la décade suivante en mai.
Précédents culturaux	Ils suivent un lin à 48 %, un Blé à 38 %, un escourgeon (ou orge) à 5 % et un autre maïs à 9 %. <i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i>
Gestion des résidus de récolte avant semis	Deux types d'intercultures sont possibles : <ul style="list-style-type: none"> • des intercultures classiques qui sont détruites en décembre pour s'assurer que leur décomposition soit totale avant le semis. • Des cultures intercalaires de Ray Grass (\pm trèfle) qui sont ensilés première décade d'avril, 5 à 10 jours avant le semis de maïs. Après céréales, sans interculture, les pailles sont soit broyées, soit exportées.
Labour	La terre (chantier de récolte ou interculture) est travaillée avec un passage d'outil à dents droites, type : cultivateur lourd. Puis un labour jeté est réalisé juste avant le semis (0 à 2 jours).
Travail du sol au semis	Sur le labour, la préparation du lit de semence est effectuée en un ou deux passages avec : un tracteur équipé à l'avant d'un outil à dents vibrantes + tasse-avant, de pneus larges, suivi d'un outil à dents vibrantes et de rouleaux cages ; Le semis est réalisé avec un semoir de précision attelé sur un tracteur équipé de pneus étroits. <u>Résumé du train d'outils passé sur le sol :</u> L / DV-TA-TPL- DV-RC / TPE-S
Etat de surface après semis	Le lit de semence est régulier, plat et très affiné. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 3,0 cm et 30 à 75 % de la surface du champ sont couverts d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.

<p>Exemple d'état de surface après les 1^{ères} pluies</p>	 <p>Mais après Blé ; Date photo : 2016-05-11 / M021-2</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>Les Maïs sont ensilés à 75,9 % sur les deux premières décades d'octobre.</p>

e. Pommes de terre de consommation et plants.

Période de semis	61,8 % des plantations de pommes de terre sont réalisés sur les 2 dernières décades d'avril, le reste sur la décade suivante en mai.
Précédents culturaux	Elles suivent un Blé à 63 %, un lin à 16 %, et une betterave à 11 %. <i>(résultats des assolements sur 3 campagnes de 2012 à 2015 pour les 17 principaux exploitants du BV)</i>
Gestion des résidus de récolte avant semis	Les intercultures sont détruites de façon précoce, en décembre pour s'assurer que leur décomposition soit totale avant le semis. Après céréales, sans interculture, les pailles sont soit broyées, soit exportées.
Labour	La terre (chantier de récolte ou interculture) est travaillée avec un passage d'outil à dents droites, type : cultivateur lourd. Puis un labour jeté est réalisé juste avant la plantation (0 à 2 jours).
Travail du sol au semis :	Sur le labour, la préparation du lit de semence est effectuée : <ul style="list-style-type: none"> • en un ou deux passages de tracteur équipé de pneus larges, suivi d'une herse rotative à axe vertical, • puis un passage de tamiseuse, • puis un passage de billonneuse La plantation est ensuite réalisée avec une planteuse de précision attelée sur un tracteur équipé de pneus étroits. <u>Résumé du train d'outils passé sur le sol :</u> L / 2(DV-TA-TPL- DV-RC) / Tamis / Billon / TPE-P
Etat de surface après semis	La plantation est régulière, billonnée et très affinée. Pratiquement toutes les mottes sont inférieures à 2,0 cm et 95 % de la surface du champ sont couverts d'agrégats de taille inférieure à 1,0 cm.

<p>Exemple d'état de surface après les 1^{ères} pluies</p>	 <p>Pommes de terre après BS ; Date photo : 2016-05-11 / PT022-2</p>
<p>Période de Désherbage herbicide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement insecticide</p>	<p>Automne :</p> <p>Printemps :</p>
<p>Période de Traitement fongicide</p>	<p>Printemps :</p>
<p>Période de récolte</p>	<p>Les pommes de terre sont récoltées à 62,4 % au cours du mois de septembre.</p>

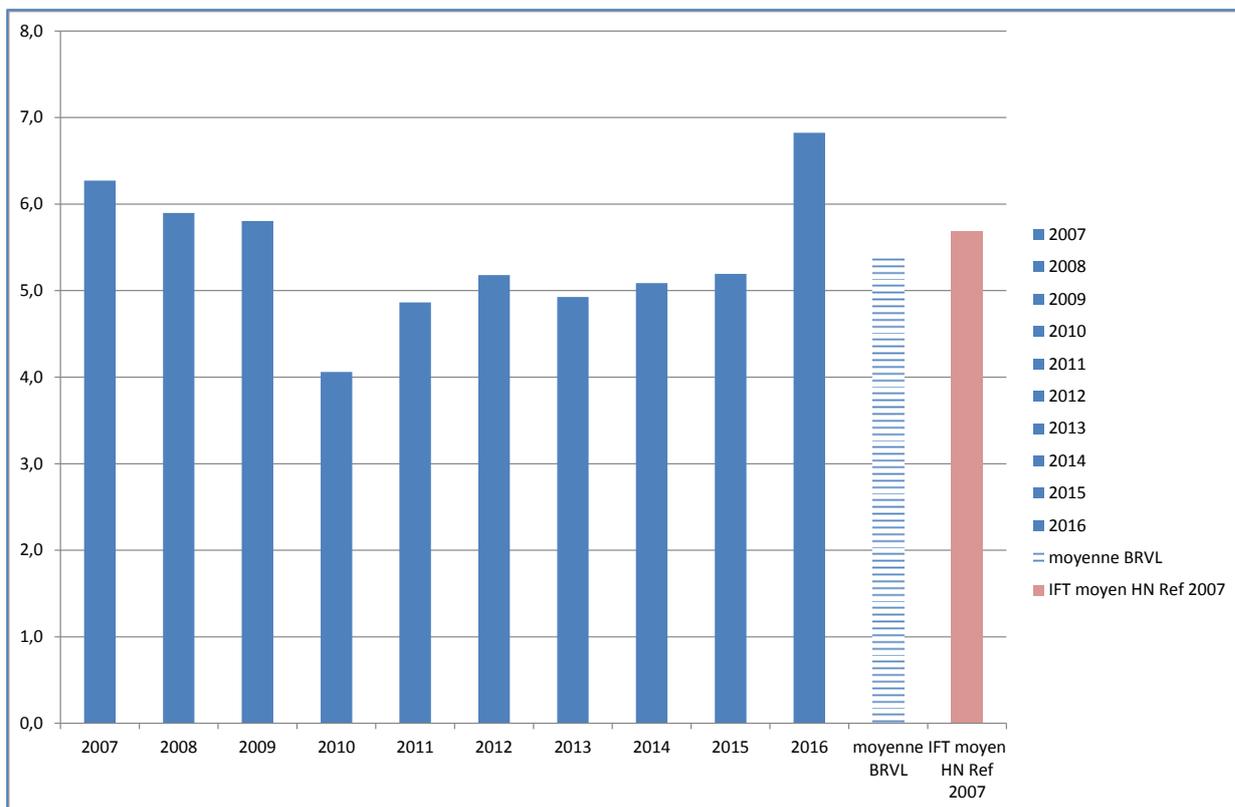


Figure n° 4.7-1 : Histogramme des IFT moyens par campagne sur BRVL de 2007 à 2016.

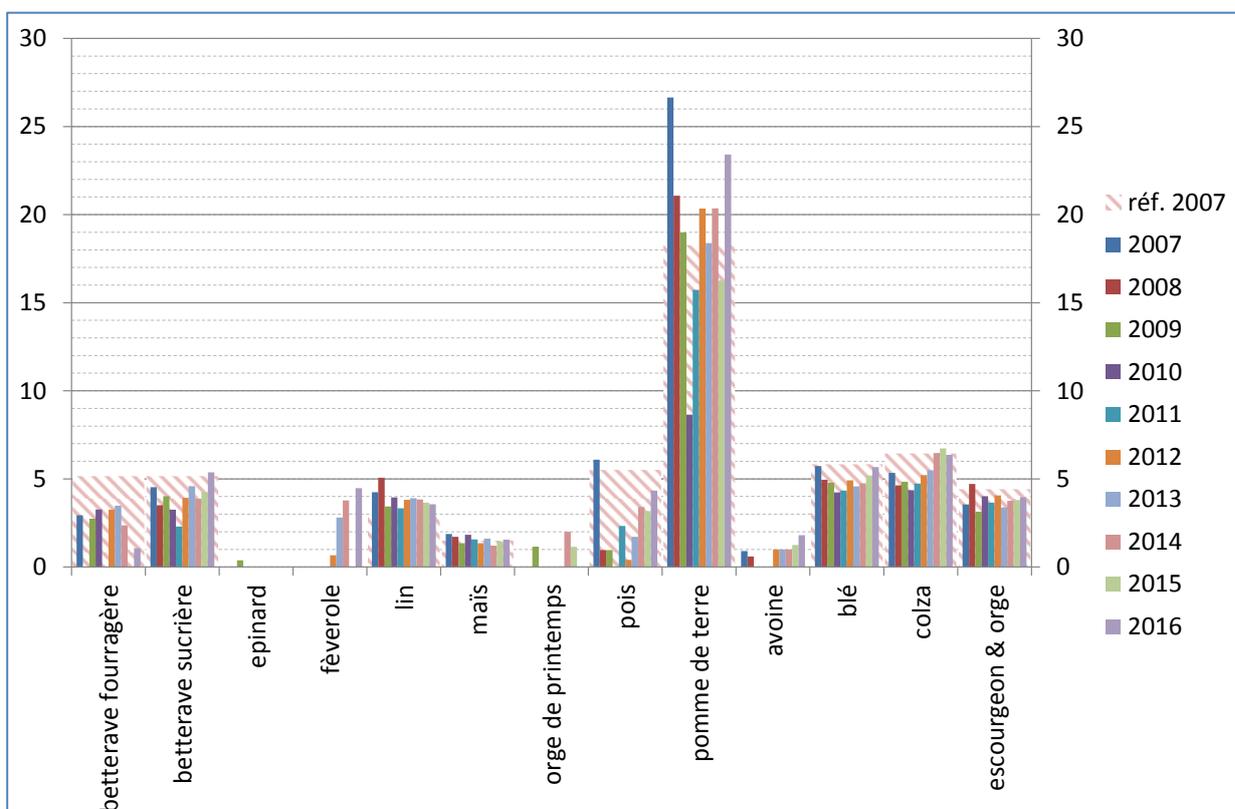


Figure n° 4.7-2 : Histogramme des IFT moyens par culture et par campagne sur BRVL de 2007 à 2016.

4.7. Caractéristiques générales des pratiques de traitements par culture : IFT

Les enquêtes réalisées tous les ans auprès de tous les agriculteurs du bassin versant permettent d'avoir une connaissance complète des apports en produits phytosanitaires par culture sur le territoire. Cela permet notamment de situer les usages par rapport à d'autres régions, de comparer les pratiques entre cultures sur le bassin versant de Bourville, et même d'illustrer la variabilité des pratiques entre exploitant au sein d'un tel bassin versant. C'est ce qui est présenté ici.

Ce chapitre se limite donc à caractériser les Indices de Fréquence de Traitements (IFT) et leur évolution au cours des campagnes. Ces résultats généraux peuvent aider à mieux comprendre les résultats détaillés qui seront présentés dans les chapitres suivants entièrement consacrés aux analyses des apports et des exports par culture et par produit phytosanitaire.

L'agriculture développée sur le bassin versant de Bourville étant tournée vers la grande culture industrielle intensive, l'usage global des produits phytosanitaires est tout à fait dans les « normes » régionales. La Figure 4.7-1 démontre que l'IFT moyen pondéré par les surfaces de chaque culture sur chacune des 10 campagnes (2007-2016) est de 5,41, avec une variation de plus ou moins 1,4 selon le climat des campagnes ? et compte tenu des cultures en place sur le bassin versant. (Voir répartition de l'occupation du sol). Ce résultat est à comparer avec la valeur de l'IFT moyen de Haute-Normandie égale à 5.69. Compte tenu de l'importance des cultures industrielles à BRVL par rapport à l'ensemble de la Haute-Normandie, ce résultat indique globalement une maîtrise assez rigoureuse de l'usage des pesticides.

La Figure 4.7-2 donne le détail des IFT moyens par culture et par campagne sur l'ensemble du bassin versant de BRVL, au regard de l'IFT de référence (2007).

A noter que les principales cultures sont présentes tous les ans, ce qui n'est pas le cas de certaines cultures peu représentées : betteraves fourragères, épinard, féveroles, orge de printemps et avoine.

Naturellement, les IFT de chaque culture varient de façon significative d'une campagne à l'autre et c'est très net pour la pomme de terre. Voir tableau n° 4.7-1 ci-dessous. On peut constater qu'à part le lin, les IFT moyens par culture sont égaux aux IFT de référence (2007) pour le maïs et la pomme de terre, et inférieurs aux IFT de référence pour les autres cultures : betteraves, pois, blé, escourgeon et colza.

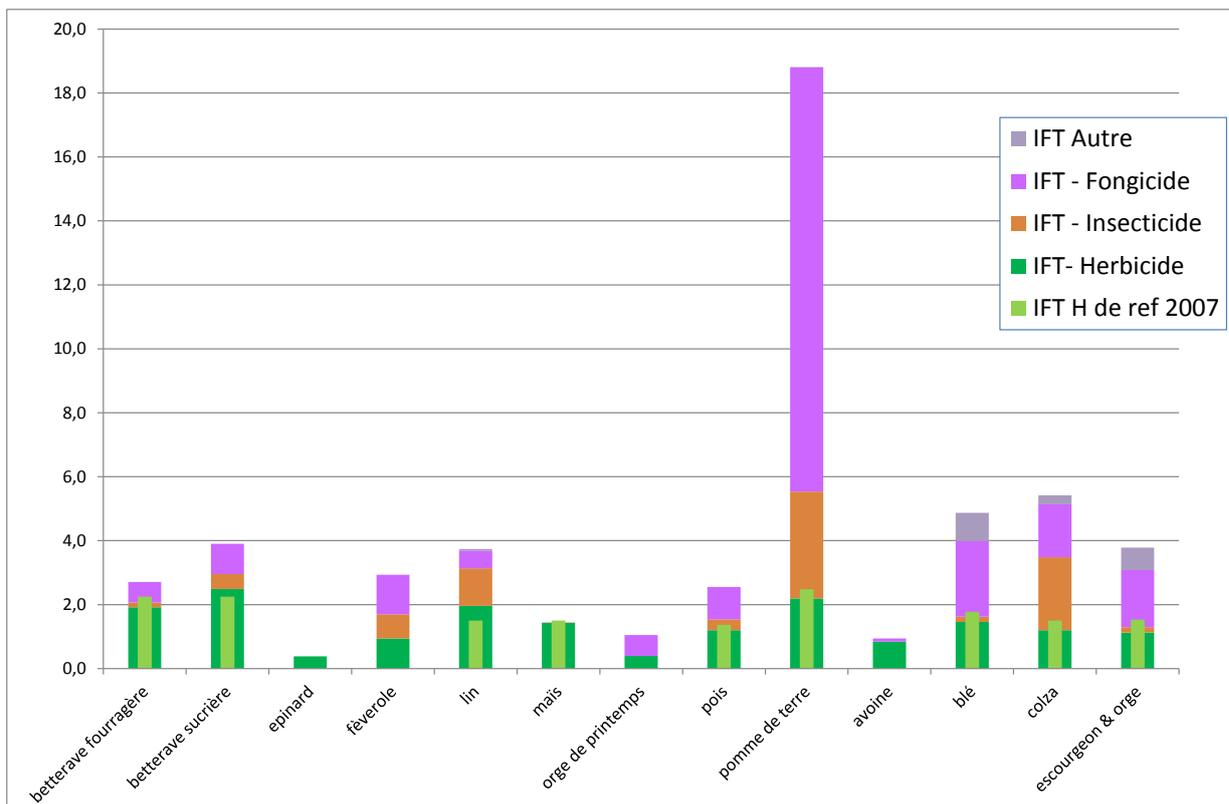


Figure n° 4.7-3 : Histogramme des IFT moyens par famille de produits et par culture sur BRVL de 2007 à 2016.

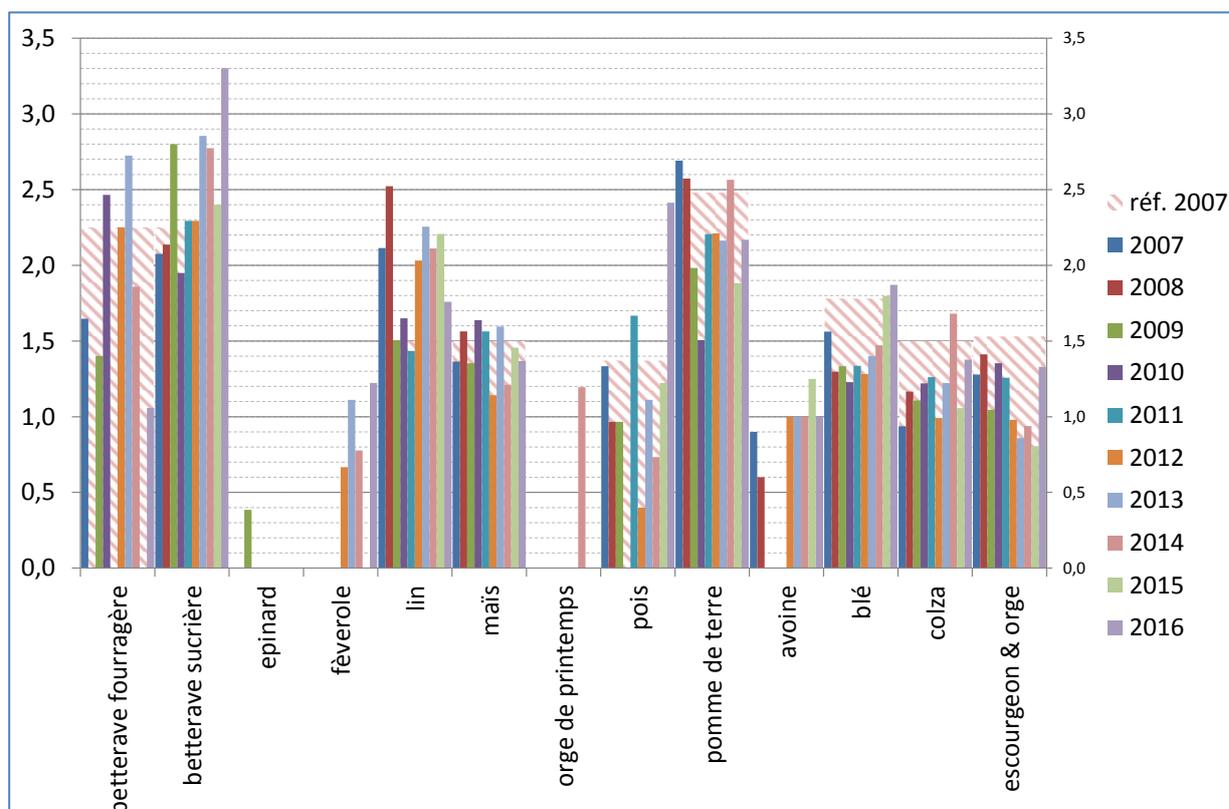


Figure n° 4.7-4 : Histogramme des IFT - Herbicides moyens par culture et par campagne sur BRVL de 2007 à 2016.

Occupation du sol	IFT de réf 2007	moyenne pondérée	% de l'IFT de réf.	max	min
betterave fourragère	5,16	2,73	52,9 %	3,48	1,06
betterave sucrière	5,16	3,96	76,8 %	5,38	2,29
épinard	0,00	0,38	-	0,38	0,38
fèverole	0,00	2,93	-	4,47	0,67
lin	2,90	3,88	133,7 %	5,07	3,33
maïs	1,50	1,55	103,5 %	1,87	1,21
orge de printemps	0,00	1,43	-	1,99	1,14
pois	5,51	2,60	47,1 %	6,09	0,40
pomme de terre	18,27	18,98	103,9 %	23,41	8,64
avoine	0,00	0,94	-	1,80	0,00
blé	5,83	4,91	84,2 %	5,67	4,33
colza	6,45	5,42	84,0 %	6,73	4,36
escourgeon & orge	4,41	3,80	86,2 %	4,72	3,14

Tableau n° 4.7-1 : IFT moyen, max et min par culture à BRVL de 2007 à 2016

On ne note pas de tendance à la réduction des usages des produits totaux sur la période de suivi, sauf pour les cultures de lin et de maïs ensilage.

La Figure 4.7-3 présente la ventilation des IFT moyens par famille de produits et par culture pour les 10 campagnes sur l'ensemble du bassin versant de BRVL. La particularité de la culture de pomme de terre avec la protection fongicide est hyper nette.

Compte tenu de l'intérêt porté aux herbicides, qui sont les produits les plus détectés dans les eaux de surface, leur usage est présenté sur la figure 4.7-4 et donne le détail des IF-H moyens par culture et par campagne sur l'ensemble du bassin versant de BRVL, au regard de l'IF-H de référence (2007), et la figure précédente donne la moyenne pondérée inter-campagne par rapport à la référence 2007.

Là encore, on constate qu'en moyenne les désherbages pratiqués sur le Bassin versant de Bourville correspondent à la moyenne régionale et qu'il y a une variation inter-campagne assez forte.

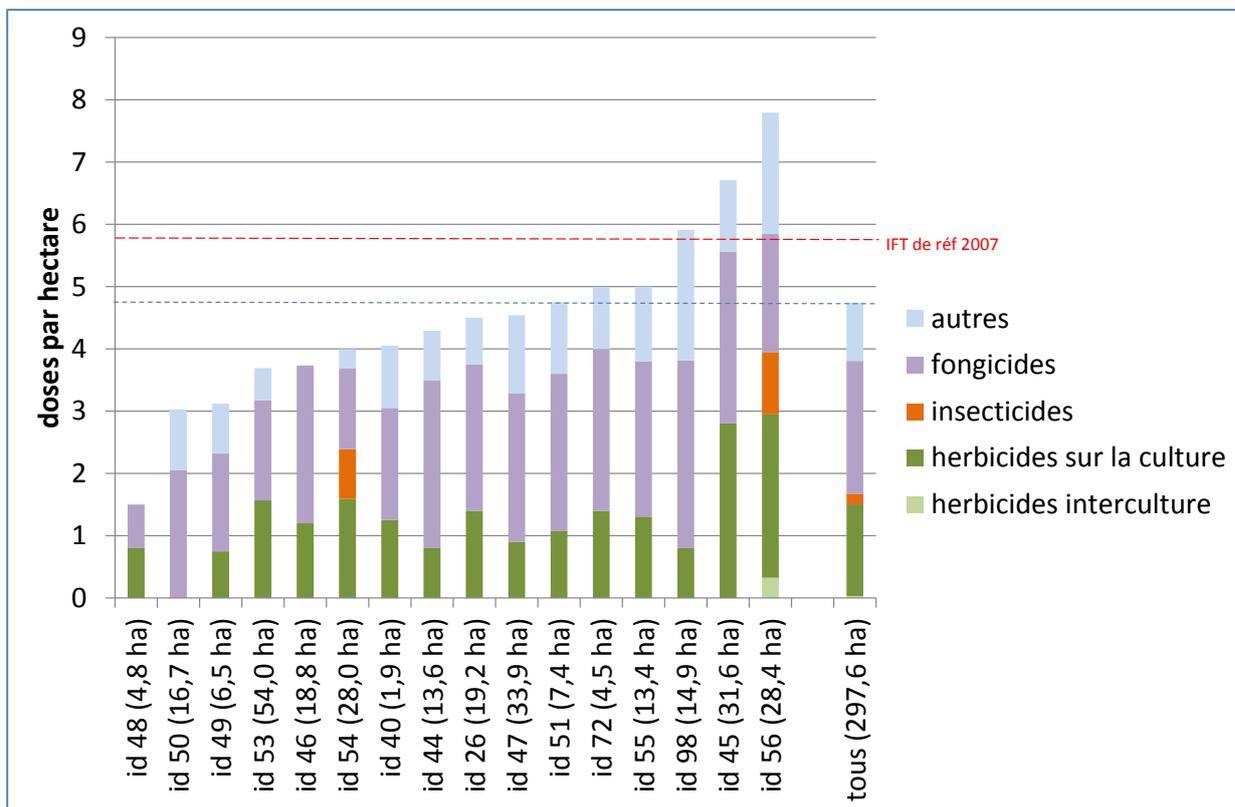


Figure n° 4.7-5 : Histogramme des variations d'IFT moyens des principaux exploitants pour la culture de Blé de la campagne 2014 sur BRVL

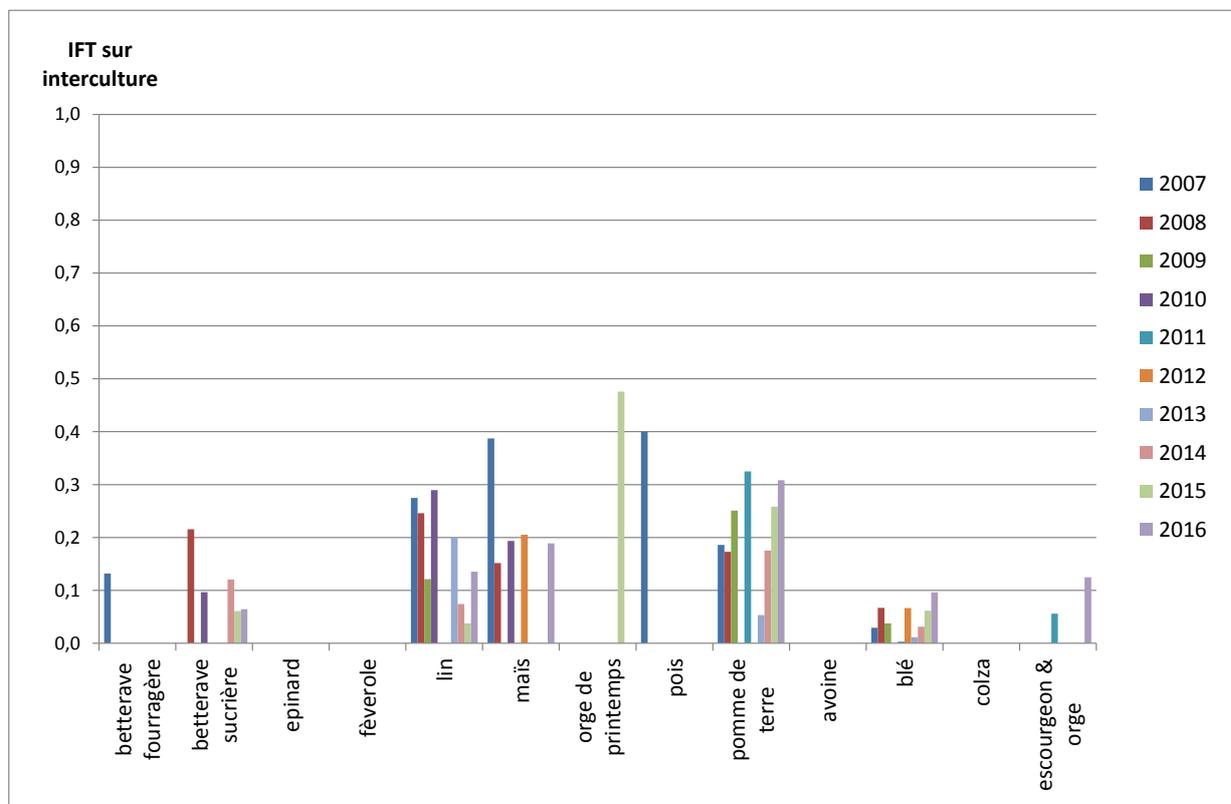


Figure n° 4.7-7 : Histogramme des IFT moyens pour les Intercultures selon la nature de la culture suivante et par campagne sur BRVL de 2007 à 2016.

Les données enregistrées sur l'usage des produits montrent aussi une variation dans l'intensité du recours aux produits selon les exploitations. A titre d'exemple, la Figure n° 4.7-5 illustre les IFT cumulés par famille de produits pour la culture de blé d'hiver lors de la campagne 2014 pour les 16 exploitations les plus représentatives, et pour toutes les surfaces de blé du bassin versant.

Lors de cette campagne 2014, l'IFT moyen sur blé pour le bassin versant est de 4,74 par rapport à l'IFT de référence 2007 de 5,83. La fourchette des IFT par exploitation constaté sur le bassin versant va de 1,5 à 7,79.

La Figure n° 4.7-6 ci-dessous montre que 70,4 % des surfaces en blé de la campagne 2014 ont un IFT compris plus ou moins 25 % de l'IFT moyen. 9,4 % de surfaces ont reçu moins de 75 % de l'IFT moyen et 20,2 % ont reçu plus de 125 % de l'IFT moyen.

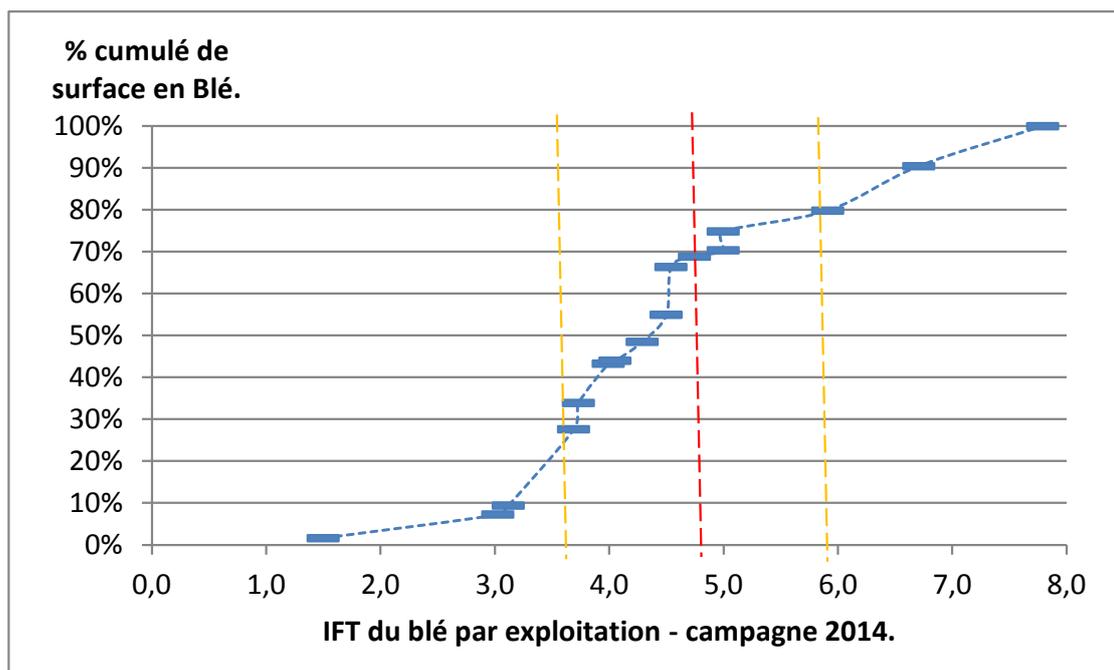


Figure n° 4.7-6 : Histogramme des variations d'IFT moyens des principaux exploitants pour la culture de Blé de la campagne 2014 sur BRVL

Cette variabilité entre exploitations pourra être un élément de complication supplémentaire dans l'interprétation des exports de certaines substances actives selon les campagnes et selon la géolocalisation des parcelles traitées.

Enfin, on notera aussi l'usage de produits phytosanitaires en interculture, tout particulièrement avant les cultures de printemps, comme l'indique la figure n° 4.7-7. Les IFT restent faibles, mais sont assez variables selon les années. Ce ne sont que des herbicides qui sont utilisés. Le recours aux produits est fréquent avant les cultures de lin, maïs, pommes de terre, parfois betteraves sucrières et blé d'hiver. L'IFT moyen pondéré sur le bassin versant de BRVL pour ce type de traitement est de 0,06, toute culture suivante confondue.

5. Erosion du sol et des éléments chimiques associés sur le bassin versant de Bourville



Écoulement à l'exutoire de FDTL : crue du 11-12-2017



Erosion au sein du BV de FDTL : période de l'automne-hiver 2017-2018

		matières en suspension	carbone organique	phosphore total	orthophosphates	nitrites	nitrites	ammonium	pH	cuivre
		mg/L	mg(C)/l	mg(P)/L	mg(PO4)/L	mg(NO3)/L	mg(NO2)/L	mg(NH4)/L	unité pH	mg(Cu)/l
BRVL	Nb valeurs	62	54	55	55	52	55	55	54	48
	moyenne	476,5	23,14	1,44	3,42	4,52	0,149	0,283	7,2	0,020
	médiane	302,0	17,55	1,18	3,07	3,65	0,110	0,170	7,3	0,017
	EC	458,9	15,81	0,95	1,71	3,23	0,116	0,292	0,4	0,012
	min	24,8	4,30	0,34	0,55	0,90	0,030	0,010	6,3	0,005
	max	2240,0	87,00	4,55	8,26	14,80	0,720	1,210	8,2	0,061
FDTL	NB valeurs	53	41	46	47	46	47	47	47	42
	moyenne	1898,8	47,55	2,33	4,14	7,22	0,164	0,186	7,1	0,047
	médiane	1580,0	38,70	1,99	3,07	2,25	0,100	0,080	7,1	0,039
	EC	1699,7	36,21	1,56	3,16	11,24	0,205	0,247	0,3	0,034
	min	40,8	5,82	0,39	0,74	0,60	0,040	0,010	6,5	0,002
	max	9000,0	179,00	8,40	16,73	56,50	1,300	1,130	8,0	0,164

Tableau 5-1 : Résultats généraux des concentrations mesurées par paramètre à BRVL et FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016. (A FDTL, 4 valeurs aberrantes pour le C Organique et une pour le Phosphore total sont exclues).

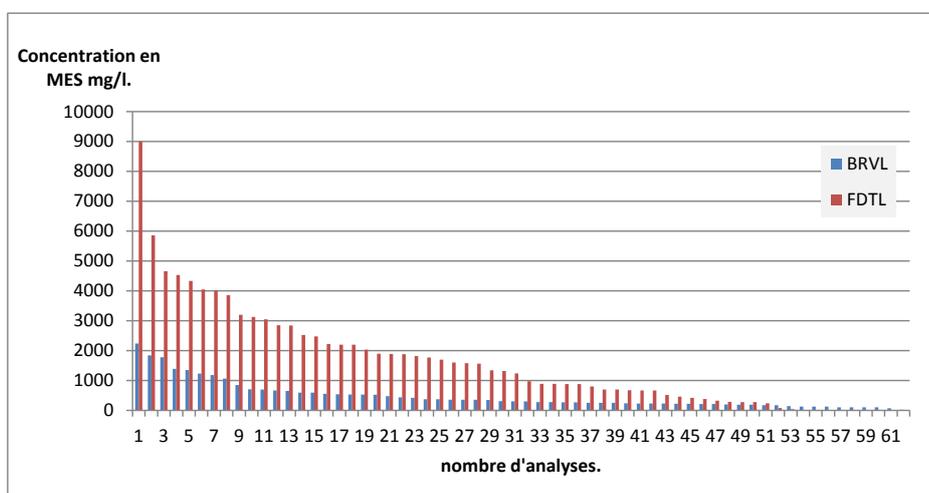


Figure n° 5.1-1 : Histogramme des concentrations en MES dans les analyses à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

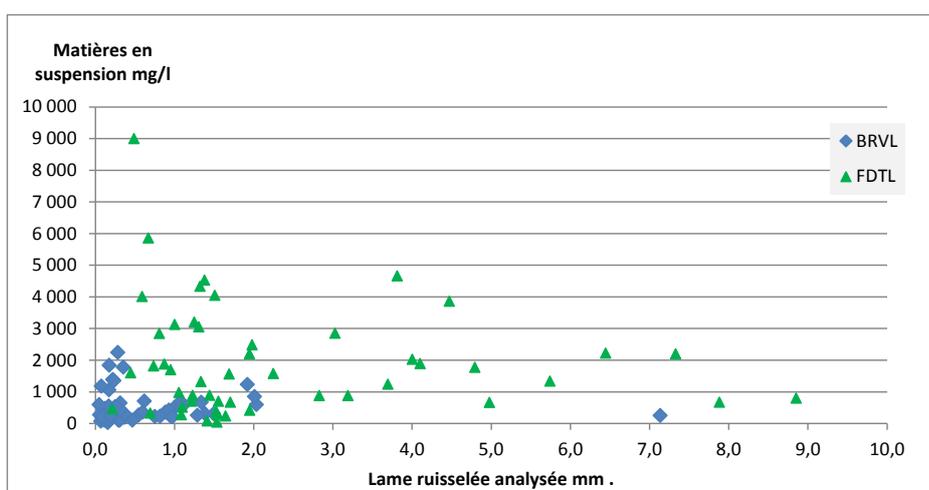


Figure n° 5.1-2 : Concentrations en MES en fonction des lames ruisselées pour chaque bassin versant à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

Parmi les territoires français, celui de Bourville est considéré comme faisant partie des plus érosifs. C'est en quelque sorte un des pires cas de ruissellement – érosion en France, tant par la fréquence des événements que par les quantités cumulées érodées/exportées. Le monitoring réalisé entre 2011 - 2016 à BRVL et à FDTL, permet d'établir des bilans d'export des matières en suspension issues de l'érosion des terres agricoles. Ces teneurs en MES sont aussi susceptibles d'expliquer une part des transferts de substances actives lorsqu'elles sont adsorbées sur cette fraction.

Dans le suivi de la qualité des ruissellements sur les sites de Bourville (BRVL) et du Fond des Tilleuls (FDTL), les paramètres physico-chimiques suivants ont aussi été recherchés :

- Teneur en MES et Turbidité ;
- Phosphore total et Phosphore dissous : Orthophosphate (PO4) ;
- Nitrates, Nitrites et Ammonium, ainsi que Carbone Organique Total, pH et Cuivre.

Pour les 5 campagnes suivies en détail, le Tableau n° 5-1 ci-contre présente les résultats généraux des quantités mesurées dans l'ensemble des analyses. (*A noter que le suivi des MES a débuté en février 2007 à BRVL, mais pour permettre la comparaison entre les 2 sites, on ne présente ici que les données sur la période 2012-2016*).

Rappel : Les résultats présentés dans ce chapitre sont dépendants des modalités de prélèvement pendant les crues et des analyses qui ont pu être réalisées sur les séquences hydrologiques par campagnes. (Cf. chapitre hydrologique). Pour mémoire, le Tableau n° 5-2 ci-dessous rappelle par campagne, les volumes ruisselés et la part analysée.

	Campagne	2012	2013	2014	2015	2016
BRVL	Lame ruisselée (mm)	9,25	12,02	8,75	3,89	13,28
	<i>% lame ruisselée analysée</i>	<i>52,2 %</i>	<i>90,7 %</i>	<i>83,6 %</i>	<i>49,7 %</i>	<i>84,6 %</i>
FDTL	Lame ruisselée (mm)	24,35	54,49	58,95	13,51	35,84
	<i>% Lame ruisselée analysée</i>	<i>51,2 %</i>	<i>60,0 %</i>	<i>66,0 %</i>	<i>43,7 %</i>	<i>67,3 %</i>

Tableau 5-2 : Lames ruisselées et part des ruissellements analysés par campagne à BRVL et FDTL

Les résultats présentés dans ce chapitre, correspondent à des prélèvements moyens par séquence ruisselante sur la part analysée par site et par campagne.

5.1. Bilan et exports des Matières en Suspension (MES)

Au cours des 5 campagnes, certaines ont été particulièrement ruisselantes (Cf. partie hydrologie), ce qui a permis de mesurer les transferts de MES dans des conditions diverses et opposées. Tous les ruissellements ont exporté des MES (Figure n° 5.1-1). Les valeurs sont 4 fois plus élevées sur le sous-bassin versant de FDTL par rapport à celui de BRVL. La médiane des exports est de 302 mg/l à BRVL et de 1 580 mg/l à FDTL. Sur cette période, la valeur maximale atteint 2 240 mg/l à BRVL et 9 000 mg/l à FDTL.

La relation entre les exports en MES et le volume ruisselé analysé (Figure n° 5.1-2) indique très clairement que sur cette période de suivi, et pour les 2 échelles de bassin versant, ce sont les faibles lames ruisselées qui ont les concentrations les plus fortes.

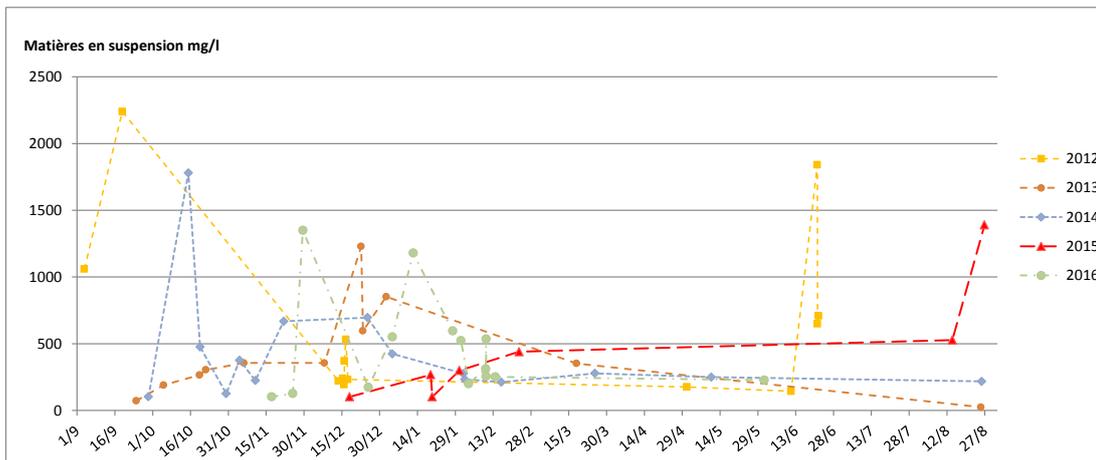


Figure n° 5.1-3 : Evolution temporelle des concentrations en MES à BRVL pour chacune des 5 campagnes à BRVL de 2012 à 2016.

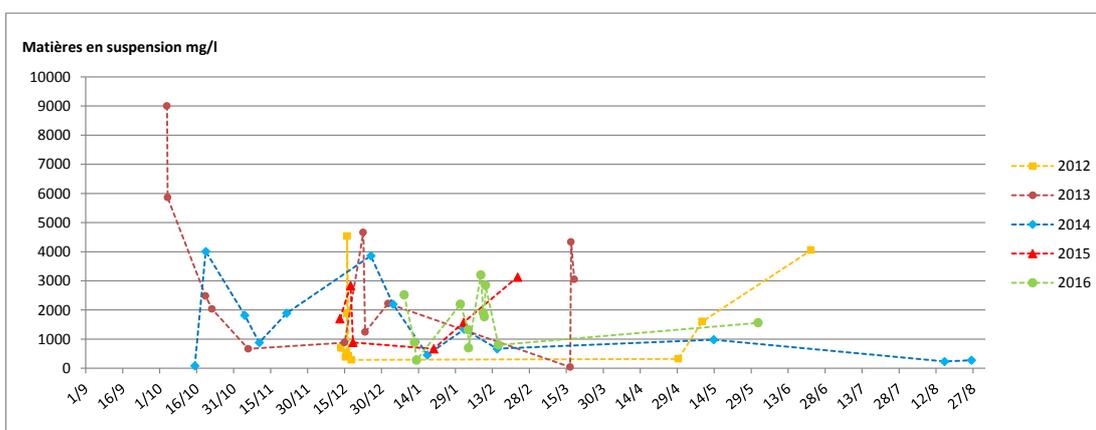


Figure n° 5.1-4 : Evolution temporelle des concentrations en MES à FDTL pour chacune des 5 campagnes à FDTL de 2012 à 2016.

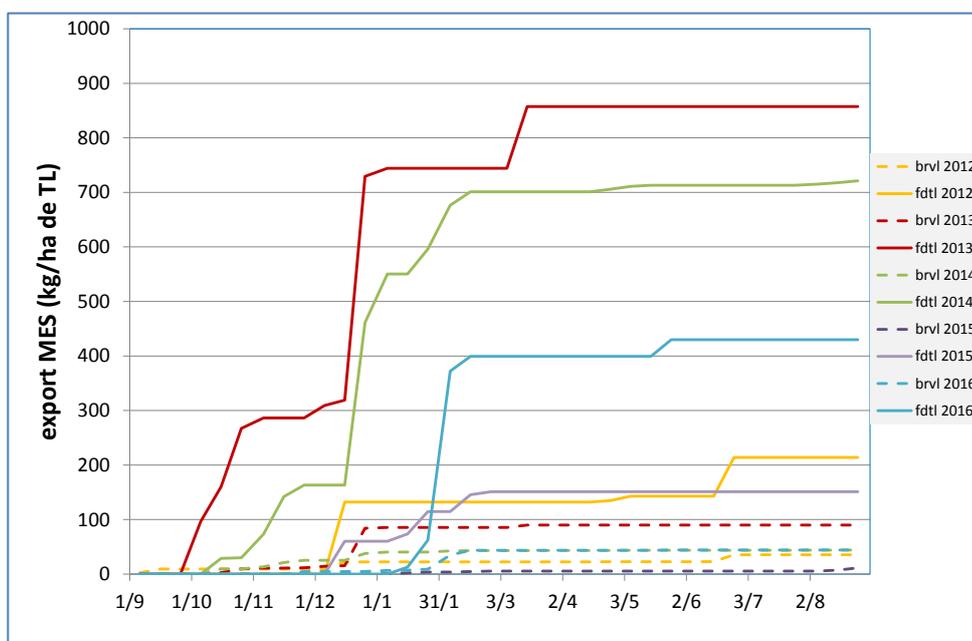


Figure n° 5.1-5 : Evolution temporelle des exports cumulés en MES par campagne à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016.

Néanmoins, pour le sous-bassin versant de FDTL, des concentrations comprises entre 2 et 5 g/l sont mesurées pour des lames ruisselées supérieures à 3 mm

Les évolutions temporelles des concentrations au fil des jours (Figures n° 5.1-3 et n° 5.1-4), montrent des différences significatives entre les 2 échelles de BV. A BRVL, les 4 concentrations les plus élevées correspondent à des évènements de début d'automne et de printemps. Deux d'entre eux correspondent à des pluies intenses d'été et deux à des pluies intenses de début d'automne, avec des parcelles à proximité de l'exutoire qui génèrent beaucoup de particules. Ensuite, on observe quelques fortes concentrations pendant toute la période hivernale.

A FDTL, les concentrations en MES pendant la période hivernale sont aussi élevées que celles du printemps. Seule une concentration du début d'automne reste la plus élevée.

L'export de MES est présenté, par unité de surface érodable, donc en kg/ha de terre labourée (TL) sur les bassins versants afin d'être comparable, soit 763 ha de TL à BRVL et 125 ha de TL à FDTL. Le graphique Figure n° 5.1-5 illustre le cumul par campagne des MES exportées à l'exutoire de chaque site. On constate que :

- Les exports entre les 2 sites sont bien synchrones ;
- Les exports sont 10 fois plus élevés à FDTL qu'à BRVL pour chaque campagne. A BRVL, le cumul des exports par campagne varie entre 11,6 et 92,6 kg/ha de TL. A FDTL, le cumul des exports par campagne varie entre 151 et 857 kg/ha de TL.
- Les exports de la crue la plus exportatrice de chaque site atteignent 206.06 kg/ha de TL à FDTL et 31.36 kg/ha de TL le 22 décembre 2012 à BRVL. Mais on observe que les exports se produisent essentiellement au cours de séquences ruisselantes de quelques jours. Ainsi à FDTL entre le 22/12/2013 et le 01/01/2014, les exports cumulés sont de 425.2 kg/ha de TL, soit un flux total de 53.32 t de terre. A BRVL sur la même période, les exports cumulés sont de 71.1 kg/ha de TL, soit un flux total de 54.24 t de terre.
- Les exports se font à près de 90 % en période d'automne-hiver, c'est-à-dire à une période où les pluies ne sont pas intenses.

Le tableau suivant donne le détail des exports cumulés par campagne.

Campagne	Exports cumulés en MES par campagne.					
	en kg/ha de TL		% Automne-hiver		en kg/ha de TL/mm de LR	
	BRVL	FDTL	BRVL	FDTL	BRVL	FDTL
2012	36.7	213.9	62.6	61.75	3.97	8.78
2013	92.6	857.5	95.2	86.8	7.70	15.74
2014	45.5	721.2	97.7	97.2	5.20	12.23
2015	11.6	151.1	48.7	100	2.98	11.18
2016	45.6	429.9	98.7	92.9	3.43	12.00
Moyenne pondérée	46.4	474.7	88.9 %	89.6 %	4.66	11.99

Tableau n° 5-1.1 : Exports cumulés en MES à BRVL et à FDTL dans les ruissellements analysés au cours des 5 campagnes de 2012 à 2016.

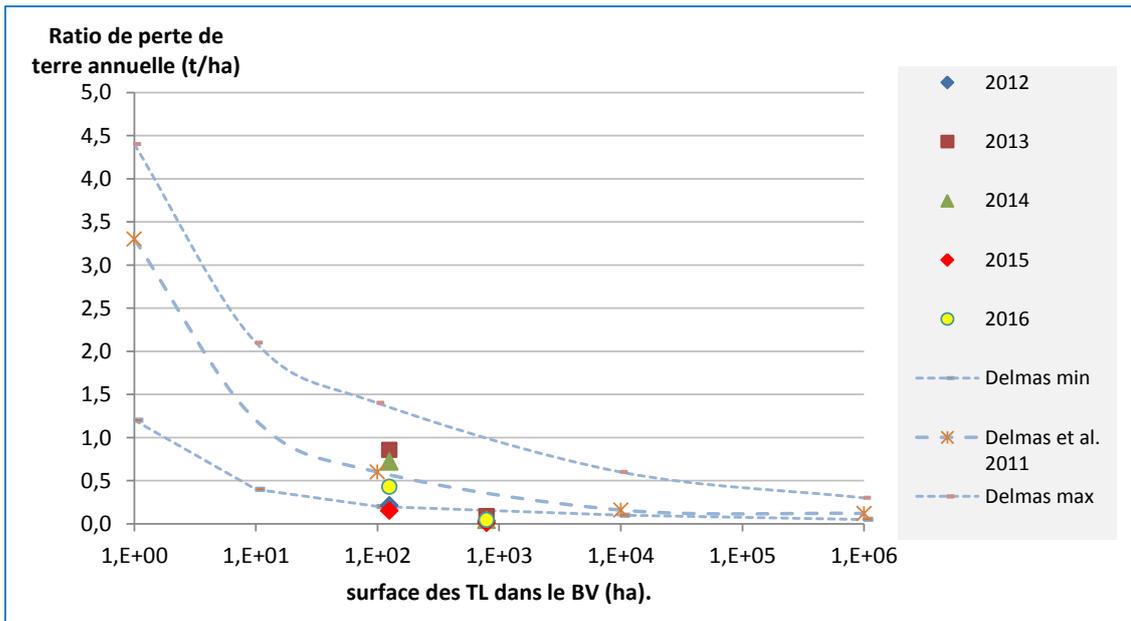


Figure n° 5.1-6 : Comparaison des ratios de perte de terre par ha de TL par campagne à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016 avec les données de Delmas et al. 2011.

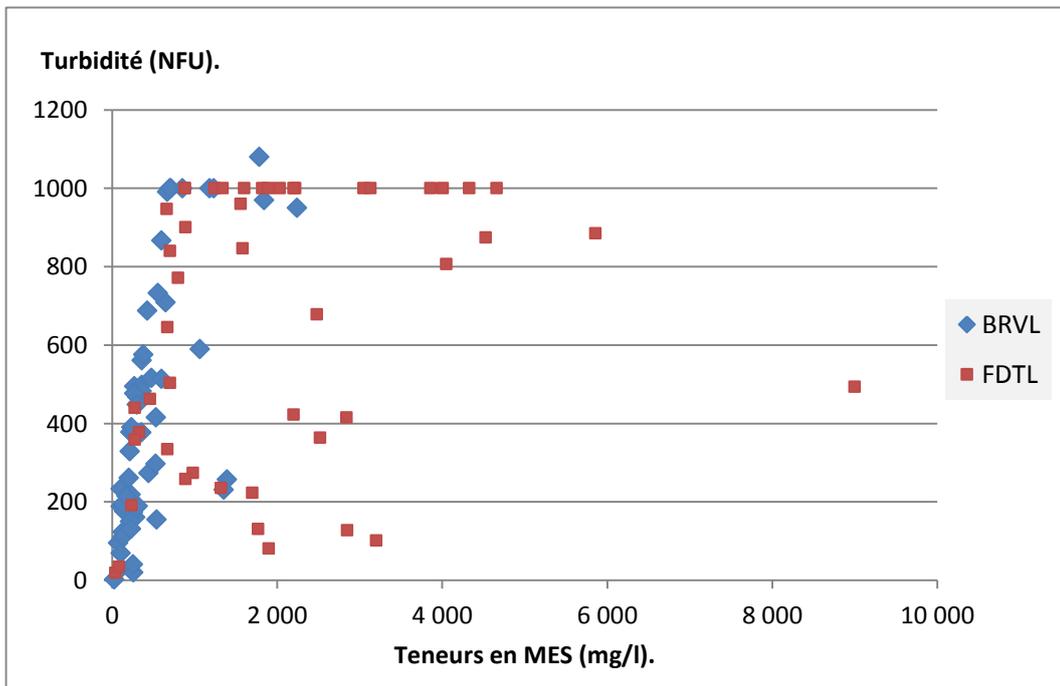


Tableau n° 5-2.1 : Exports cumulés en MES à BRVL et à FDTL dans les ruissellements analysés au cours des 5 campagnes de 2012 à 2016.

Ces valeurs ne reflètent pas exactement le taux d'arrachement de l'érosion, mais bien le bilan entre la phase d'arrachement et celle de dépôt au sein des bassins versants. Comme le montre la Figure n° 5.1-6, elles sont en accord avec la bibliographie de Le Bissonnais *et al.*, 1996, Cerdan O., 2001, Evrard. *et al.*, 2008, Delmas *et al.*, 2011, Landemaine V., 2016, Patault E., 2018 à paraître. Elles permettent d'évaluer la part « d'engraissement » des fonds de vallons et/ou celle qui entre dans le karst. Le graphique X compare les valeurs de perte de terre par campagne à BRVL et FDTL par rapport aux résultats de Delmas *et al* de 2010. Les données de FDTL sont conformes aux résultats de Delmas *et al.*, mais ceux de BRVL sont plus faibles, vraisemblablement à cause de dépôts plus élevés au sein du bassin versant.

La présentation des résultats du taux d'export cumulé par ha de terre labourée exprimé en fonction de la hauteur de lame ruisselée met en évidence l'effet de l'importance du ruissellement dans les exports. Ainsi les valeurs se resserrent :

- A BRVL : le taux d'export moyen est de 4.66 en kg/ha de TL/mm de LR (2,98 à 7,70) ;
- A FDTL, le taux d'export moyen est de 11.99 en kg/ha de TL/mm de LR (8.78 à 15.74).

Ainsi, au lieu d'un facteur 10 entre les ratios d'export par ha de TL entre BRVL (763 ha de TL) et FDTL (125 ha de TL), il est ramené à un facteur proche de 3.

5.2. Turbidité

La turbidité est analysée au laboratoire sur eau brute pour les échantillons moyens représentant des séquences ruisselantes. La méthode et le matériel utilisés au laboratoire ne peuvent pas mesurer de turbidité supérieure à 1 000 NFU. Ainsi, près de ¼ des résultats sont plafonnés à des valeurs autour de cette borne. Ces valeurs seront exclues de l'interprétation.

Le graphique de la Figure n° 5.2-1 illustre la relation turbidité et teneur en MES pour les 2 sites avec tous les résultats. En premier lieu, on constate le plafonnement à 1 000 NFU de la turbidité.

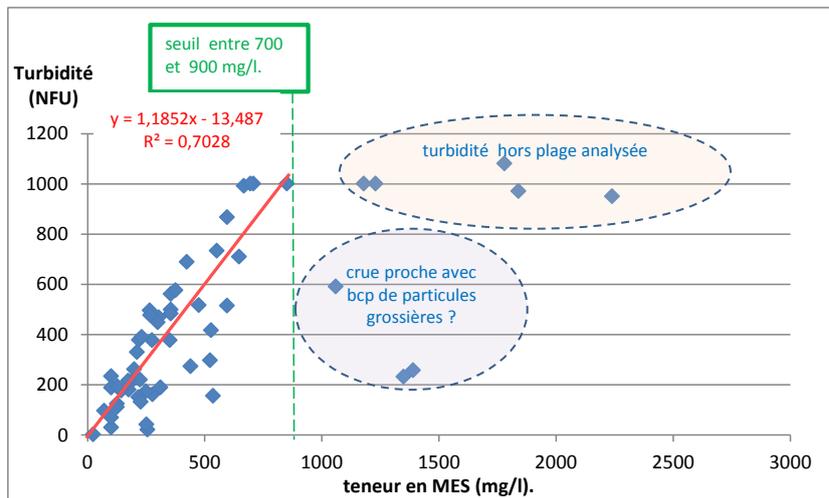


Figure n° 5.2-2 : Relation turbidité (NFU) et teneurs en MES à BRVL de 2012 à 2016.

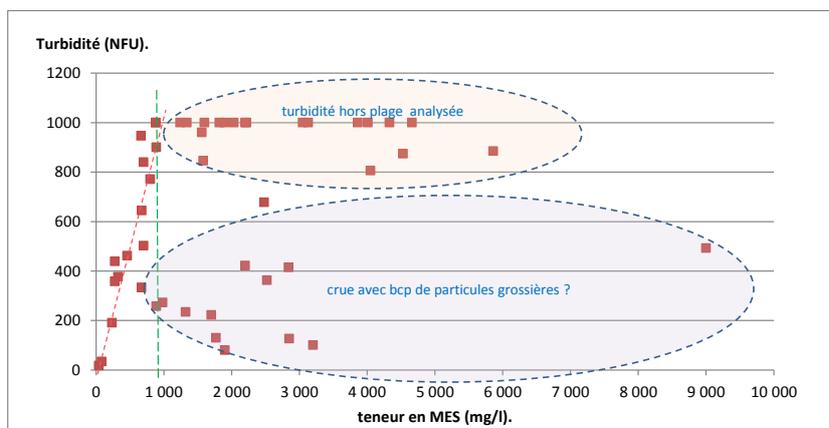


Figure n° 5.2-3 : Relation turbidité (NFU) et teneurs en MES à FDTL de 2012 à 2016.

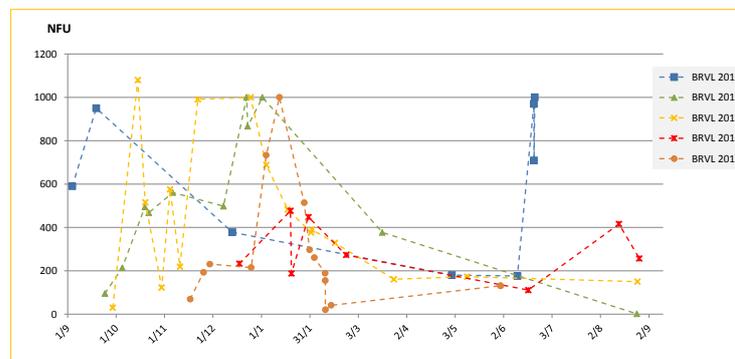


Figure n° 5.2-4 : Evolution temporelle de la turbidité (NFU) à BRVL de 2012 à 2016.

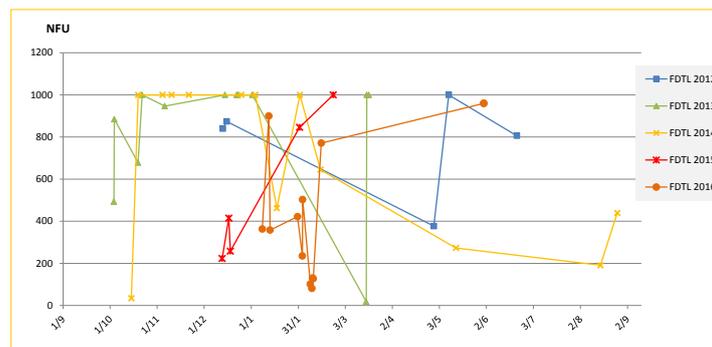


Figure n° 5.2-5 : Evolution temporelle de la turbidité (NFU) à FDTL de 2012 à 2016.

Ensuite, le comportement des 2 sites apparaît distinct :

- Pour BRVL, Figure n° 5.2-2, en dehors des 5 valeurs qui plafonnent à la borne supérieure, la turbidité est bien regroupée autour d'un axe. Seules 3 valeurs s'en écartent. Dans la plage de concentration en MES allant de 0 à un seuil entre 700 et 900 mg/l, les valeurs de turbidité (NFU) montrent une tendance linéaire en lien avec les teneurs en MES :
$$\text{Turbidité (NFU)} = 1,1852 \text{ Teneur en MES (mg/l)} - 13,487 ; \text{coefficient } R^2 = 0,7028$$
Pour les 3 valeurs dont la teneur en MES dépasse 1 000 mg/l, les valeurs de turbidité restent comprises entre 200 et 600 NFU. L'examen détaillé de ces 3 séquences nous amène à proposer une hypothèse (sous toutes réserves) selon laquelle il pourrait s'agir de séquences ruisselantes proches de l'exutoire et donc avec une proportion de particules grossières plus importante.
- Pour FDTL, Figure n° 5.2-3, les concentrations en MES sont 4 fois plus élevées et naturellement, le nombre de valeurs qui plafonnent à la borne supérieure, est bien plus élevé. En dehors de ces cas où les valeurs de turbidité plafonnent, on a reporté sur le graphique les résultats statistiques de BRVL et l'on peut constater que pour des concentrations en MES inférieures à 1 000 mg/l, alors les résultats de turbidité de FDTL sont en accord avec ceux de BRVL. Mais pour les concentrations en MES supérieures à 1 000 mg/l, il existe un grand nombre de résultats dont les valeurs de turbidité restent comprises entre 80 et 700 NFU. Ces cas sont beaucoup plus nombreux qu'à BRVL. On sait que l'érosion est plus intense sur ce sous bassin versant et qu'il y a très peu de zones de sédimentation. Aussi, la granulométrie des particules est certainement plus grossière et, comme à BRVL, cela pourrait expliquer en partie ce résultat.

Les Figures n° 5.2-4 et n° 5.2-5 illustrent les évolutions temporelles au cours des campagnes des valeurs de turbidité sur chacun des 2 sites. On constate que la turbidité est éminemment variable au cours de l'année tant à FDTL qu'à BRVL. Il semble que la turbidité au cours de l'été est moins élevée qu'aux autres saisons, à l'exception de 5 valeurs correspondant à des pluies intenses sur sol pas totalement couvert de mai et juin.

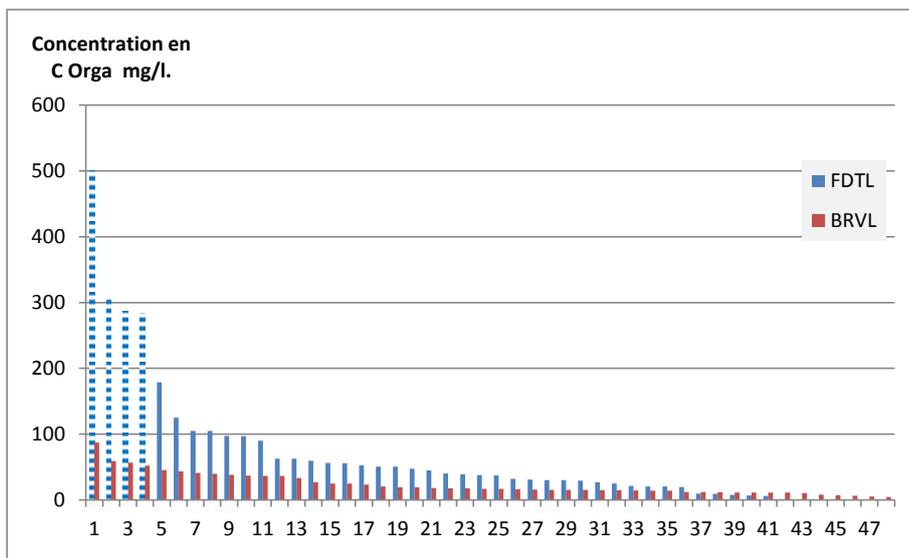


Figure n° 5.3-1 : Histogramme des concentrations en Carbone Organique dans les analyses à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

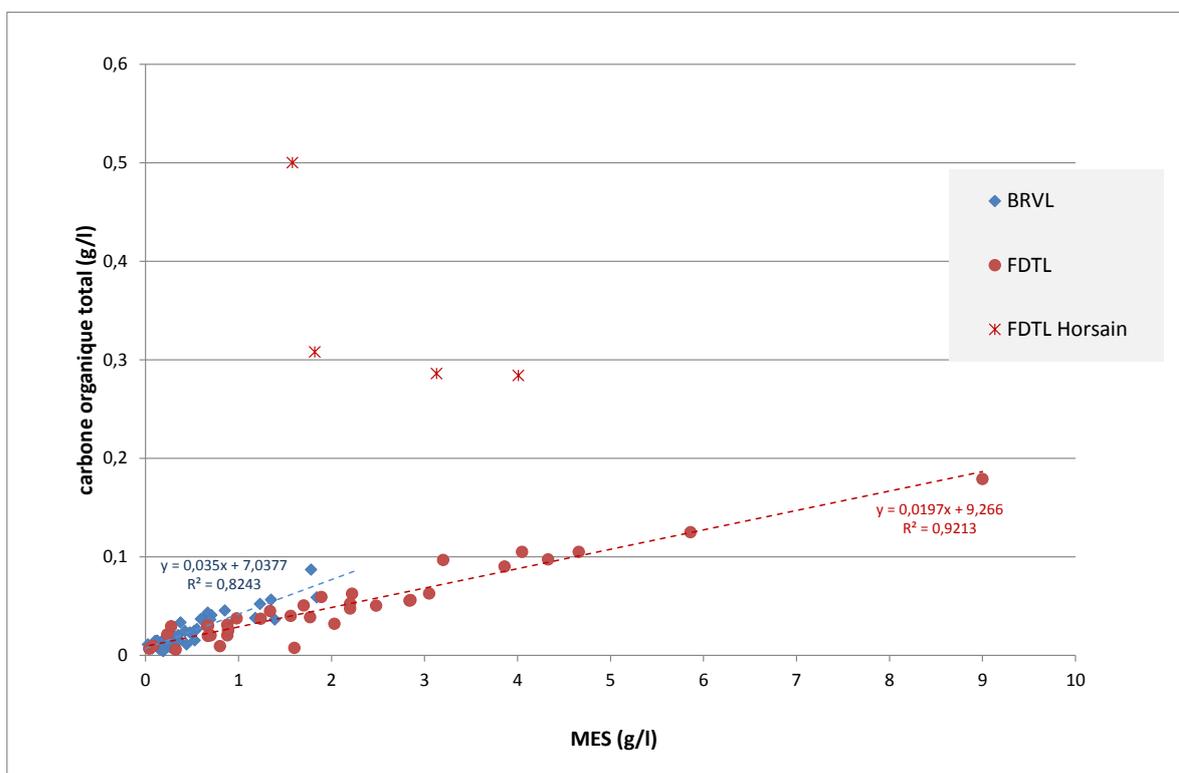


Figure n° 5.3-2 : Relation entre les teneurs en Carbone organique et les teneurs en MES dans les ruissellements à BRVL et à FDTL pour les 5 campagnes de 2012 à 2016.

5.3. Bilan des transferts en Carbone Organique

Les teneurs en carbone organique sont recherchées depuis la campagne 2012 sur les 2 sites. Comme pour les MES, les teneurs sont 2 fois plus élevées à FDTL qu'à BRVL. La gamme des teneurs s'échelonne entre 5 et 90 mg/l à BRVL, et jusqu'à 179 mg/l à FDTL, histogramme Figure n° 5.3-1.

A FDTL, 4 mesures présentent des teneurs particulièrement élevées (les 19/10/2013 et 03/11/2013, plus les 30/01/2015 et 20/02/2015). Après enquête auprès des exploitants, ces 4 épisodes de ruissellement surviennent après des apports récents de fumier de volailles qui sont restés en surface pendant plusieurs semaines. Cette situation peut expliquer les résultats. Parmi l'ensemble des valeurs de FDTL, elles sont considérées comme des horsains.

Le croisement des résultats des teneurs en Carbone Organique (sans les 4 horsains) avec celles en MES, présenté figure 5.3-2, démontre les relations linéaires entre les 2 paramètres :

A FDTL :

$$\text{Teneur CO (mg/l)} = 0,0197 \text{ Teneur en MES (mg/l)} + 9,266 \text{ avec un coefficient } R^2 = 0,9213$$

A BRVL :

$$\text{Teneur CO (mg/l)} = 0,035 \text{ Teneur en MES (mg/l)} + 7,0377 \text{ avec un coefficient } R^2 = 0,8243$$

Le carbone organique présent dans les ruissellements est donc transféré sous une forme associée aux MES. Il représente 2,0 % à FDTL et 3,5 % à BRVL. Ce taux est supérieur à BRVL alors même que la quantité de MES est 10 fois plus faible. Cela peut suggérer que le Carbone organique est essentiellement associé aux particules fines, majoritaires dans les écoulements à BRVL.

	Exports cumulés par campagne.					
	BRVL			FDTL		
	C Orga.	MO		C Orga.	MO	
Campagne	kg/ha de TL.	kg/ha de TL.	% du stock moyen de MO du sol	kg/ha de TL.	kg/ha de TL.	% du stock moyen de MO du sol
2012	0,68	1.17	0,20 %	1,93	3.33	0,55 %
2013	4,66	8.03	1,34 %	17,74	30.58	5,10 %
2014	2.77	4.78	0,80 %	24,25	41.81*	6.97 %
2015	0,52	0.90	0,15 %	5,21	8.98*	1.50 %
2016	2.84	4.90	0,82 %	9,12	15.72	2,62 %
Moyenne pondérée	2,29	3.94	0,66 %	11,65	20.09	3,35 %

*les 4 valeurs particulières sont exclues.

Tableau n° 5.3-1 : Exports cumulés en Carbone Organique et en MO à BRVL et à FDTL au cours des 5 campagnes de 2012 à 2016.

Par définition, ces valeurs de Carbone Organique correspondent à des teneurs en Matières Organiques 1,724 fois plus élevées. Cela implique que les exports de Matières Organiques représentent 4.2 % des MES à FDTL et 8.5 % à BRVL. A FDTL, c'est 2 fois la teneur en MO des sols, ce qui démontre l'effet sélectif de l'érosion qui exporte plus de MO que de particules.

Ces exports en Carbone Organique suivent ceux en MES et ils correspondent à des pertes moyennes de Matières Organiques de l'ordre de 20.09 kg/ha/campagne à FDTL et de 3.94_kg/ha/campagne à BRVL.

Sachant que 1 ha de terre labourée contient en moyenne 600 kg de MO (épaisseur = 0,26 m – densité 1,4 - taux de MO = 1.65 %), **à FDTL les pertes moyennes en MO s'élèvent chaque année à 3.3 % du stock de MO de la couche labourée.**

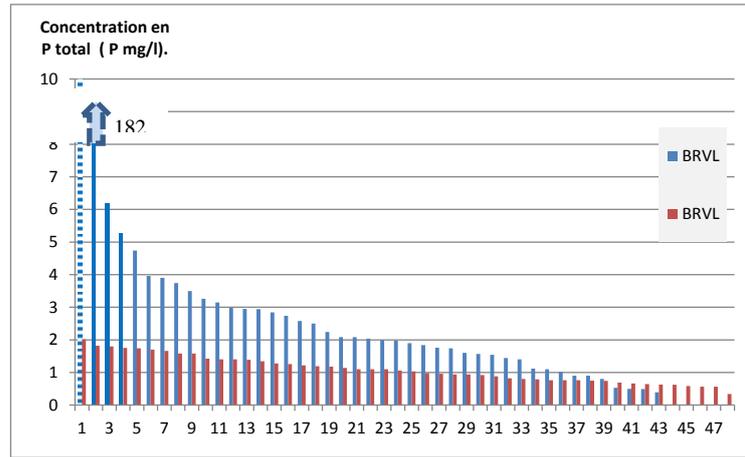


Figure n° 5.4-1 : Histogramme des concentrations en Phosphore total dans les analyses à BRVL et à FDTL sur Les 5 campagnes de 2012 à 2016.

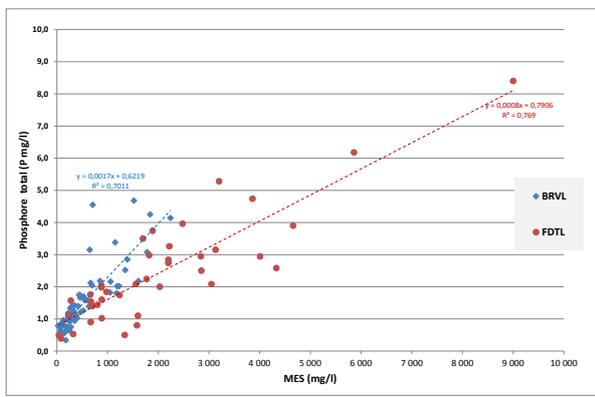


Figure n° 5.4-2 : Relation entre les teneurs en Phosphore total et les teneurs en MES dans les ruissellements à BRVL et à FDTL pour les 5 campagnes de 2012 à 2016.

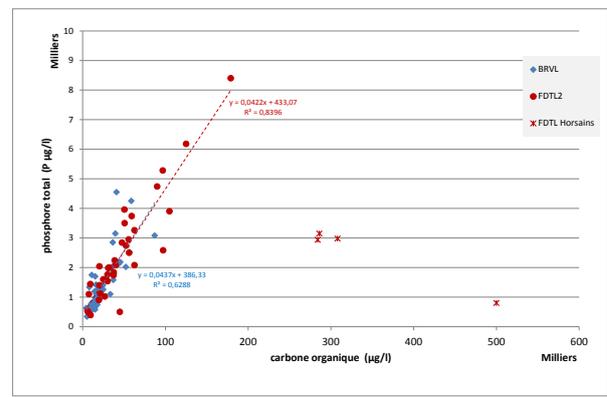


Figure n° 5.4-3 : Relation entre les teneurs en Phosphore total et les teneurs en Carbone organique dans les ruissellements à BRVL et à FDTL pour les 5 campagnes de 2012 à 2016.

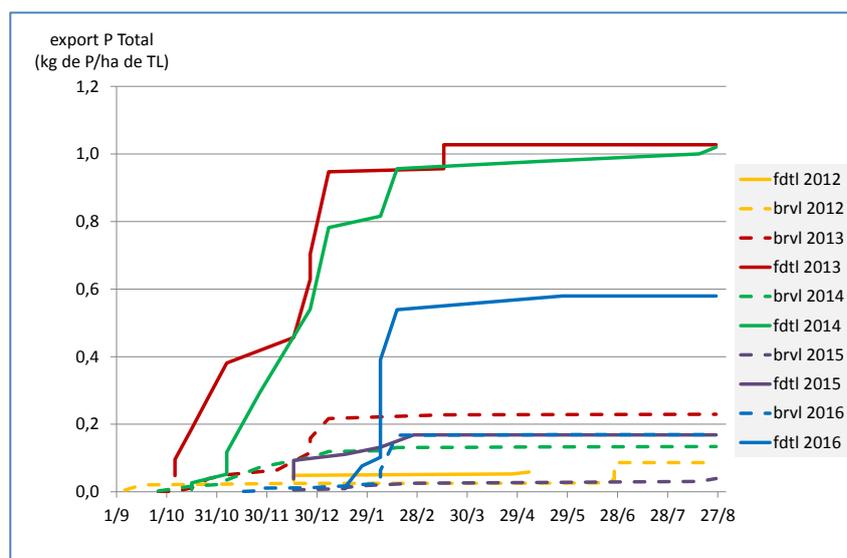


Figure n° 5.4-4 : Evolution temporelle des exports cumulés en Phosphore total par campagne à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016.

5.4. Bilan et exports en Phosphore total

Le phosphore total est analysé dans tous les écoulements depuis la campagne 2012 sur les 2 sites. Comme pour les MES, les teneurs en Phosphore Total sont près de 2 fois plus élevées à FDTL qu'à BRVL. La gamme des teneurs s'échelonne entre 0.34 et 4.68 mg/l à BRVL et jusqu'à 8.40 mg/l à FDTL, histogramme Figure n° 5.4-1.

A FDTL, 1 mesure présente une teneur particulièrement élevée à 182 mg/l (le 21/06/2012) sans explication particulière. Parmi l'ensemble des valeurs de FDTL, elle est considérée comme un horsain.

Le croisement des résultats des teneurs en Phosphore total (sans le horsain) avec celles en MES, présenté figure 5.4-2, démontre des relations linéaires entre les 2 paramètres :

$$A \text{ FDTL : Teneur P total (P mg/l)} = 0,0008 \text{ Teneur en MES (mg/l)} + 0.7906 ; R^2 = 0,7690$$

$$A \text{ BRVL : Teneur P total (P mg/l)} = 0,0017 \text{ Teneur en MES (mg/l)} + 0.6219 ; R^2 = 0,7011$$

De même, le croisement des résultats des teneurs en Phosphore total (sans le horsain) avec celles en Carbone Organique, présenté Figure n° 5.4-3, démontre là encore des relations linéaires entre les 2 paramètres et identiques pour les 2 sites :

$$A \text{ FDTL : Teneur P total (mg/l)} = 0,0422 \text{ Teneur en C Orga. (mg/l)} + 433.07 ; R^2 = 0,8396$$

$$A \text{ BRVL : Teneur P total (mg/l)} = 0,0437 \text{ Teneur en C Orga. (mg/l)} + 386.33 ; R^2 = 0,6288$$

Les liens entre MES, Carbone Organique, Phosphore Total et cette remarquable similarité des relations entre teneurs en Carbone Organique et teneurs en Phosphore Total sur les 2 sites démontrent que ces 2 derniers éléments sont associés et transportés ensemble dans la même fraction solide des ruissellements ; vraisemblablement les fractions les plus fines compte tenu des grandes différences entre les MES des 2 sites.

Les exports en Phosphore Total cumulés par campagne (Figure n° 5.4-4) suivent ceux en MES et en Carbone Organique, et ils correspondent à des pertes moyennes de l'ordre de 0.13 kg de P/ha/campagne à BRVL, et de 0.57 kg de P/ha /campagne à FDTL. Puisque les pertes en Phosphore Total suivent celles en MES, la majorité des exports ont lieu en Automne-Hiver.

Campagne	Exports cumulés en P Total par campagne en kg de P/ha de TL.			
	annuel		% Automne-hiver	
	BRVL	FDTL	BRVL	FDTL
2012	0.086	0.059*	26.0	83.0
2013	0.237	1.027	94.3	92.2
2014	0.136	1.020	97.9	93.7
2015	0.040	0.168	64.5	100
2016	0.175	0.574	99.0	92.9
Moyenne pondérée	0.13	0.57	85.7	93.2

*la valeur particulière est exclue.

Tableau n° 5.4-1 : Exports cumulés en Phosphore Total à BRVL et à FDTL au cours des 5 campagnes de 2012 à 2016.

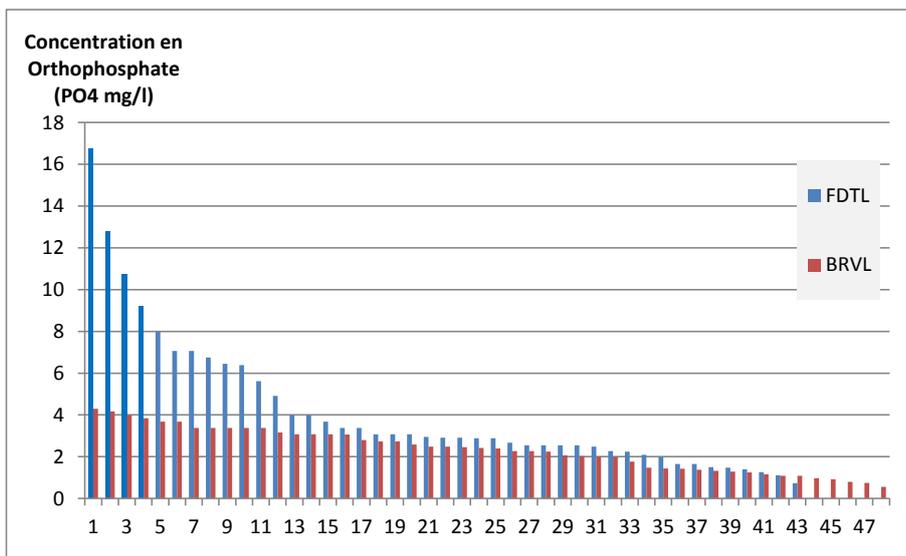


Figure n° 5.5-1 : Histogramme des concentrations en Orthophosphate dans les analyses à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

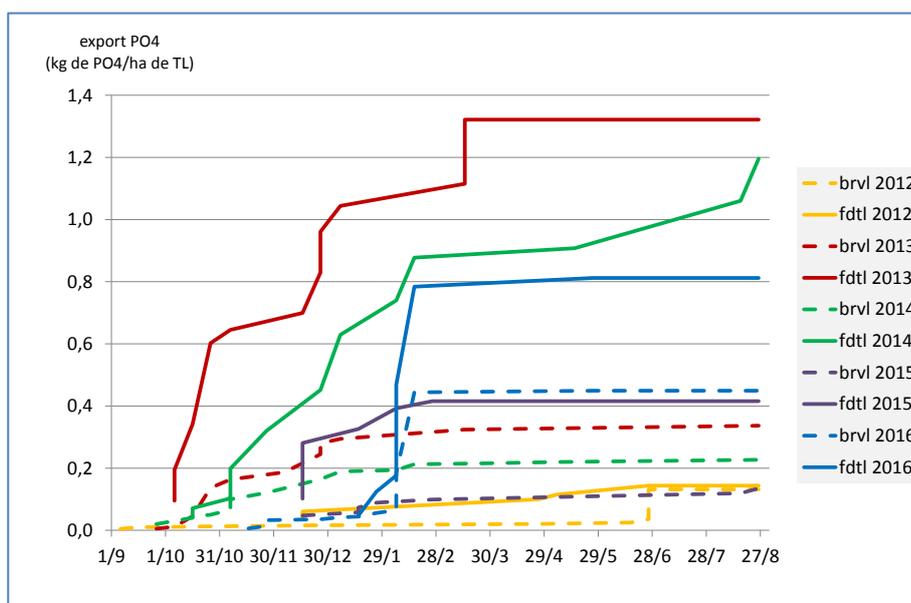


Figure n° 5.5-2 : Evolution temporelle des exports cumulés en Orthophosphate par campagne à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016.

5.5. Bilan et exports en Orthophosphate PO4 Dissous

L'Orthophosphate est analysé dans tous les écoulements depuis la campagne 2012 sur les 2 sites. Comme pour les MES, les teneurs en Orthophosphate sont près de 2 fois plus élevées à FDTL qu'à BRVL. La gamme des teneurs s'échelonne entre 0.55 et 8.26 mg/l à BRVL et jusqu'à 12.80 mg/l à FDTL, histogramme Figure n° 5.5-1.

A FDTL, 1 mesure présente une teneur particulièrement élevée à 182 mg/l (le 21/06/2012) sans explication particulière. Parmi l'ensemble des valeurs de FDTL, elle est considérée comme un horsain.

Il n'y a pas de relation entre les teneurs en Orthophosphate avec celles en Carbone Organique, ni avec celle en MES.

Les exports en Orthophosphate cumulés par campagne (Figure n° 5.5-2 et Tableau n° 5.5-1) correspondent à des pertes moyennes de l'ordre de 0.78 kg de PO4/ha /campagne à FDTL et de 0.26 kg de PO4/ha//campagne à BRVL. Ces valeurs sont près du double de celles en phosphore total à BRVL et 1.5 fois supérieures à celles de FDTL.

	Exports cumulés en Orthophosphate par campagne en kg de PO4/ha de TL.	
Campagne	BRVL	FDTL
2012	0.136	0.144
2013	0.347	1.321
2014	0.234	1.196
2015	0.139	0.416
2016	0.463	0.812
Moyenne	0.264	0.778

Tableau n° 5.5-1 : Exports cumulés en Orthophosphate à BRVL et à FDTL au cours des 5 campagnes de 2012 à 2016.

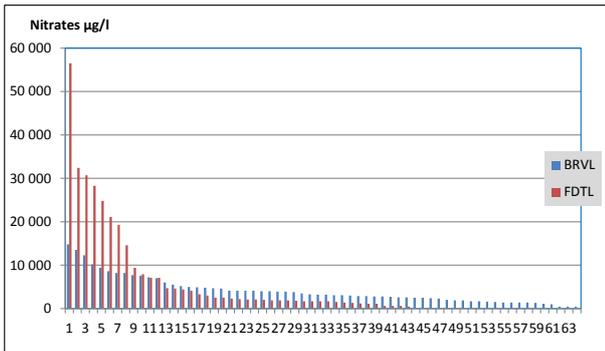


Figure n° 5.6.1-1 : Histogramme des concentrations en Nitrates dans les analyses à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

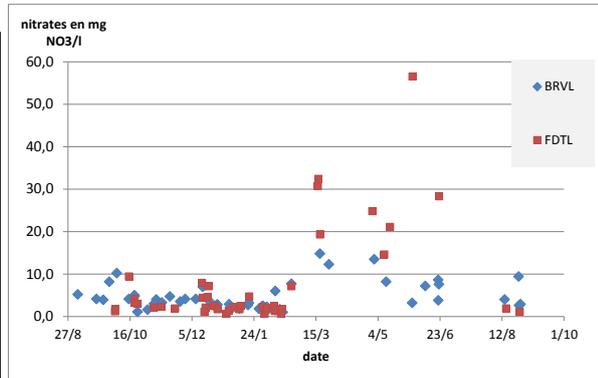


Figure n° 5.6.1-2 : Evolution des concentrations en Nitrates au cours de l'année hydrologique à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016.

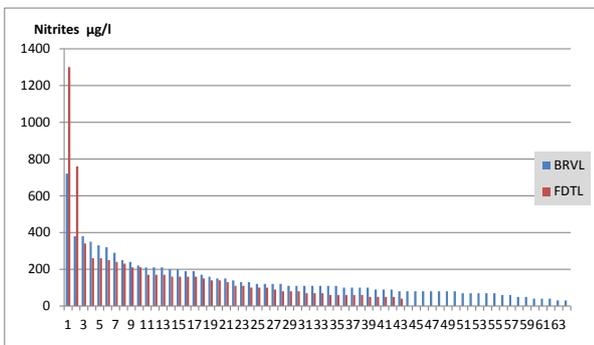


Figure n° 5.6.2-1 : Histogramme des concentrations en Nitrites dans les analyses à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

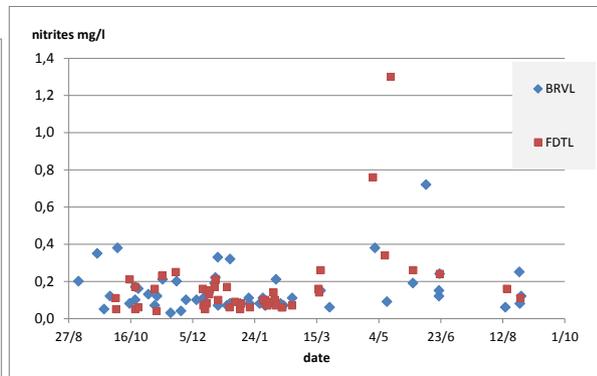


Figure n° 5.6.2-2 : Evolution des concentrations en Nitrites au cours de l'année hydrologique à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016.

5.6. Bilan et Exports en Nitrates, Nitrites et Ammonium

5.6.1. Nitrates NO₃

Pour les nitrates, ils ont été recherchés dans tous les écoulements depuis la campagne 2012 sur les 2 sites. Les teneurs sont assez faibles comme l'indiquent l'histogramme Figure n° 5.6.1-1 et le Tableau n° 5.6.1-1 ci-dessous. 90 % des valeurs à BRVL et 80 % des valeurs à FDTL sont inférieures à 10 mg/l. Seule une valeur à FDTL dépasse 50 mg/l, elle atteint 56.5 mg/l lors du printemps 2016 le 31/05.

Nitrates	BRVL	FDTL
Nb total d'analyses	64	43
% de valeurs < 10 mg/l	93.8 %	81.4 %
% de valeurs < 50 mg/l	100 %	97.7 %

Tableau 5.6.1-1 : Répartition des teneurs en Nitrates dans les ruissellements analysés selon 2 seuils à BRVL et FDTL, campagnes 2012 à 2016.

L'examen de la répartition temporelle des données sur les 2 sites (Figure n° 5.6.1-2) indique que les valeurs restent toujours faibles au cours des trois saisons d'été, d'automne et d'hiver (valeurs inférieures à 10 mg/l). C'est toujours au cours du printemps, de mars à juin, qu'on observe des teneurs plus élevées.

5.6.2. Nitrites NO₂

Pour les nitrites, ils ont été recherchés dans tous les écoulements depuis la campagne 2012 sur les 2 sites, et les résultats vont dans le même sens que ceux obtenus avec les nitrates. Les teneurs sont assez faibles comme l'indiquent l'histogramme Figure n° 5.6.2-1 et le Tableau n° 5.6.2-1 ci-dessous. 95 % des valeurs à BRVL et FDTL sont inférieures à 0.4 mg/l. Seule une valeur à FDTL dépasse 1.0 mg/l, elle atteint 1.3 mg/l lors du printemps 2014 le 10/05.

Nitrites	BRVL	FDTL
Nb total d'analyses	64	43
% de valeurs < 0.4 mg/l	98.4 %	95.3 %
% de valeurs < 1.0 mg/l	100 %	97.7 %

Tableau n° 5.6.2.-1 : Répartition des teneurs en Nitrites dans les ruissellements analysés selon 2 seuils à BRVL et FDTL, campagnes 2012 à 2016.

L'examen de la répartition temporelle des données sur les 2 sites (Figure n° 5.6.2-2) montre la même répartition que pour les nitrates.

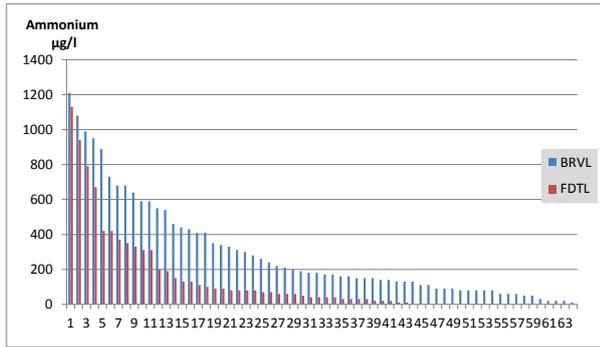


Figure n° 5.6.3-1 : Histogramme des concentrations en Ammonium dans les analyses à BRVL et à FDTL sur les 5 campagnes de 2012 à 2016.

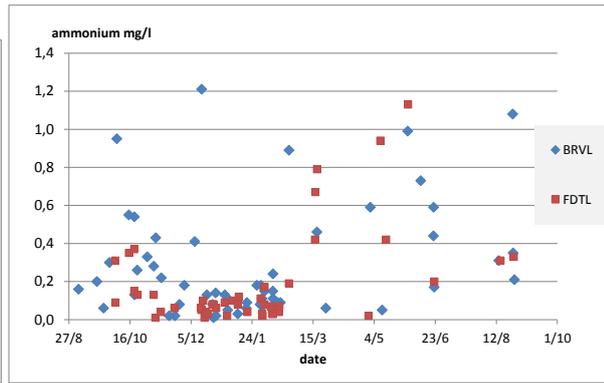


Figure n° 5.6.3-2 : Evolution des concentrations en Ammonium au cours de l'année hydrologique à BRVL et à FDTL de 2012 à 2016.

5.6.3. Ammonium NH4

Pour l'Ammonium, il a été recherché dans tous les écoulements depuis la campagne 2012 sur les 2 sites. Les teneurs sont assez faibles comme l'indiquent l'histogramme Figure n° 5.6.3-1 et le Tableau n° 5.6.3-1 ci-dessous. Elles sont du même ordre de grandeur que celles en Nitrites. 90 % des valeurs à BRVL et 80 % des valeurs à FDTL sont inférieures à 0.4 mg/l. Seules trois valeurs dépassent 1.0 mg/l, à FDTL elle atteint 1.3 mg/l lors du printemps 2016 le 31/05, à BRVL les 13/12/2011 et 24/08/2013.

Ammonium	BRVL	FDTL
Nb total d'analyses	64	43
% de valeurs < 0.4 mg/l	71.9 %	86.0 %
% de valeurs < 1.0 mg/l	96.9 %	97.7 %

Tableau n° 5.6.3-1 : Répartition des teneurs en Ammonium dans les ruissellements analysés selon 2 seuils à BRVL et FDTL, campagnes 2012 à 2016.

L'examen de la répartition temporelle des données sur les 2 sites (Figure n° 5.6.3-2) montre la même répartition que pour les nitrates et les nitrites à FDTL. A BRVL, on observe aussi quelques valeurs élevées en automne hiver. Cela pourrait provenir du réseau pluvial urbain de Bourville.

BIBLIOGRAPHIE - Erosion des sols en pays de Caux et sur sol limoneux en grandes cultures.

- AUZET A.V., 1987. L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques. Min. Env. / Min. Agr., CEREG-URA 95 CNRS, 60 pp.
- AUZET A.V., 1990. L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques. Min. Env. Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, 39 pp.
- AUZET A.V., BOIFFIN J. and LUDWIG B., 1995. Concentred flow erosion in cultivated catchments : influence of soil surface state. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20 : 5.
- AUZET A.V., BOIFFIN J., PAPY F., LUDWIG B., MAUCORPS J. et OUVRY J.F., 1990. An approach to the assessment of Erosion Forms and Erosion Risk on Agricultural Land in the Northern Paris Basin, France. In : J. BOARDMAN, D.L. FOSTER and J.A. DEARING (Editors), *Soil Erosion on Agricultural Land*. Wiley, Chichester, pp. 383-400.
- AUZET V., BOIFFIN J., PAPY F., LUDWIG B., MAUCORPS J., 1992. Rill erosion as related to the characteristics of cultivated catchments in the North of France, *Catena* n° 19.
- BOIFFIN J., PAPY F., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. II.- Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. *Agronomie* 8 (9) : 745-756.
- BOIFFIN J., PAPY F., EIMBERCK M., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I.- Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie* 8: 663-673.
- BOIFFIN J., PAPY F., PEYRE Y., 1986. Systèmes de production, systèmes de culture et risques d'érosion dans le pays de Caux. Rapport INA-PG, INRA, 154 p. + annexes
- CERDAN O., 2001 - Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. Thèse Université d'Orléans.
- CORPEN, Groupe "Dispositifs enherbés", 1997. Produits phytosanitaires et dispositifs enherbés – Etat des connaissances et propositions de mise en œuvre. 88 p.
- DUCHEMIN M., LAFRANCE P., BERNARD C., 2002. Les bandes enherbées : une pratique de conservation efficace pour réduire la pollution diffuse. IRDA, 4 p.
- DUVOUX B., 1990. Protection rapprochée des cours d'eau contre les effets de l'érosion des terres agricoles. Cemagref, 86 p.
- EIMBERCK M., 1989-90. Facteurs d'érodibilité des sols limoneux : réflexions à partir du cas du pays de Caux. Cah. ORSTOM. sér. Pédol., vol XXV n° 1-2 : 81-94.
- EVARD O., NORD G., CERDAN O., SOUCHERE V., LE BISSONNAIS Y., BONTE P., 2010. Modelling the impact of landuse change on rainfall seasonality on sediment export from an agricultural catchment of the northwestern european loess belt. *Elsiever, Agriculture, Ecosystem and Environment* Vol 138, issues1-2, p 83-94.
- FOSTER G.R., 1986. Understanding ephemeral gully erosion, National Research Council, Board on Agriculture. National Academy Press, Washington, DC, pp. 90-118.
- GALLIEN E., LE BISSONNAIS Y., EIMBERCK M., BENKHADRA H., LIGNEAU L., OUVRY J.F. et MARTIN P., 1995. Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol limoneux cultivé. *Cahiers Agricultures*, 4 : 171-183.
- GASCUEL-ODOUX C., HEDDADJ D., 2000. Maîtrise des transferts de surface dans le contexte armoricain. INRA –ENSA Rennes. Contrat Bretagne Eau Pure : 95 :09-020, 115 p. + annexes.
- GRIL J.J., DUVOUX B., 1991 - Maîtrise du ruissellement et de l'érosion. Conditions d'adaptation des méthodes Américaines. CEMAGREF. 157 p.
- GOVERS G., EVERAERT W. POESEN J, RAWES G, DE PLOEY J, 1987 – Susceptibilité d'un sol limoneux à l'érosion par rigoles: essais dans le Grand Canal de Caen, Bulletin 33 du centre de géomorphologie de Caen.

- GOVERS G, 1987 – Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental site, RB Bryan (Editor) : Rill Erosion.
- GOVERS G., 1987 – A regional study of rill patterns in the Flemish loam and sand loam region, Bulletin de la Soc. Belg. Etudes Géogr., SOBEG.
- GOVERS G., VANDAELE K., DESMET PJJ, POESEN J, 1994a – Characterizing soil tillage as a geomorphological process. In: Jensen HE, Schjonning P, Mikkelsen SA, Madsen KB (Eds.), Proc. 13th Int. ISTRO Conf. on Soil Tillage for Crop Production and protection of the environment, vol. I. ISTRO, pp 269-274.
- GOVERS G., VANDAELE K., DESMET PJJ, POESEN J, BUNTE K, 1994b – The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. Eur. J. Soil Sci. 45, pp 469-478.
- GUERIF J., 1988 – Résistance en traction des agrégats terreux : influence de la texture, de la matière organique et de la teneur en eau. Agronomie 8, pp379-386.
- HEDDADJ D., GASCUEL-ODOUX C., COTINET P, HAMON Y, 2005 - Mode de travail du sol, ruissellement et propriétés hydrodynamiques sur un dispositif expérimental de l'Ouest de la France, Etude et gestion des sols 12, 1, 2005: 53-66.
- I.T.C.F. – Agences de l'Eau, 1998. Etude de l'efficacité de dispositifs enherbés - Campagnes 1993-94, 1994-95, 1995-96. Les études de l'Agence de l'Eau (Etude n° 63), Agence de l'Eau Loire – Bretagne, 29 pp.
- KING D., LE BISSONNAIS Y., 1992. Rôle des sols et pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du nord de l'Europe. C.R. Acad. Agri. 78,91-105.
- LACAS J.G., VOLTZ M., GOUY V., CARLUER N., GRIL J.J., 2005. Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. INRA, EDP Sciences. Agron. Sustain. Dev. 25 (2005) 253-266.
- LE BISSONNAIS Y., BENKHADRA H., CHAPLOT V., FOX D., KING D. et DAROUSSIN J., 1998. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m² to small catchments. Soil and Tillage Research, 46 : 69-80.
- LE BISSONNAIS Y., BENKHADRA H., GALLIEN E., EIMBERCK M., FOX D. MARTIN P., DOUYER C., LIGNEAU L., OUVRY J.F., 1996. Genèse du ruissellement et de l'érosion diffuse sur sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au bassin versant élémentaire agricole. Géomorphologie : relief, processus, environnement n° pp. 51-64.
- LE BISSONNAIS Y., LE SOUDER C., 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etude et Gestion des Sols, 2 (1) : 43-56.
- LE BISSONNAIS Y., 1996 – Aggregate stability and assessment of crustability and erodability. 2. Application to humic loamy soils with various organic carbon content. European Journal of Soil Science, 47, pp425-437.
- LE BISSONNAIS Y. et ARROUYAS D., 1997 – Aggregate stability and assessment of crustability and erodability. 2. Application to humic loamy soils with various organic carbon content. European Journal of Soil Science, 48, pp 39-48.
- LE BISSONNAIS Y., RENAUX B., DELOUCHE H., 1995 – Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. Catena, 25, pp33-46.
- LECOMTE V., 1999. Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Thèse, 235 p.
- LUDWIG B., 1992. L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du bassin parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur – Strasbourg, 155 p.
- LUDWIG B., AUZET A.V., BOIFFIN J., PAPY F., KING D., CHADOEUF J., 1996. Etats de surface, structure hydrographique et érosion en rigole de bassins versants cultivés du Nord de la France. Etude et gestion des Sols, 3 (1) : 53-70.
- MARTIN P., 1997. Pratiques culturales, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord Ouest de l'Europe – Application aux intercultures du pays de Caux. Thèse, INA-PG, 184 pp.

- MONNIER G., BOIFFIN J., PAPY F., 1986. Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest. Cahiers ORSTOM, série pédologie, 22(2) : 123-131.
- OUVRY J-F., LHERITEAU M., 2006. Lutte contre l'érosion des terres : l'expérience de la Haute-Normandie en matière d'aménagements d'hydraulique rapprochée à la parcelle sur une exploitation. Coll. Qualité des eaux en milieu rural : Savoirs et pratiques dans les bassins versants. Coll. Update Sciences et Technologie – INRA – pp. 151-158.
- OUVRY J-F., 1989-1990. – Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré – Expérience du pays de Caux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXV, n° 1-2, pp.157-169.
- PAPY F, BOIFFIN J., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. II.- Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. Agronomie 8 (9) : 745-756.
- PAPY F, BOIFFIN J., 1988. Prédiction et maîtrise de l'érosion : influence des systèmes de cultures. Perspectives agricoles n° 122, pp 93.
- PAPY F., POUJADE C., SOUCHERE V., 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion sur un territoire agricole (le double découpage de l'espace). INRA-SAD, Paris Grignon. Gestion de l'espace rural et systèmes d'information géographique. Séminaire INRA Florac, 22-24 octobre 1991, pp. 167-176.
- ROOSE E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Bulletin pédagogique de la FAO n° 80 2d. FAO, 422 p.
- SOUCHERE V., 1995. Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion des talwegs. Application à des petits bassins versants du pays de Caux (Haute Normandie). Thèse de docteur de l'INA-Paris Grignon. 200 pp + annexes.
- VAN DIJK P.M., KWAAD F.J.P.M., KLAPWIJK M., 1996. Retention of water and sediment by grass strips. Hydrol. Process. 10, 1069-1080.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1978. Predicting rainfall-erosion losses : a guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook n 537, US Government Printing Office, Washington, DC.