

Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Diplôme de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Prévention des inondations de la Senne à Tubize et rôle des bonnes pratiques agricoles dans le cadre d'une gestion durable du sous-bassin hydrographique en amont de la ville.

Travail de Fin d'Études présenté par

Pierre DUPONG

en vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Année académique 2008-2009

Directeur de Mémoire :
Professeur Bernard GODDEN

[Version 02]

Résumé

Tubize, une petite ville du Brabant Wallon au nord de la Wallonie (BE) située dans la région agricole limoneuse, vit depuis toujours les caprices de la Senne. Les risques d'inondation s'aggravent sans doute avec le développement, depuis le dix-neuvième siècle, des quartiers aux abords de la plaine inondable. La population garde en mémoire les inondations des mois de décembre 1916, 1966 et 2002. La situation s'améliore progressivement par suite de la dérivation de deux affluents de la Sennette, le Hain et la Samme, vers le canal Charleroi-Bruxelles et l'élimination des vannes d'une fabrique de soie située immédiatement en aval. En 1996, la Région wallonne procède à des travaux d'amélioration en amont sur le lit mineur. En outre des entraves constituées par les moulins et les ouvrages sous-dimensionnés sont éliminées. Mais l'inondation de 2002 vient rappeler que des problèmes subsistent.

Tubize est victime d'inondations dites « par débordement de cours d'eau en fond de vallée », distinctes d'autres types d'inondations comme celles dues au ruissellement à flanc de pente qui dans la région sont le fait d'orages. La chronologie des événements montre que les inondations ont lieu de préférence en hiver. Les précipitations, les caractéristiques physiques du bassin versant et l'occupation du sol peuvent l'expliquer. L'examen des données limnologiques confirme que la période critique va de janvier (ou décembre) à mars.

Suite à l'action des riverains, la Direction des cours d'eau non navigables de la Région wallonne procède à une étude hydrologique approfondie du sous-bassin en vue des aménagements nécessaires. Le débit maximum acceptable à Tubize est fixé à 43 m³ par seconde. L'étude se conclut en proposant la construction de trois bassins d'écrêtement d'un volume total de 1.290.000 m³. La ville serait ainsi à l'abri d'une pluie extrême survenant tous les cinquante ans, ce qui pour un événement de pluie de 24 heures dans le sous-bassin de Tubize ville correspondrait théoriquement à une précipitation de 65 mm.

Les bassins proposés ne voient pas le jour et la Région procède aux travaux d'aménagement de 1996, avec la mise du lit mineur de la Senne au gabarit de 50 m³/seconde. Ceci constitue un progrès, mais pour éviter une inondation qui se produirait à l'occasion de la pluie extrême déjà évoquée, il faudrait encore une capacité d'écrêtement de près de 900.000 m³, soit théoriquement 42% du ruissellement potentiel durant l'événement.

Le sous-bassin versant de Tubize ville a une surface de 233 km² et son agriculture en occupe près de 76%. Si au lieu de construire des bassins d'écrêtement on demandait aux seules terres agricoles de retenir l'excès de pluie, en adaptant les pratiques culturales par exemple, il faudrait dégager sur ces terres une capacité d'infiltration supplémentaire qui équivaldrait à 55 % du ruissellement potentiel durant l'événement.

L'étude du ruissellement diffus par la méthode SCS montre qu'une fraction importante du débit de la Senne durant les événements de pluie extrêmes est d'origine agricole. On constate également que les occupations du sol particulières (prairies, cultures sarclées ou non sarclées) et la qualité des pratiques culturales influencent de manière significative le ruissellement et la réponse hydrologique de la Senne à Tubize.

Certaines bonnes pratiques agricoles sont particulièrement bien adaptées pour apaiser les crues en hiver. La couverture du sol par une culture dérobée hivernale ou l'amélioration de la qualité des prairies sont des solutions à court et à moyen terme. La reconstitution du stock de carbone organique total des sols, par l'usage d'engrais organique et des techniques de travail du sol appropriées, est une perspective intéressante à long terme.

Les programmes développés par la Région wallonne dans le cadre de la Politique Agricole Commune - les bonnes conditions agricoles et environnementales de la Conditionnalité, le programme de gestion durable de l'azote (PGDA) ou les mesures agri-environnementales (MAE) – contiennent des dispositions capables de limiter le ruissellement et l'érosion des terres. Ces pratiques méritent d'être évaluées par rapport à leur impact sur le régime hydrologique et le danger d'inondation à l'exutoire du bassin-versant de la Senne à Tubize.

Business Summary

Tubize, a small town located in the Belgian loam belt region south of Brussels, has since centuries an uneasy relation with its restless river the Senne. The risk of flooding has probably increased since urban development took place near the floodplain in the nineteenth century. Today its citizens still remember the floods of December 1916, 1966 and 2002. The situation improved when two tributaries of the Sennette River (the Samme and the Hain, the Sennette herself being a tributary of the Senne), were diverted into the canal joining Charleroi to Brussels and a set of sluices operated downstream by a silk manufacturing company was removed. In 1996, the Walloon regional authorities carried out works on the river channel. In addition, hindrances like watermills and narrow bridges were removed. But the flooding of 2002 is a warning that problems are still looming.

Tubize suffers from floods due to river surges on the bottom of the valley. These are not to be confused with other types such as flush floods resulting from slope runoffs, an occurrence which in the region is caused by storms. Historical records show that flooding mainly occurs in the wintertime. This may readily be explained by the weather, the physical properties of the Tubize catchment and land use. Flow measurement data confirm that the critical period extends from January (or Decembe) through March.

At the request of the riverside residents, the Regional administration for waterways ("Direction des cours d'eau non navigables de la Région wallonne") undertook a thorough hydrological survey of the watershed in order to implement the necessary mitigation measures. The maximum acceptable river flow rate in Tubize was set at 43 cubic meters per second. The survey and subsequent feasibility assessment suggested the construction of three storage reservoirs with a total holding capacity of 1,290,000 cubic meters. These were designed to protect the town from an extreme rainfall event occurring every fifty years which in the Tubize watershed would, for an event lasting for 25 hours, theoretically mean a rainfall height of 65 mm.

The planned reservoirs were never built and the regional authorities proceeded with the 1996 works which consisted mainly in widening the river channel to accommodate a 50 cubic meter per second flow rate. This was a progress, but an extreme weather event of the already mentioned magnitude would still require a set of reservoirs with a holding capacity of about 900,000 cubic meters, a figure which in theory amounts to 42% of the total runoff of 9 mm during the event.

The Tubize watershed has an area of 233 square kilometres and agricultural land use covers about 76 percent. If instead of the planned storage reservoirs only farm land was required to absorb the excess rainfall, e. g. by adapting farming practices, the additional infiltration capacity would have to amount to about 55 percent of the global runoff flow of 9 mm.

By assessing the potential diffuse overland runoff, based on the US SCS method, it can be readily shown that during extreme rain events, a sizable fraction of the Senne river flow comes from agricultural land use. It has also been found that any particular land use (pastures, row crops or small grain) and the quality of agricultural practices can markedly influence runoff flows and the hydrological response of the Senne River at Tubize.

Some good agricultural practices are particularly well suited in order to limit river surges during the winter season. For instance, winter crops with a good ground cover or carefully attended meadows are valid short and middle term solutions. Replenishing the total organic carbon stock in the topsoil, e. g. by applying organic manure and appropriated tillage practices, is an interesting long term option.

Programs implemented by the Walloon Region in the framework of the Common Agricultural Policy – the good agricultural and environmental conditions (cross-compliance), the sustainable nitrogen management program ("programme de gestion durable de l'azote – PGDA") or agri-environmental measures (AEMs) – contain provisions capable of mitigating runoff flows and topsoil erosion. It would be worthwhile to assess their impact on the flow regime and flood hazard at the outlet of the Senne's watershed in Tubize.

Remerciements

Mes remerciements sincères vont au Professeur Bernard Godden qui a accepté la direction de ce mémoire et m'a ouvert une porte sur le monde agricole de notre Région.

J'adresse également mes remerciements à Christian Fayt, Directeur du Contrat de rivière Senne, qui a partagé avec moi ses préoccupations pour les riverains de Tubize.

Mes remerciements vont à toutes les personnes qui ont eu la gentillesse, et la patience, de m'accueillir durant mes démarches et qui m'ont aidé par leurs informations et de leurs conseils.

Il s'agit de

Carole Van Roy, coordinatrice, Marie-France Altenhoven et Caroline De Jonghe, chargées de mission au Contrat de rivière Senne,
Danièle et Christian De Brabanter, animateurs de « SOS Inondation Tubize »,
Guy Van Esbeen, Capitaine du Corps des Pompiers de Tubize,
Patrick Degraeve et l'équipe technique du canal Charleroi-Bruxelles à Ronquières,
Jean Lecomte, Directeur à la DGARNE-Cours d'eau non navigables à Mons,
Luc Delporte, Conservateur du Musée de la Porte à Tubize,
Aurore Degré, Première Assistante à la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques à Gembloux,
Michel Thienpont, agriculteur, et animateur du Groupe Agriculture du Contrat de rivière et
Marcel Mazoyer, ancien Président du Comité du Programme de la FAO, titulaire de la chaire Franqui 2007-2008 et auteur, avec Laurence Roudart, du livre « Histoire des Agricultures du Monde ».

Merci à Jean-Jacques et à Perrine Camphyn pour leur aide.

Merci de tout coeur à toi, Ana Teresa, et à vous, Irène et Manuel, pour votre soutien.

Table des matières

1.	<u>Introduction</u>	7
2.	<u>Tubize inondée</u>	10
2.1.	Histoires d'inondations	10
2.1.1.	<u>Bassin de l'Escaut et de la Senne du 11^e au 16^e siècle</u>	10
2.1.2.	<u>Senne au 19^e siècle</u>	11
2.1.3.	<u>Inondation de décembre 1916</u>	11
2.1.4.	<u>Inondation de décembre 1966</u>	12
2.1.5.	<u>Inondation de décembre 2002 - janvier 2003</u>	13
2.1.6.	<u>Inondations par débordement dans le bassin de l'Escaut et de la Senne, un phénomène hivernal</u>	15
2.2.	Aléa d'inondation	17
2.2.1.	<u>Cartographie de l'aléa d'inondation</u>	17
2.2.2.	<u>Aléa d'inondation à Tubize</u>	19
2.2.3.	<u>Vécu de la population</u>	20
3.	<u>Sous-bassin versant de Tubize ville</u>	22
3.1.	Définitions	22
3.2.	Bassin de l'Escaut et sous-bassin versant de la Senne	22
3.3.	Situation du sous-bassin versant de Tubize ville et masses d'eau de surface	24
3.4.	Caractéristiques physiques	28
3.4.1.	<u>Topographie</u>	28
3.4.2.	<u>Géologie et hydrogéologie</u>	29
3.4.3.	<u>Pédologie</u>	29
3.4.4.	<u>Climatologie</u>	30
3.5.	Facteurs anthropiques	33
3.5.1	<u>Occupation du sol et population</u>	33
3.5.2	<u>Surface agricole</u>	36
3.6.	Conclusion	38
4.	<u>Réponse hydrologique dans le sous-bassin versant de la Senne</u>	39
4.1.	Événement de crue de la Senne à Tubize, du 22 au 26 janvier 2009	39
4.1.1.	<u>Stations de mesure</u>	39
4.1.1.1.	Pluviographes	39
4.1.1.2	Limnimgraphes	40
4.1.2.	<u>Données et caractéristiques de la crue</u>	41
4.1.3.	<u>Commentaires</u>	43
4.2.	Bilan hydrologique 2002-2007	44
4.2.1.	<u>Méthode</u>	44
4.2.2.	<u>Résultats</u>	44
4.2.3.	<u>Commentaires</u>	47
4.3.	Crues, un phénomène hivernal confirmé	47
5.	<u>Étude hydraulique du bassin versant de Tubize ville</u>	49
5.1.	Contraintes	49
5.2.	Propositions de l'étude SEPRO	51
5.3.	Conclusions	55
6.	<u>Ruissellement d'origine agricole dans bassin versant de Tubize ville</u>	56
6.1.	Ruissellement diffus	56

6.2.	Méthode SCS	58
6.2.1.	<u>Hypothèse de base</u>	58
6.2.2.	<u>Pluie de projet</u>	59
6.2.3.	<u>Groupes hydrologiques de sols</u>	59
6.2.4.	<u>Humidité préalable moyenne des sols</u>	60
6.2.5.	<u>Pentes</u>	61
6.2.6.	<u>Occupation des sols</u>	61
6.3.	Étude du ruissellement diffus dans le bassin de Tubize ville	61
6.3.1.	<u>Ressources et outils</u>	61
6.3.2.	<u>Résultats</u>	62
6.3.2.1.	Carte des groupes hydrologiques de sols	62
6.3.2.2.	Carte des pentes	65
6.3.2.3.	Carte d'occupation du sol	67
6.3.2.4.	Carte des zones à risque de ruissellement diffus	72
6.4.	Influence de l'occupation du sol sur le ruissellement diffus d'origine agricole dans le sous-bassin de Tubize ville	77
6.4.1.	<u>Méthode</u>	77
6.4.2.	<u>Résultats</u>	78
6.4.3.	<u>Commentaires</u>	80
6.5.	Conclusion	81
7.	<u>Contrôle du ruissellement diffus par les pratiques culturales et les modifications de l'occupation du sol</u>	83
7.1.	Prévention et correction par priorité à la source	83
7.2.	Bibliographie	84
7.2.1.	<u>Travail du sol</u>	84
7.2.2.	<u>Cultures de couverture</u>	85
7.2.3.	<u>Céréale d'hiver</u>	85
7.2.4.	<u>Pâturages</u>	86
7.2.5.	<u>Fertilisants</u>	87
7.2.6.	<u>Terrasses de diversion du flux hydrique et chenaux enherbés</u>	87
7.2.7.	<u>Drainage agricole</u>	88
7.2.8.	<u>Occupation du sol</u>	88
7.2.9.	<u>Synoptique des pratiques culturales</u>	89
7.2.9.1.	Engrais organiques	91
7.2.9.2.	Prairies	91
7.2.9.3.	Travail du sol	91
7.2.9.4.	Couverture du sol hivernale	91
7.2.9.5.	Drainage	91
7.2.10.	<u>Autres pratiques</u>	91
7.2.10.1.	Sens des sillons	91
7.2.10.2.	Compaction des sols	91
7.2.10.3.	Fourrières et dérayures	92
7.2.10.4.	Traces de roues	92
7.2.11.	<u>Commentaires</u>	92
7.3.	Conditionnalité, bonnes pratiques environnementales, et mesures agri-environnementales	92
7.3.1.	<u>Conditionnalité</u>	93

7.3.2.	<u>Programme de gestion durable de l'azote (PGDA)</u>	94
7.3.3.	<u>Mesures agri-environnementales (MAE)</u>	98
7.3.4.	<u>Commentaires</u>	99
7.4.	Conclusion	100
8	<u>Perspectives</u>	101
	<u>ANNEXE I : Réponse hydrologique d'un bassin versant</u>	103
	<u>ANNEXE II : Cartes et diagrammes</u>	116

1. Introduction

Durant l'hiver 2005-2006, j'ai eu l'occasion de participer, en tant que volontaire du Contrat de rivière Senne (CRS), à un inventaire de terrain dans la commune de Soignies où je réside. Cette expérience est à la base de mon intérêt pour une rivière qui prend sa source dans la commune et qui, après avoir traversé les trois régions de l'État fédéral, se jette dans la Dyle et le Rupel pour rejoindre l'Escaut.

Lors d'une rencontre avec Christian Fayt, directeur du CRS et échevin des travaux, du logement et de la ruralité à Ittre, ce dernier m'avait fait part de l'intérêt du Contrat de rivière pour une étude sur les inondations à Tubize.

En Wallonie, les CR sont conçus comme des protocoles d'accord entre un ensemble d'acteurs publics et privés, avec comme objectif de concilier les multiples fonctions et usages de l'eau d'un même sous-bassin hydrographique¹ : gestion des rivières, captages, traitement des eaux usées ... Ils dépendent administrativement du Service public de Wallonie² et à ce titre ils s'intègrent dans la politique des autorités régionales. La Directive Cadre Eau 2000/60/CE de l'Union européenne³ fait du bon état des eaux une obligation que la Région wallonne doit atteindre en 2015.

Le Contrat de rivière Senne⁴ s'est constitué en 2003. Il réunit autour de la Région wallonne représentée par la Direction générale de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement (DGARNE), les provinces du Hainaut et du Brabant Wallon, 19 communes du sous-bassin versant et les usagers publics et privés de l'eau : intercommunales, administrations publiques, agriculteurs, industriels, propriétaires terriens, pêcheurs, amateurs d'histoire et du patrimoine ... et simples amoureux de la nature. Il prône la participation active de tous ceux qui désirent unir leurs forces pour développer le bon état des eaux du sous-bassin wallon de la Senne, dans l'esprit d'une gestion intégrée et durable.

Comme les autres Contrats de rivière en Wallonie, celui de la Senne s'est doté d'un programme d'action. Il regroupe les initiatives déjà prévues par les partenaires comme la construction de stations d'épuration ou la sensibilisation du public. Il inclut aussi la liste des actions correctives découlant de « points noirs » repérés lors des inventaires de terrain. La mise en œuvre de ces derniers fait l'objet d'un consensus entre les différents acteurs institutionnels, Région, provinces et communes.

A Tubize, les autorités communales sont les premières concernées quand leurs concitoyens ont à subir les débordements de la Senne.

Le risque d'inondation dans cette commune fait que deux points du programme d'action du Contrat de rivière y sont consacrés : l'information des habitants⁵ et la construction d'un bassin d'orage près du nouveau lotissement 'Wetrimmo' à la rue de Quehain à Saintes⁶.

Les agriculteurs constituent un autre groupe intéressé par une bonne gestion de l'eau. Avec son groupe de travail « agriculture », le CRS organise des soirées d'information sur les nuisances du ruissellement et sur l'érosion des terres arables. À chaque fois, l'assistance est nombreuse.

Les communes et les autres acteurs concernés par les inondations du sous-bassin ont intérêt à collaborer pour mettre en place des solutions durables qui servent l'intérêt commun. Sans doute

¹ Arrêté du gouvernement wallon du 13 novembre 2008 modifiant le Livre II du Code de l'Environnement contenant le Code de l'Eau, relatif aux **contrats de rivière** (M.B. du 22/12/2008, p. 67608), Art. R.45 4° et 10 °: « Association de personnes constituée sous la forme d'une personne morale dotée de la personnalité juridique, rassemblant, sur base volontaire, tous les acteurs concernés par la gestion durable de l'eau dans le sous-bassin hydrographique concerné et matérialisée au travers d'un protocole d'accord. Ce document est élaboré par le coordinateur de projet en collaboration avec les groupes de travail et en concertation avec chaque organisme représenté au contrat de rivière et est approuvé par le comité de rivière (assemblée générale du Contrat de rivière). Il fixe les objectifs que chacun s'engage à réaliser dans une période de trois années, visant à concilier les multiples fonctions et usages des cours d'eau, de leurs abords et des ressources en eau du sous-bassin hydrographique concerné. Il contient l'engagement de chaque commune, de chaque province concernée et de la Région wallonne de financer la phase d'exécution du protocole d'accord pendant toute la durée de celle-ci. »

² SPW (Service public de Wallonie) / DGO3-DGARNE (Direction générale de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement) / Département environnement et eau / Direction des eaux de surface

³ http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28002b_fr.htm

⁴ Contrat de Rivière Senne Place Josse Goffin 1 [1480 Clabecq](http://www.crsenne.be) portail Internet : www.crsenne.be

⁵ CRS, Programme d'action, action n° 367

⁶ CRS, Programme d'action, action n° 363

plus que quiconque, les habitants de Tubize en sont-ils conscients, eux qui résident dans une ville à la confluence des deux principales rivières du sous-bassin, la Senne et la Sennette⁷. Située à l'exutoire, la Ville dépend des aménagements en amont.

Tubize a été inondée en 1839, 1850, 1852, 1859, 1860, ... Depuis des siècles, les inondations y sont un phénomène récurrent. Une des plus dévastatrices dont nous avons un récit complet est celle de l'hiver 1916. Elle a provoqué la mort de plusieurs personnes et la destruction d'habitations. Plus proche de nous dans le temps, il y a les inondations des hivers 1966 et 2002. Entre 1994 et 2003, six arrêtés royaux ont été promulgués dans le cadre de l'intervention du Fonds des Calamités.

La Région wallonne a réalisé des travaux d'amélioration en amont de la ville à partir de 1996. Mais l'inondation de décembre 2002 et les interventions régulières des pompiers de la Ville, 800 sorties en 2008, montrent que les riverains n'en ont pas fini avec les caprices de leur rivière.

La présente étude s'intéresse à des inondations d'un type particulier, celles provoquées par le débordement de rivière en fond de vallée. Elles sont le résultat de débits de crue provoqués par des pluies réparties sur l'ensemble du sous-bassin. Celui de la Senne à Tubize ville fait 233 km². Les inondations causées par des ruissellements locaux suite à des orages violents ne sont pas prises en compte, sauf si elles aggravent les inondations par débordement.

L'aléa d'inondation est régi par des facteurs complexes, tantôt naturels comme les précipitations (on fera abstraction du changement climatique), la température, le type de sol, la géologie, la topographie du bassin versant ... , tantôt liés à l'activité humaine. Certains aménagements ou pratiques altèrent la surface au niveau de la perméabilité du sol, tandis que d'autres se font sur le parcours linéaire des cours d'eau. En simplifiant, on peut dire que les effets de surface influencent la fonction de production du ruissellement, tandis que les interventions sur le réseau hydrographique influencent la fonction de transfert de celui-ci vers l'exutoire de la rivière.

L'agriculture est importante au niveau de l'hydrologie du sous-bassin. Car avec une surface agricole utile (SAU) de près de 76% de la superficie totale, elle intercepte un pourcentage équivalent des apports météoriques. Toute modification de ses capacités d'infiltration, d'évapotranspiration ou de rétention superficielle a un effet sur les eaux de ruissellement.

Mais dans quelle mesure ? Peut-on chiffrer l'impact de telle ou telle pratique culturale ? Peut-on prévoir comment leur évolution modifiera le ruissellement et les crues ?

Des modèles mathématiques existent qui permettent de prévoir l'évolution de crues en temps réel. Encore faut-il les paramétrer correctement. Ils ont été utilisés avec succès dans d'autres bassins versants de même ordre de grandeur, par exemple celui de la Lesse ou de l'Amblève. Le modèle MOHICAN⁸ a été appliqué aux affluents de la Meuse. Il intègre les flux d'origine agricole, géologique et leur acheminement à travers le réseau hydrologique de surface. Le modèle EPICgrid⁹ a été appliqué avec succès dans les Hautes Fagnes. Il est le produit de l'Unité d'Hydrologie et d'hydraulique agricole de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux et a été élaboré dans le cadre du projet ERRUISSOL¹⁰.

Afin d'évaluer l'incidence des pratiques agricoles sur les inondations par débordement de la Senne à Tubize, la présente étude aborde les points suivantes :

⁷ Tubize signifie littéralement deux (*anc. germ.: twai*) rivières (*anc. germ.: baki*) : Thobacem (877), Tubacca (1136), Tubeke (nl) (*J.P. Gaspers, 'Dictionnaire des noms de lieux en Wallonie et à Bruxelles', 2005*)

⁸ " **MOHICAN** (MOdèle Hydrologique Intégré pour le calcul des Crues et l'Amplitude des Niveaux d'eau) est un modèle intégré de simulation du bassin de la Meuse en Région wallonne. Il fait partie des études demandées par la Région wallonne dans le cadre de ses engagements internationaux au niveau du **Plan d'action inondation Meuse** et du programme **IRMA** (Interregional Rhine Meuse Activities) de l'Union européenne. Fruit de la collaboration de l'Université de Liège (LGIH, HYD, CEME) et de la FUSAGx (HA), le modèle a pour but de simuler les effets de tout aménagement dans le bassin versant sur les débits des rivières en tenant compte aussi bien du ruissellement (naturel et forcé) que de la contribution des eaux souterraines.

⁹ Le modèle hydrologique **EPICgrid**, développé à la FUSAGx, est un modèle distribué, physiquement basé, permettant de réaliser des simulations tant à l'échelle parcellaire (« noyau » EPIC, modèle SCS des USA) qu'à l'échelle du bassin versant (développement FUSAGx) ; il tient compte, par maille de 1 km² ou moins, des valeurs pondérées de l'occupation du sol, de la pente des terres, de l'hydrodynamique de la zone vadose (via des règles de pédotransfert et autres), de la croissance des cultures, des pratiques agricoles, etc.

¹⁰ Le projet **ERRUISSOL**, piloté et coordonné par la Région wallonne (SPW/DGARNE/Direction du développement rural), vise à constituer une base de données cartographique et numérique relative aux risques de ruissellement et d'érosion des sols sur l'entièreté du territoire wallon, à l'intégrer dans un SIG et à la mettre à jour et en valeur au sein de la Région wallonne.

- enseignements de la chronologie des inondations et vécu des riverains ;
- exploitation des publications de la DGARNE et des archives du réseau de télémesures de la Direction générale des voies d'hydrauliques pour acquérir une vue d'ensemble du sous-bassin ; un événement de crue suivi en temps réel permet d'apprécier les flux de manière qualitative ;
- quantification des flux hydriques dans le sous-bassin versant de la Senne grâce à une étude réalisée pour la Direction générale des voies d'eau non navigables ; détermination des volumes à écrêter en fonction des débits acceptables ; définition du but à atteindre au niveau de l'hydraulique agricole ;
- utilisation des données de la DGARNE (carte des sols, carte d'occupation des sols, carte de risque de ruissellement diffus) pour évaluer, dans les grandes lignes, le potentiel que pourraient représenter de bonnes pratiques culturales afin de réduire le ruissellement diffus d'origine agricole ;
- examen de certaines pratiques culturales particulières.

Pour que les pratiques proposées ne soient pas un simple catalogue de bonnes intentions, la quantification des enjeux est importante. Elle doit se faire autant au niveau de la définition du problème, l'aléa d'inondation, qu'au niveau des solutions proposées, les bonnes pratiques agricoles, car le potentiel de celles-ci doit être à la mesure du problème posé par celui-là.

Dans un domaine proche, les inondations par ruissellement à flanc de pente, le projet ERRUISSOL et ses « spinoffs » offrent des exemples d'une telle démarche.

2. Tubize inondée

2.1. Histoires d'inondations

2.1.1. Bassin de l'Escaut et de la Senne du 11^e au 16^e siècle^{11, 12}

En mars 1445, les grandes eaux empruntent le Calais ou ruisseau de Cognebeau, un affluent de la Senne, pour inonder Soignies. En 1571, suite au dégel, la Senne déborde à Bruxelles. En 1596, un orage cause le débordement de la Senne à Soignies. Les eaux montent à six mètres au-dessus de leur niveau habituel et leur violence est telle qu'elles emportent des maisons, un vivier et une partie de la « chaussée ». Une inscription placée au coin de la rue Scaffart et de la rue d'Enghien rappelle l'événement : « Icy est l'ahauteur du débordement des eaues arrivé le 30 de mai 1596 ». Braine-le-Comte est touchée lors du même événement de pluie, avec sans doute d'importants dégâts aux cultures puisque des diminutions de fermage sont accordées par l'Eglise.

Si on se réfère aux inondations dans l'ensemble du bassin de l'Escaut, dont la Senne fait partie, les archives se font plus précises, surtout quand il s'agit de voies d'eau navigables et de villes d'une certaine importance.

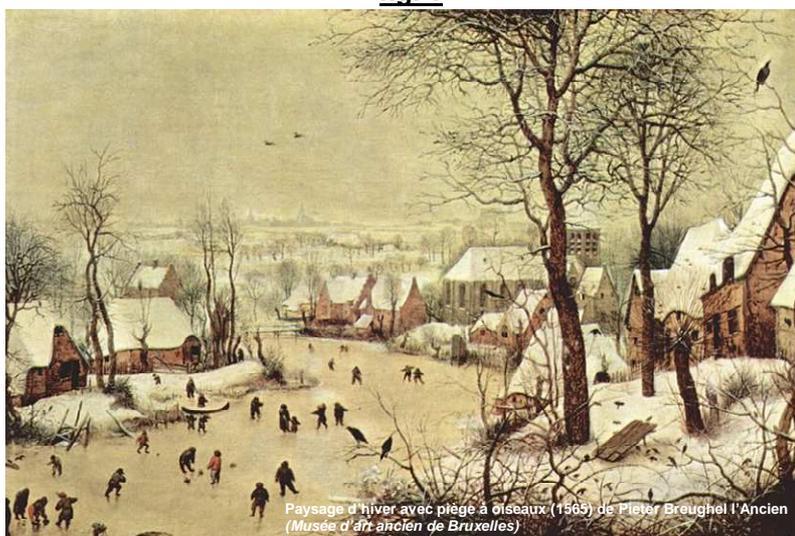
Voici une énumération des inondations de l'Escaut à Tournai : hiver 1147 (fonte des neiges), janvier 1281, septembre 1308, hiver 1310, hiver 1350 (pluies sans gel), avril 1354 (orages), février 1409 (dégel), novembre 1423 (longue période de pluie), décembre 1532 (fonte des neiges). De même pour l'Escaut à Valenciennes en février 1276, janvier 1281, février 1307 (gel) et durant l'hiver 1571-1572 (dégel).

Laissons la parole à un témoin de l'inondation de février 1307 à Valenciennes. « En l'an 1307, le 29^e jour de février, il recommença de geller des dites gellées sy fort et sy très-asprement sur une nuyt ou deux, qu'il fut sy grandes eawes par toute la ville de Valenchiennes que le grand Escault venoit en la tanerye et sur le noef pont, par telle manière que les maisons d'autour flottoient à tous lés ; [...] ; et fut l'eawe en la grande rue Nostre-Dame si très-haute que la rue flotoit en eawe, et pareillement à peu près toutes les aultres rues, ... ».

On notera que les crues et les inondations de l'Escaut surviennent le plus souvent en automne et en hiver (d'octobre à mars), surtout en période de gel ou de dégel. De longues pluies sur des sols saturés ont dû jouer un rôle, comme durant les hivers de 1350 ou de 1423 à Tournai.

On peut situer ces événements dans le contexte climatologique de l'époque. Entre le 12^e et le 19^e siècle, l'hémisphère Nord subit deux périodes de refroidissement, la première de 1150 à 1460 et la seconde de 1560 à 1850. C'est cette dernière qui est connue comme la « petite période glacière » (fig. 1).

fig. 1



¹¹ Dury C. Annales du Cercle Archéologique d'Enghien, T. 21, 1983-5, 183-206.

¹² De Brabanter C., « La Tour d'Hobruge, recherches historiques et folkloriques », Tubize

2.1.2. Senne au 19^e siècle

A partir du 19^e siècle, la chronologie des inondations de la Senne devient plus détaillée. Un document publié à Tubize énumère les inondations de 1839 à 1895 dans la seule province du Brabant. Les localités ne sont pas toujours mentionnées. Le niveau d'alerte semble atteint quand les eaux dépassent la cote de 2,55 m à l'échelle du pont dit « des Vanniers » à Bruxelles.

- 1839 : orage et vent de tempête ; inondations à Borght, Grimberghen et Berthem ;
- 1850, août : inondation à Lembeek ; des champs sont dévastés ;
- 1852, février : des pluies abondantes entraînent l'inondation des vallées de la Dyle, du Demer et de la Senne ; pas de désastre ;
- 1852, avril : débordements de la Senne avec dégâts ;
- 1853, janvier et mars : inondations dans la vallée de la Senne ;
- 1854 : 4 inondations dans la vallée, dont une pour cause de fonte des neiges en janvier ;
- 1856 : inondations de peu d'importance ;
- 1859, décembre : inondations dues à des pluies abondantes et au dégel ;
- 1861, juin : orages violents et débordement de la Senne avec dégâts aux champs ;
- 1873, printemps : trois inondations exceptionnelles avec dégâts causés aux propriétés et à l'agriculture ;
- 1879, janvier : fonte des neiges avec pluies torrentielles ; inondations à Halle ;
- 1879, juillet : inondations de prairies à Tubize, Hal et Cureghem ;
- 1880, décembre : inondations de Quenast à Halle ;
- 1881, février : inondations à Loth et Sint-Pieters-Leeuw ;
- 1885, décembre : crues importantes sans dégâts ;
- 1891, janvier : inondation à Halle ;
- 1894, novembre : des pluies continues provoquent l'inondation de champs, prairies et maisons.

Lorsque les inondations menacent, les administrations veillent à ce que les vannes des moulins soient ouvertes. Cette pratique se maintiendra pour la Senne en amont de Tubize tant que les moulins fonctionneront. En matière de prévention, la Députation Permanente de la province du Brabant ordonne en 1855 d'abattre les aulnes et les taillis des berges entre Vilvoorde et la limite de la province d'Anvers. La majorité des inondations ont lieu en hiver.

2.1.3. Inondation de décembre 1916

Le mois de décembre est extrêmement pluvieux. L'IRM enregistre pour la dernière décade de l'année une hauteur de précipitation de 93,7 mm, ce qui en fait la décade la plus pluvieuse de toutes celles de décembre depuis 1833. Le curage et la régulation de la Senne sont négligés durant la guerre de 14-18. Il existe encore à l'époque une dizaine de moulins entre Steenkerque et Tubize et leur action n'est pas bien coordonnée au moment de la crue. L'inondation de Tubize qui a lieu le 30 décembre est la plus importante jamais enregistrée. Au maximum de la crue, le volume stocké est de l'ordre de 3 millions de m³. Comme aujourd'hui, les habitations touchées se situent à la rue de Bruxelles, à la rue des Poissonniers où l'eau arrive à 10 cm du plafond des habitations, à la Cité Jacquet et au boulevard de la Senne (aujourd'hui, boulevard G. Deryck). On garde le souvenir de deux personnes au moins qui périssent noyées¹³. Trois maisons s'effondrent au boulevard de la Senne¹⁴ (fig. 2).

¹³ Emile Joseph Mandelier, 35 ans, marchand de légumes, périt noyé avec son cheval Rue des Poissonniers. Victor Adolphe Rivière, 46 ans, camionneur à la boulangerie coopérative 'l'Aurore' (Maison du Peuple) périt également noyé avec son cheval, dans la même rue. D'autres, comme Catherine Denayer, la chaisière (73 ans) et son mari Magloire Lagneau, le sonneur (84 ans) restent toute une nuit coincés dans l'eau glacée, sous les décombres de leur maison, et meurent deux et trois ans plus tard, perclus de rhumatismes.

¹⁴ Engelbeen R. in « La Tour d'Hobruge », 'Histoires de chez nous', cahier n° 1, Tubize

fig. 2



D'autres inondations importantes ont lieu en **1938, 1939, 1960** et **1965**.

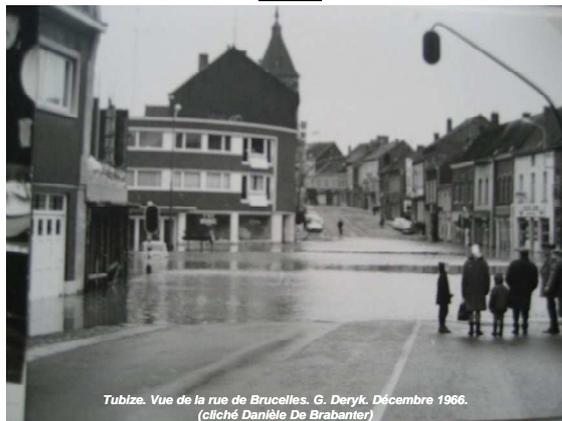
2.1.4. Inondation de décembre 1966

Suite à des pluies persistantes durant la seconde moitié du mois de novembre, la Senne déborde à partir du mardi 6 décembre. La ville est toujours sous eaux le 12 du même mois. On estime à 1,5 millions de m³ le volume d'eau stocké quand le niveau est au maximum. D'après des témoins, les inondations sont aggravées du fait que les vannes du barrage de retenue de la soierie, en aval du centre de Tubize, sont restées fermées durant la nuit (fig. 3 et 4).

fig. 3



fig. 4



SOS Inondations Tubize¹⁵, l'association de défense des riverains, est créée le 23 décembre de cette année à l'initiative de Raoul Bonaventure. Elle commente les événements. « A cette époque, fonctionnaient en amont de Tubize, quelques dizaines de moulins, dont en Brabant les

¹⁵ SOS Inondations Tubize, association pour la lutte contre les inondations dans la région de Tubize, av. de Scandiano 41, 1480 Tubize ; <http://sosinondationstubize.wikeo.be/informations.html>

moulins d'Houx et d'Arenberg sur le territoire de Rebecq, et celui de Ripain à Tubize. Il n'existait aucune synchronisation ni coordination entre tous ces vannages qui se manoeuvraient en toute liberté sans tenir compte des conséquences parfois désastreuses. En outre, la Fabrique de soie artificielle (dite Fabelta) située en aval du centre de Tubize était pourvue d'un barrage comportant quatre vannes dont l'une était fermée en permanence. Il faut savoir que cette usine avait un grand besoin d'eau et que plusieurs pompes étaient installées dans le lit de la rivière dont le niveau était maintenu assez haut pour que les pompes ne se désamorcent pas. Les Tubiziens ont été victimes de nombreuses inondations à cause de cette situation incontrôlée et par des vannes levées en amont lorsque la situation était déjà critique et encore aggravée par une levée tardive des vannes de l'usine. »¹⁶. Les pompes de la soierie servaient entre autres à alimenter le réseau d'incendie de l'entreprise.

Suite aux plaintes des riverains, SOS Inondations, qui devient leur porte-parole, fait appel aux Services techniques provinciaux dont dépend la gestion du cours d'eau à l'époque. Ils entreprennent en 1975 l'élargissement et la rectification du lit dans l'enceinte de la fabrique de soie et remplacent l'ancien barrage par une vanne à segment. En août 1978, la vanne elle-même est supprimée par la Direction générale des cours d'eau non navigables de la Région Wallonne, nouvelle administration responsable des aménagements de la Senne. Entre-temps les divers moulins ont cessé leurs activités. Les vannages des moulins d'Houx et du Ripain sont démontés ; ceux du moulin d'Arenberg à Rebecq sont maintenus pour des raisons touristiques, avec comme condition qu'ils restent ouverts en permanence entre le 15 novembre et le 15 mars de chaque année, conformément à une directive de la Région wallonne.

À partir de 1996, la Région entreprend des travaux d'amélioration sur la Senne et sur deux de ses affluents en amont de la Ville, le Froye (également connu sous les noms de Stincup ou Lobbecq) et le Coeurcq. L'hypothèse de travail retenue était d'éviter des inondations pour des débits qui ne seraient dépassés qu'une fois tous les 20 ans, soit $49 \text{ m}^3/\text{s}$.

La construction de bassins d'orage sur Tubize et en amont est écartée et la Direction générale des cours d'eau non navigables opte pour des travaux permettant un écoulement des eaux à $50 \text{ m}^3/\text{s}$ dans la ville. Le gabarit de la rivière est modifié en ouvrant son lit en amont en talus de 12/4 de section au plafond pour permettre un plus grand stockage d'eau sans débordement. Deux ouvrages amont, le pont d'Ophain (à la rue des Frères Vanbellinghen) et le pont des Angles (dit « Azante »), constituent des obstacles parce que sous dimensionnés. Ils sont remplacés par des ouvrages plus grands. Les confluences du Froye et du Coeurcq sont aménagées à 45° dans l'axe de la Senne et deux by-pass évacuateurs de crue sont creusés en amont de la plaine inondable. Le lit mineur est élargi sous l'ancien bâtiment d'ensachage de la fabrique de soie « Fabelta ».

La situation s'est améliorée depuis la réalisation des travaux, sans cependant écarter tout danger comme l'ont montré les inondations à la fin de l'année 2002. D'après les riverains, il est même possible que la suppression de certains goulets d'étranglement en amont ait pu entraîner une montée plus rapide des eaux en aval.

2.1.5. Inondation de décembre 2002 - janvier 2003

De fortes pluies s'abattent sur la région entre le 26 décembre et le 2 janvier. Le pluviomètre de Soignies enregistre une moyenne de 12mm/j sur 8 jours, avec des pics de 30 mm le 29 décembre et de 24 mm le Jour de l'An. Le niveau d'eau moyen enregistré le 30 décembre au limnigraphe de l'Arsenal des pompiers est de 3,10 m. Le maximum atteint durant la journée a certainement dû dépasser cette valeur (fig. 5).

fig. 5



¹⁶ Document SOS Inondation Tubize

Les hauteurs des précipitations au pluviomètre de Soignies et les débits de la Senne enregistrés à l'Arsenal permettent de suivre l'événement¹⁷ (fig. 6 à 9).

fig. 6

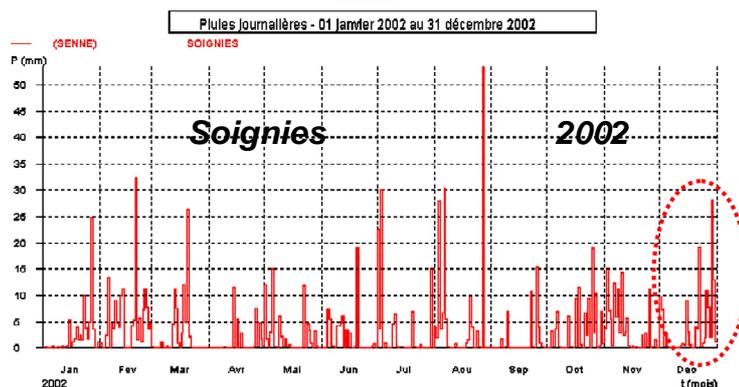


fig. 7

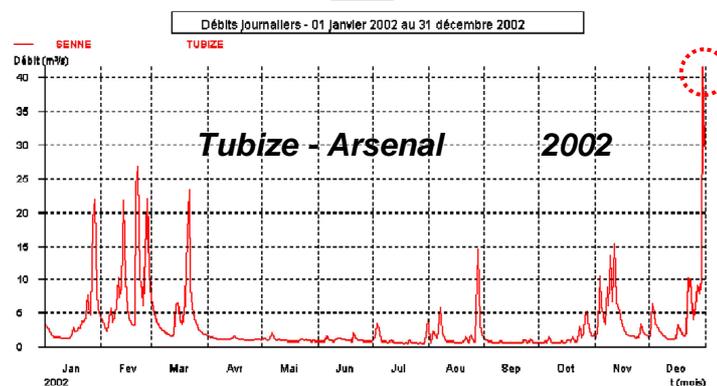


fig. 8

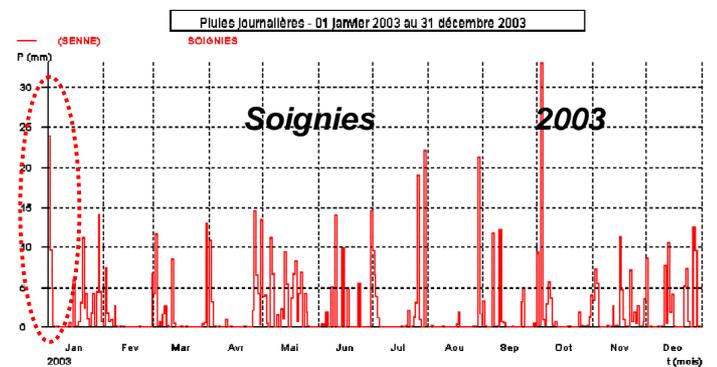
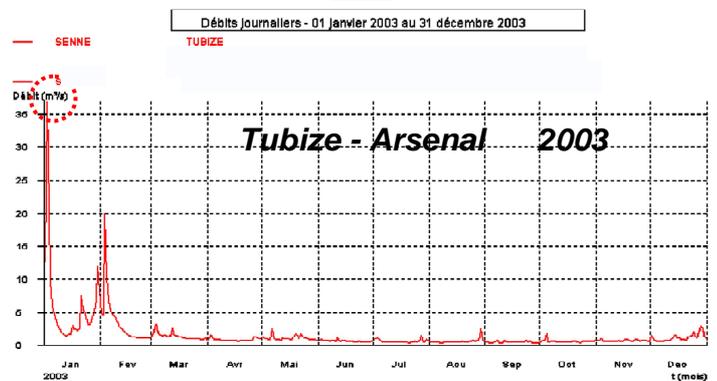


fig. 9



¹⁷ portail Internet de la « Direction générale des Voies hydrauliques » > hydrologie > Données archivées et statistiques : <http://voies-hydrauliques.wallonie.be/>

Un article publié par la *Dernière Heure* sous le titre « La Cité Jacquet désespérée à Tubize. Sauvée par les pompes à haut débit, mais pour combien de temps? » décrit bien le sentiment d'impuissance des riverains.

“ L'inquiétude restait très forte, hier, dans la cité Jacquet à Tubize. Et pour cause, puisque le niveau de la Senne montait encore. Et pratiquement à vue d'oeil, vers 15 h!

Les habitants n'ont pas besoin de remonter très loin dans leurs souvenirs pour savoir les dégâts que peuvent causer les eaux : lundi soir, les pompiers locaux avaient dû amarrer une barque à l'entrée de leur rue, pour évacuer les personnes âgées.

Depuis, la Senne s'était calmée. Au menu du réveillon, c'était nettoyage et nuit blanche pour surveiller, à tour de rôle, l'état de la rivière. Dans la nuit de mercredi à jeudi, les pompiers tubiziens ont à nouveau apporté des sacs de sable. Et hier après midi, c'est grâce à leur autopompe tournant à plein régime pour ramener l'eau directement vers la Senne toute proche que le quartier n'était pas une nouvelle fois sous eau. En attendant l'arrivée d'une pompe à haut débit fournie tout spécialement par la Protection civile.

Le bourgmestre voulait absolument ne plus revoir le triste spectacle de ce quartier inondé. Mais la solution est de toute façon provisoire. `On parvient à empêcher l'eau de monter, on fait ce qu'on peut, constatait un pompier. Mais c'est un système de vases communicants. Alors, il faut comprendre que, pour l'instant, on pompe la Senne!´

Illustration un quart d'heure après, avec l'arrivée de la Protection civile. L'autopompe s'arrête trois minutes, le temps de décider comment installer le matériel, et le chemin d'accès est déjà sous eau.

« Alors qu'on avait tout nettoyé », se désespérait Claude Decort, un des habitants du quartier. « On n'a pas encore eu le temps de voir ce qui était vraiment abîmé et c'est reparti. Les maisons n'ont pas de caves ici. On avait remonté tout à l'étage, il y a trois jours, puis on a redescendu le nécessaire. On ne s'attend à rien de bon. On est vraiment tous à bout. D'après ce qu'on dit, il y a danger jusqu'au 6 janvier. Pas étonnant qu'il y ait des personnes en dépression dans le quartier. Le médecin est venu plusieurs fois en deux jours »¹⁸.

2.1.6. Inondations par débordement dans le bassin de l'Escaut et de la Senne, un phénomène hivernal

Le tableau 1 présente les aléas d'inondation à Tubize et leurs caractéristiques depuis 1916.

¹⁸ V.F., *La Dernière Heure*, 3.1.2003

Tableau 1. Tubize : chronique des inondations depuis le début du 20^e siècle

Date	Description	Q débit max. (1) (m ³ .s ⁻¹)	H hauteur max. (2) (m)	AR : calamité publique (3)
30/12/1916	fortes (94 mm) ; inondations catastrophiques ; bilan lourd : 2 noyés et 3 maisons effondrées.	--	--	
hiver 1938	inondation de la r. de Bruxelles			
nov. 1939	novembre, fortes pluies (160,6 mm en 26 jours) ; inondation de la r. de Bruxelles			
1960	automne	--	--	
1965	hiver	--	--	
06/12/1966	pluies persistantes, 2 ^{ème} moitié de novembre ; inondations catastrophiques.	--	--	
21/07/1980	Pluies d'orage (>40 mm) les 19 et 20 juillet ; crue et inondations.	31,82 (R)	2,97 (R)	
12, 26 & 31/03/1980				
14/01/1981	chutes de neige	31.57 (R)	3,00 (R)	
05/12/1982	pluies			
01/01/1987	Inondation d'une partie de Tubize		1,86 (R)	
21/12/1993	crue aggravée par des travaux au pont de la rue de Bruxelles (échafaudage et branches)	26,9 (R)	2,76 (R)	01/03/1994
30/01/1995	pluies record (89,2 mm, Uccle, dernière décade de janvier) ; fortes inondations par débordement (r. du Moulin, r. Ferrer, r. Ripainoise & bd. G. Deryck)	27,2 (R)	2,73 (R)	
27/12/1999	pluies abondantes entre le 23 et le 25/12 (171,9 mm à Uccle) ; inondations et débordements d'égouts publics.	34.27 (A)	2,77 (A)	13/06/2000
5-6/01/2001	inondation de caves (r. Ferrer, bd. Deryck) et de jardins et caves (r. Ripainoise)	28,00 (A)	2,42 (A)	
30 & 31/07/2002	<i>orages et inondations</i>		<1,10 (A)	20/09/2002 (4)
02-08/08/2002	<i>orages et inondations</i>		<1,10 (A)	20/09/2002 (4)
30/12/2002	pluies abondantes (12 mm/j entre le 26/12 et le 02/01 ; 30 mm le 29/12) ; inondations par débordement	41,53 (A)	3,10 (A)	21/01/2003
02/01/2003	pluies abondantes (12 mm/j entre le 26/12 et le 02/01 ; 23,6 mm le 01/01) ; inondations par débordement.	36,82 (A)	2,94 (A)	21/01/2003

(1) Débit maximum (moyenne journalière) enregistré durant l'évènement : A = débitmètre station du Ripain (1975-98)¹⁹ ; B = débitmètre de la station de l'Arsenal (1998-)

(2) Hauteur d'eau maximale (moyenne journalière) enregistrée durant l'évènement ; A = débitmètre station du Ripain (1975-98) ; B = débitmètre de la station de l'Arsenal (1998-)

(3) Date de première promulgation des arrêtés royaux considérant comme calamité publique les dégâts provoqués par les inondations.

(4) Suite à de fortes pluies, des inondations se sont produites à Tubize les 30 et 31 juillet 2002 ainsi qu'entre le 2 et le 8 août 2002. L'AR du 20/09/2002 reconnaît aux sinistrés l'intervention du Fonds des Calamités. Mais comme les hauteurs d'eau de la Senne enregistrées à l'Arsenal n'ont pas dépassé 1,10 m, ces incidents ne peuvent être retenus comme inondations par débordement.

¹⁹ Le limnigraphe de la station du Ripain était situé sur la Senne près de l'ancien moulin du Ripain, r. du Moulin à Tubize. Les débits mesurés provenaient d'un bassin versant associé de 179 km². Il a fonctionné de 1975 à 1998. Il a été remplacé en 1998 par celui de l'Arsenal des pompiers, à côté du pont des Angles (dit « Azante »), r. Ferrer. Les débits mesurés proviennent d'un bassin versant associé de 215 km².

Comme le montrent les événements, la ville de Tubize est essentiellement soumise à des inondations par débordement de cours d'eau en fond de vallée (encore appelées inondations fluviales ou de plaines). Ce sont, par définition, des débordements du cours d'eau du lit mineur au lit majeur en raison d'une augmentation du débit²⁰.

Dans le cas de Tubize, ce type d'inondation peut être exacerbé par d'autres phénomènes tels que la stagnation des eaux pluviales, la remontée de nappes, le dysfonctionnement des réseaux d'assainissement ou des ruissellements de surface à caractère torrentiel.

Une inondation par stagnation des eaux pluviales a été mise en évidence dans la plaine inondable à côté de l'Arsenal des pompiers. Comme nous l'a rapporté le capitaine Van Esbeen, lors d'une journée « portes ouvertes » des lances à incendie avaient été mises en batterie pour arroser la plaine. L'exercice qui a eu lieu en été a dû être interrompu assez rapidement quand les riverains se sont plaints de la présence d'eau dans leurs caves.

En ce qui concerne l'égouttage, les collecteurs qui aboutissent dans la Senne en face de l'Arsenal sont munis de clapets antiretour. Mais ils n'ont guère d'utilité en cas de forte remontée des eaux de la rivière. À ce moment, avec ou sans clapets, l'écoulement normal des eaux usées finit par s'interrompre. Par mesure de précaution, certains riverains se sont équipés de toilettes sèches.

Les inondations par ruissellements de surface ne feront l'objet de la présente étude que dans la mesure où ils contribuent à accroître le débit des rivières ou leur charge en sédiments et en polluants. Il s'agit souvent de ruissellements de surface issus de pluies violentes, parfois de courte durée. Leur effet est aggravé dans les petits bassins versants à prédominance agricole et à forte pente, avec des sols sensibles à l'érosion et dont la couverture végétale n'est pas suffisante.

Les inondations par débordement de la Senne, ou de l'Escaut, sont des phénomènes essentiellement saisonniers. Sur les dernières 19 inondations recensées à Tubize en 90 ans, 14 ont lieu en hiver, 1 en automne, 1 au printemps et 3 en été. Ces inondations hivernales sont souvent le produit de longues périodes de pluie.

Le gel ou le dégel peuvent constituer des facteurs aggravants. On l'a vu à Valenciennes le 29 février 1307 lorsque le gel s'est installé dans la vallée de l'Escaut. Les eaux du fleuve, progressivement bloquées par un barrage de glace, se sont répandues dans la ville. Il en va de même lors du dégel. Les sols encore gelés en profondeur restent imperméables à la pluie ou à la fonte des neiges. L'eau de pluie a alors tendance à ruisseler en surface et provoque une augmentation rapide des débits. Cela semble avoir été le cas de la Senne dans les années 1854, 1859 et 1879.

Les inondations à Tubize ont lieu de préférence en hiver.

2.2. Aléa d'inondation

2.2.1. Cartographie de l'aléa d'inondation²¹

Le 9 janvier 2003, suite aux dommages causés par plusieurs inondations, notamment celles de la vallée de la Méhaigne en août 2002 ou des bassins de la Meuse et de l'Escaut en janvier 2003, le gouvernement wallon décide le 9 janvier 2003 la mise en oeuvre d'un plan global de prévention et de lutte contre les inondations et leurs effets sur les sinistrés, intitulé « Plan PLUIES ».

Une des actions du Plan est l'élaboration d'une cartographie de l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau permettant l'amélioration des connaissances des risques de crue et d'inondation.

Une décision qui est conforme à l'article D.53 du Code wallon de l'eau :

²⁰ G. Bertrand « La gestion des risques liés aux inondations. Quelle politique en Région wallonne ? » ; TFE, IGEAT/ULB, année académique 2003-4

²¹ G. Bertrand, TFE

Le Gouvernement peut prendre toutes les mesures nécessaires aux fins de lutter efficacement contre les effets des inondations.
Il établit un relevé cartographique des zones soumises à l'aléa inondation.
Le Gouvernement peut, en outre, établir un relevé cartographique :

- de la vulnérabilité à l'inondation des biens situés dans les zones soumises à l'aléa inondation ;
- du risque de dommages dus aux inondations.

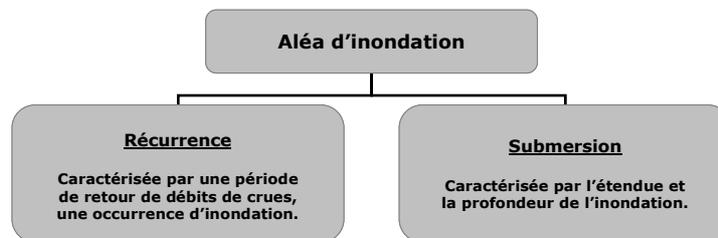
Il peut établir une méthodologie d'élaboration de ces documents.

La cartographie de l'aléa d'inondation du sous-bassin hydrographique de la Senne - pour ce qui est des zones ayant une valeur d'aléa d'inondation élevée (zones rouges de la carte)²² - est adoptée le 13 juillet 2006 par le gouvernement wallon²³.

L'aléa d'inondation dont il est question ici concerne les inondations par débordement de cours d'eau. Il repose sur la combinaison des deux notions : la récurrence et la submersion.

On a retenu trois catégories de récurrences sur base de périodes de retour de débits de crues : la récurrence faible pour les inondations dont la période de retour se situe entre 50 et 100 ans, la récurrence moyenne pour les inondations dont la période de retour se situe entre 25 et 50 ans, et la récurrence élevée pour les inondations dont la période de retour est inférieure à 25 ans.

Une inondation est caractérisée par son étendue et le niveau atteint par l'eau. On a déterminé trois classes de submersion sur base de la profondeur : faible, avec profondeur inférieure à 0,3 mètre, moyenne, de 0,3 à 1,3 mètre, et élevée, supérieure à 1,3 mètre.



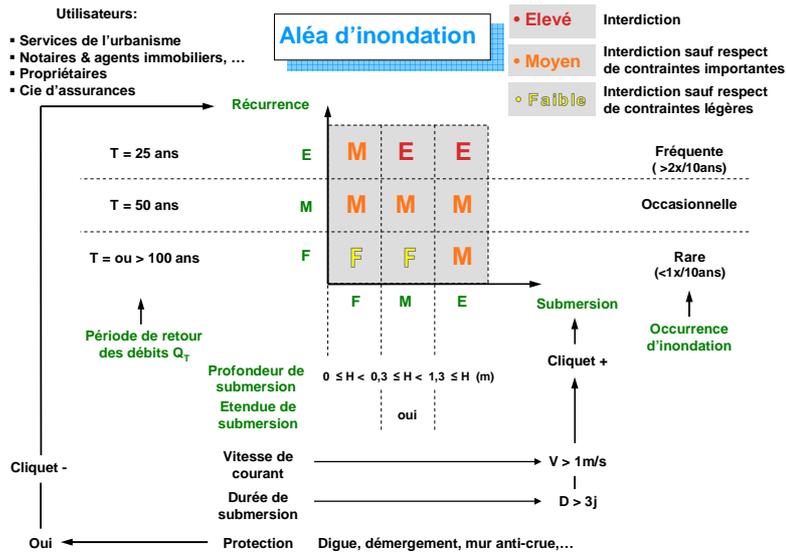
L'aléa inondation (F-M-E c'est-à-dire faible, moyen, élevé) est issu de la combinaison des valeurs de récurrence et de submersion (voir schéma ci-dessous). Ainsi, dans le cas d'inondations fréquentes à forte profondeur de submersion, on obtiendra un aléa élevé et, à l'inverse, dans le cas d'inondations rares à faible profondeur de submersion, l'aléa sera faible. Il est important de noter que des cliquets correctifs peuvent être apportés dans certaines conditions de vitesse de courant et de durée de submersion, ainsi que lors de la présence d'ouvrages de protection²⁴ (fig. 11).

²² au sens de l'article 68-7 de la loi du 25 juin 1992 sur le contrat d'assurance terrestre (MB 20/08/1992) et de l'AR du 28 février 2007 (MB 23/03/2007).

²³ Cependant, en attente de la modification de l'article D53 du Code de l'eau, le gouvernement wallon n'a pas encore – au moment de la rédaction de ce mémoire – procédé à l'adoption réglementaire de la carte des zones inondables et les plans de gestion y associés (CWATUP) dans le cadre de la transposition par la Région de la Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (JO L 288 du 6.11.2007). Sans ces instruments légaux, il serait, selon le Gouvernement, prématuré d'adopter définitivement un règlement régional d'urbanisme applicable aux zones inondables, comportant des restrictions et/ou des interdictions de bâtir (question parlementaire du 12.12.2007 au ministre du Logement, des Transports et du Développement territorial).

²⁴ La cartographie d'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau devra être complétée par une cartographie du risque de dommage (dommage potentiel), basée sur la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité.

fig. 10



2.2.2. Aléa d'inondation à Tubize

La zone rouge de la carte de l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau est celle de l'aléa élevé défini par la Région wallonne (fig. 11). La carte d'occupation des sols (fig. 12) montre qu'une partie de cette zone touche ou empiète sur les zones bâties. Mais la majeure partie est constituée des prairies permanentes de la plaine inondable.

fig. 11. Tubize. Cartographie de l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau (SPW, Portail Cartographique)

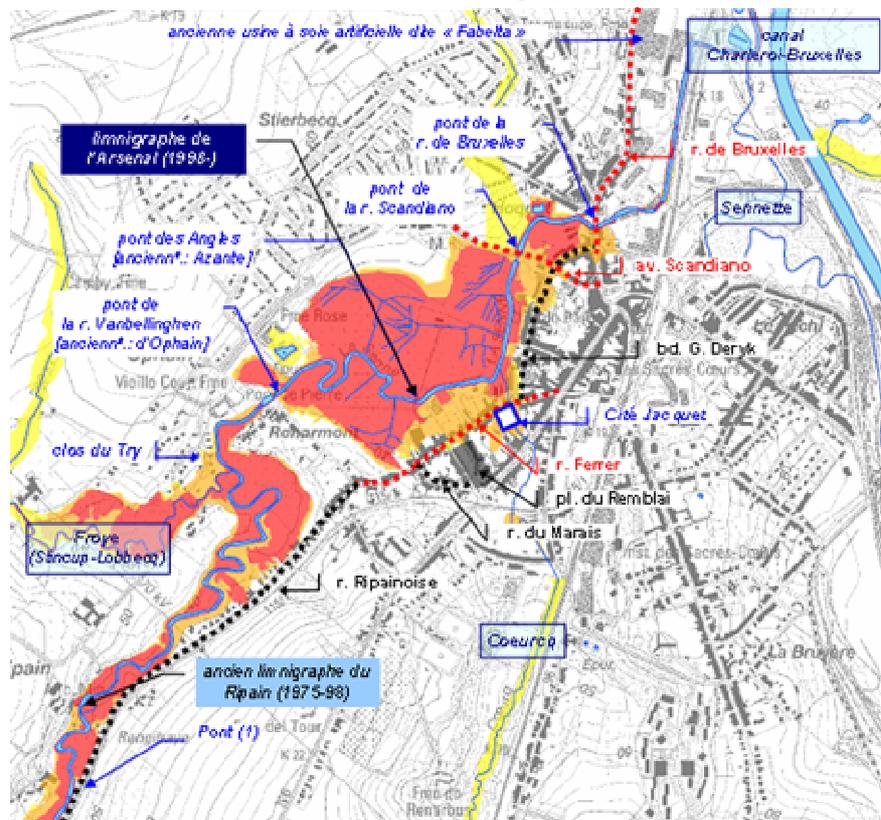
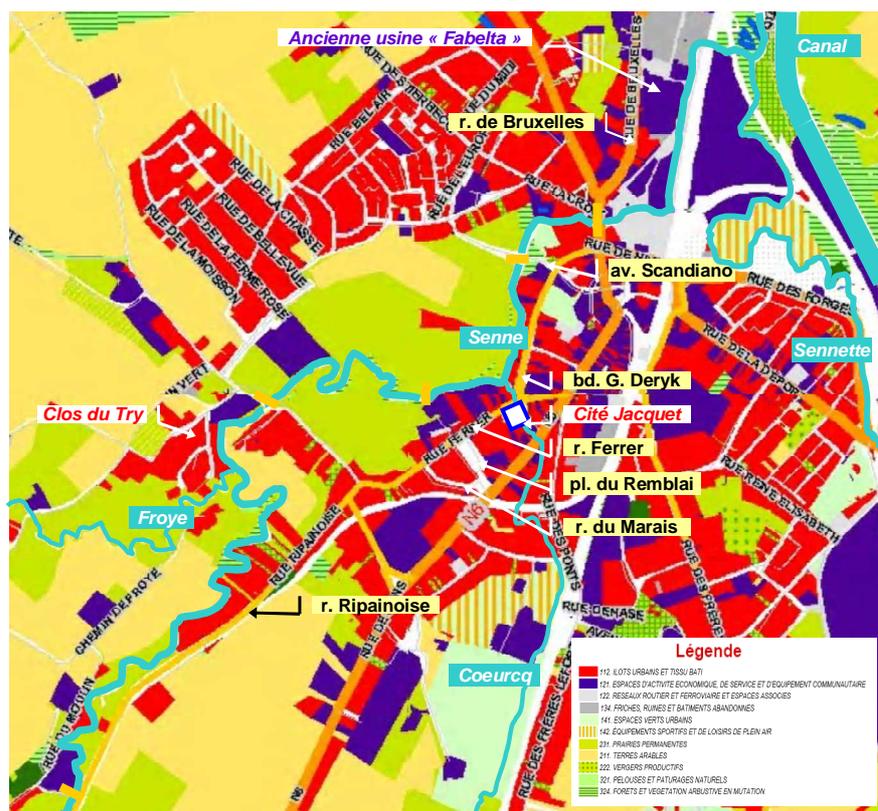


fig. 12. Tubize. Cartographie de l'occupation des sols
(SPW, Portail Cartographique)



2.2.3. Vécu de la population

D'après la cartographie, les habitations et entreprises qui subissent l'aléa d'inondation élevé sont situées aux endroits suivants :

- rue de Bruxelles,
- rue Ripainoise,
- avenue de Scandiano et
- boulevard G. Deryck.

Les prairies régulièrement inondées se trouvent entre l'avenue de Scandiano et la rue Van Bellinghen. En cas de fortes pluies, elles se saturent rapidement et finissent par être couvertes de larges flaques d'eau. Visibles depuis l'Arsenal des pompiers, elles sont, d'après le Capitaine Van Esbeen, un des signes les plus sûrs pour apprécier l'imminence d'une crue (fig. 13). D'autres prairies régulièrement inondées se situent en amont du pont Van Bellinghen en direction de Quenast et le long du Froye en amont de son embouchure avec la Senne.

fig. 13



« SOS Inondations-Tubize » nous confirme que ce sont bien la rue de Bruxelles, la rue Ripainoise, l'avenue de Scandiano et le boulevard Georges Deryk qui sont les plus exposés. Selon elle, il convient d'y ajouter la rue Ferré. Les parties basses de ces rues ont été submergées lors des inondations de 1916, 1938 et 1966. La Cité Jacquet pose également problème, car elle est traversée par le Coeurcq aménagé en pertuis. Le Clos du Try, coincé entre la Senne et le Froye, est régulièrement menacé. Quant aux habitants de la place du Remblai et la rue du Marais, ils ont de l'eau dans la cave quand les précédents en ont au seuil de la porte.

Chez les riverains de ces zones, on ne compte plus les meubles, congélateurs, chaudières, appareils électroménagers ou voitures qui ont été endommagés par l'eau. Sans compter les dégâts aux maisons, les fuites de mazout, les dépôts de boue et le bouchage d'égouts ... Tout ceci les contraint à des aménagements onéreux: chaudières sur pilotis, parois de protection plus ou moins étanches, puisards avec pompes automatiques, assurances, etc.

Les inondations imposent également aux pouvoirs publics un effort financier, car ils se doivent d'assister les sinistrés.

Sur 3.770 interventions effectuées par le corps des pompiers de Tubize en 2008, 800 constituent des interventions de lutte contre les eaux, contre 120 sorties d'incendie et 2.850 sorties d'ambulances²⁵. Les pompiers doivent maintenir opérationnels des moyens de lutte adéquats dont deux barques à fond plat, des pompes vide-cave, des sacs de sable et des équipements personnels comme des cuissardes ou des combinaisons de plongée.

La province du Brabant Wallon maintient un Centre provincial de coordination et de crise chargé de mettre en œuvre les plans provinciaux généraux ou particuliers d'urgence et d'intervention (PGUIP ou PPUIP) comme c'était le cas lors des inondations des 27 et 28 août 2002. La province du Hainaut possède une structure équivalente, le Bureau de sécurité. Les gouverneurs des Provinces peuvent consentir des avances aux sinistrés.

La Région wallonne assiste les communes pour les travaux d'urgence et dans le traitement des dossiers d'indemnisation auprès du Fonds fédéral des calamités.

Ce dernier dépend de l'État fédéral. Il intervient quand un sinistre est reconnu comme calamité publique par Arrêté Royal, après interventions des assurances privées. Depuis le 1 mars 2006, toute nouvelle assurance incendie doit également comprendre la garantie « catastrophes naturelles » qui couvre l'inondation, le tremblement de terre, le débordement ou le refoulement d'égouts publics et le glissement ou affaissement de terrain.

Entre 1994 et 2003, 6 événements d'inondation de la Commune de Tubize ont été reconnus comme calamité publique par Arrêté Royal.

Les inondations se produisent par débordement de rivière - la Senne - en fond de vallée.

²⁵ Interview de G. Van Esbeen, Capitaine du Corps des pompiers de Tubize, 09-02-2009

3. Sous-bassin versant de Tubize ville

3.1. Définitions

Un « sous-bassin » est « toute zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, de fleuves et éventuellement de lacs vers un point particulier d'un cours d'eau (normalement un lac ou un confluent) ».

Cette définition de la Région wallonne est tirée de la Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil.

Idéalement, le sous-bassin peut être considéré comme une surface élémentaire hydrologiquement close. Aucun écoulement n'y pénètre ni n'en sort. Tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section.

Un bassin versant est entièrement caractérisé par son exutoire, dont la localisation géographique fixe la ligne de partage des eaux. Elle correspond généralement à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique²⁶.

Si le sol du bassin est perméable, les chemins d'écoulement des eaux peuvent être influencés par le sous-sol et les caractéristiques des formations géologiques sous-jacentes. Dans ce cas, le bassin versant hydrogéologique peut être différent du bassin versant topographique et des échanges ont lieu entre bassins versants voisins. Toutefois, pour un bassin de taille suffisante et c'est le cas du bassin versant de Tubize ville, nous considérons que les échanges se compensent et sont négligeables²⁷.

Les aménagements créés par l'homme modifient les écoulements. Le cas du canal Charleroi-Bruxelles en est un bon exemple. Le bief entre l'écluse de Goselies et de Viesville traverse la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Meuse et celui de l'Escaut. Il est alimenté à partir de la Sambre par les stations de pompage de Marchienne-au-Pont et de Gosselies. En 2003, 55.10^6 m^3 ($1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en moyenne sur l'année) ont été pompés de la Sambre et donc en partie du barrage de l'Eau d'Heure, vers le canal et le sous-bassin versant de la Senne²⁸.

3.2. Bassin de l'Escaut et sous bassin versant de la Senne

Le sous-bassin versant, ou hydrographique, de la Senne (1.160 km^2) fait partie du bassin hydrographique de l'Escaut (21.863 km^2), et donc du District hydrographique international du même nom (37.170 km^2).

Ce dernier comprend, outre le bassin versant topographique de l'Escaut proprement dit, celui de la Somme, de l'Authie, de la Canche, du Boulonnais, de l'Aa en France, de l'Yser et de la région des Polders de Bruges en Flandre, ainsi que les eaux côtières françaises, belges et néerlandaises associées. Il s'étend donc sur l'Artois et la Picardie en France, la Flandre, la Région de Bruxelles Capitale et le nord de la Wallonie en Belgique, et sur la partie sud du delta de Zélande aux Pays-Bas. Afin d'organiser la coopération des Etats et Régions riverains dans l'esprit d'une gestion durable et intégrale du District hydrographique, les gouvernements concernés ont créé la Commission internationale de l'Escaut²⁹ (fig. 14).

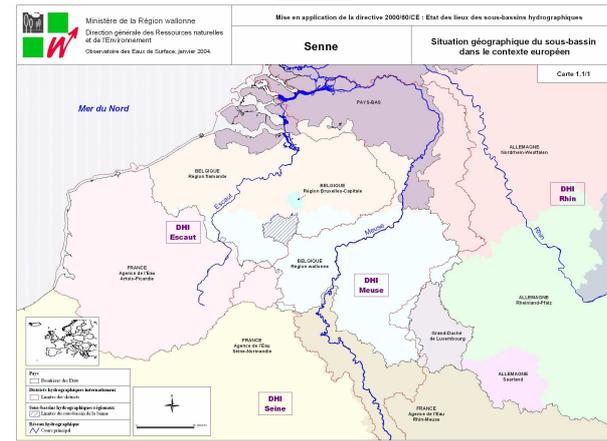
²⁶ A. Musy, 'Hydrologie générale' : <http://echo.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>

²⁷ A. Degré, 'Hydrologie générale', FUSAGx, 2008

²⁸ Étude MET/IMDC, 2004

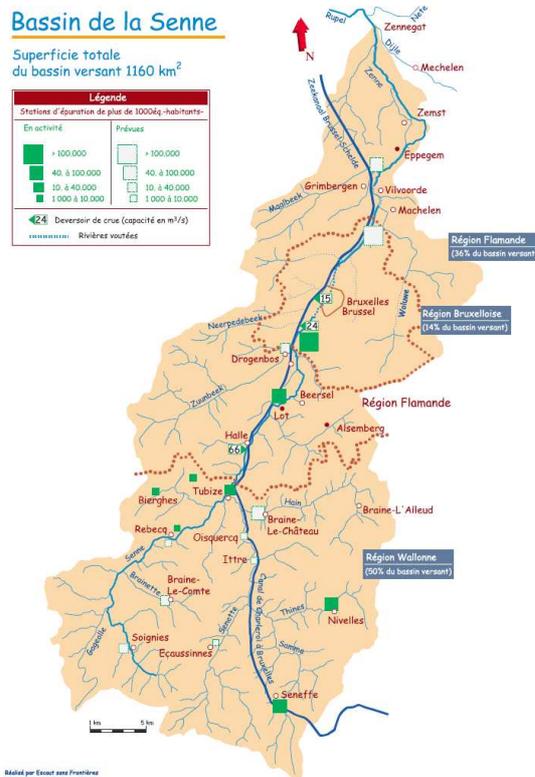
²⁹ Commission internationale de l'Escaut ; <http://www.isc-cie.com/>

fig. 14



Le **sous-bassin de la Senne** s'étend sur les trois régions politico-administratives belges, avec 50% de sa surface (573,88 km²) en Région wallonne, 36% en Région flamande et 14% en Région de Bruxelles-Capitale³⁰ (fig. 15).

fig. 15



La partie wallonne, que nous désignons comme le **sous-bassin hydrographique wallon de la Senne**, est contiguë à quatre autres sous-bassins. Trois font partie du bassin versant de l'Escaut (Dendre, Haine et Dyle-Gette) et un, comme nous l'avons déjà signalé, du bassin versant de la Meuse (Sambre).

L'exutoire du sous-bassin hydrographique wallon de la Senne se situe là où ce cours d'eau franchit la frontière linguistique, au nord de la commune de Tubize. Le sous-bassin a comme caractéristique intéressante que sa ligne de partage des eaux s'inscrit presque entièrement à l'intérieur des frontières du territoire wallon. La Région wallonne contrôle donc plus de 98% de la superficie de son sous-bassin topographique.

³⁰ « Escaut sans frontières » ; 'Le Journal de la Senne', 4, mai 2004, p. 3

En Wallonie, ce sous-bassin s'étend sur deux provinces et couvre le territoire de 23 communes.

Dix-neuf communes font partie du Contrat de rivière. Pour onze d'entre elles - Braine-l'Alleud, Braine-le-Château, Ittre, Nivelles, Rebecq et Tubize dans le Brabant Wallon, et Braine-le-Comte, Ecaussinnes, Manage, Soignies et Seneffe dans le Hainaut – 80 à 100% de la superficie communale appartient au sous-bassin de la Senne. Ensemble ces communes contribuent à raison de 87% à la superficie du sous-bassin³¹ (fig.16).



3.3. Situation du sous-bassin versant de Tubize ville et masses d'eau de surface

Le tableau 2 présente les caractéristiques des principales masses d'eau du sous bassin wallon de la Senne³².

³¹ Les autres communes du CRS sont Chapelle-lez-Herlaimont (HA), Courcelles (HA), Enghien (HA), La Louvière (HA), Morlanwelz (HA), Pont-à-Celles (HA), Silly (HA) et Waterloo (BW) (Source : Contrat de Rivière Senne)

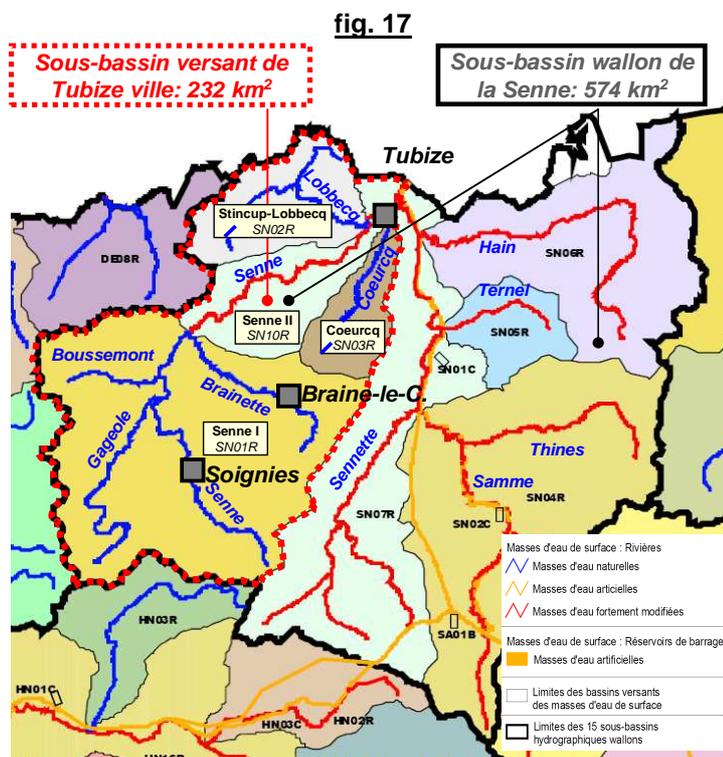
³² Senne, état des lieux du sous-bassin hydrographique – documents (2005) ; Région wallonne, Portail environnemental

Tableau 2. Sous-bassin de la Senne : masses d'eau de surface

Cours d'eau principal	Code RNA	Longueur du linéaire de la masse d'eau (km)	Superficie de la partie wallonne du bassin versant de la masse d'eau (ha)	Superficie du bassin versant de la masse d'eau hors de la Région wallonne (ha)	Masse d'eau transfrontalière	Partenaires internationaux	Caractéristique de la masse d'eau	Pente
Senne I (*)	SN01R	50	14417,6	0	non	non	naturelle (2006)	moyenne
Senne II (*)	SN10R	10	3521,2	0	oui	Belgique, Région flamande, VMM-AMINAL	naturelle (2006)	moyenne
Stincup-Lobbecq (*)	SN02R	16	3494,6	550	oui	Belgique, Région flamande, VMM-AMINAL	naturelle (2006)	moyenne
Coeurcq (*)	SN03R	8	1876,1	0	non	non	naturelle (2006)	moyenne
Ry Ternel	SN05R	7	1932,4	0	non	non	Fortement modifiée	moyenne
Hain	SN06R	23	8239,5	240	oui	Belgique, Région flamande, VMM-AMINAL	naturelle	moyenne
Sennette I	SN08R	47	8549,4	0	non	non	naturelle (2006)	moyenne
Sennette II	SN09R	4	1546,4	0	non	non	naturelle (2006)	moyenne
Thines	SN11R	16	4986,1	0	non	non	naturelle (2006)	moyenne
Samme	SN12R	27	8378,0	0	non	non	fortement modifiée	moyenne
Canal Charleroi-Bruxelles	SN01C						artificielle	
Ancien Canal Charleroi-Bruxelles	SN02C						artificielle	
Bief de partage du canal Charleroi-Bruxelles et du canal du Centre	SA01B						artificielle	

(*) : les bassins associés de la Senne I, Senne II, Stincup-Lobbecq et Coeurcq constituent le bassin versant de la Senne en amont de Tubize ville.

Seule une fraction du sous-bassin wallon de la Senne intervient dans les inondations de Tubize. C'est cette fraction qui fait l'objet du présent mémoire. On le désignera comme étant le **sous-bassin versant de la Senne de Tubize ville**. Il est constitué des bassins versants associés des masses d'eau de surface suivantes : la Senne I et II (SN01R et SN10R), le Stincup-Lobbecq ou le Froye (SN02R) et le Coeurcq (SN03R). Au total, sa superficie fait 233 km², soit 40 % du sous-bassin hydrographique wallon. L'autre partie du sous-bassin hydrographique wallon est constitué du bassin associé de la Sennette et de ses affluents que sont le Hain, la Samme avec la Thines, et le Ry-Ternel. En accord avec l'Unité d'Hydrologie et d'hydraulique agricole de la FUSAGx à Gembloux, nous situons l'exutoire du sous-bassin versant de la Senne à Tubize ville derrière l'ancienne usine « Fabeltea », à 190 mètres en amont du point de confluence avec la Sennette (fig. 17).



Nous représentons ici la cartographie des cours d'eau du sous-bassin amont de Tubize ville par catégorie³³ et regroupés selon les ordres de Strahler (fig. 18 et 19). La Senne à Tubize est un cours d'eau d'ordre 4. Ses affluents d'ordre 3 sont le Stincup-Lobbecq (ou Froye), le Coeurcq, la Gageole, la Brainette et le Boussemont.

³³ En terme d'entretien et d'aménagements hydrauliques, la gestion du réseau hydrographique relève de :

- La **Direction générale opérationnelle mobilité et voies hydrauliques (SPW-DGO2)** pour les **voies d'eau navigables**.
- La **Direction des cours d'eau non navigables au SPW-DGO3 (Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement)** pour les **cours d'eau de 1re catégorie**, c'est-à-dire la partie des cours d'eau non navigables, en aval du point où leur bassin hydrographique atteint au moins 5.000 ha. La DCENN gère également la limnimétrie.
- Les **provinces** pour les **cours d'eau de 2e catégorie**, c'est-à-dire les cours d'eau non navigables ou parties de ceux-ci qui ne sont classés ni en première ni en troisième catégorie.
- Les **communes** pour les **cours d'eau de 3e catégorie**, c'est-à-dire les cours d'eau non navigables ou parties de ceux-ci, en aval de leur origine, tant qu'ils n'ont pas atteint la limite de la commune où est située cette origine). L'entretien est sous le contrôle de la province.
- Les **propriétaires riverains** pour les cours d'eau non classés, c'est-à-dire les rivières et ruisseaux en amont du point où leur bassin hydrographique atteint au moins 100 hectares).

fig. 18

Réseau hydrographique et catégories de cours d'eau

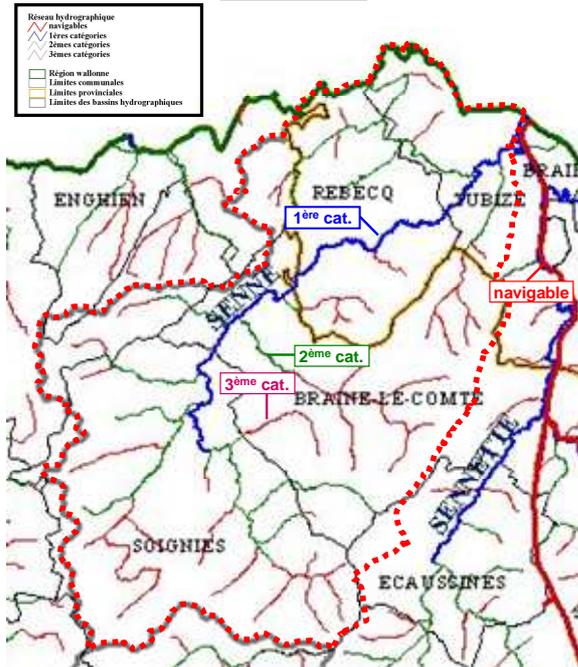
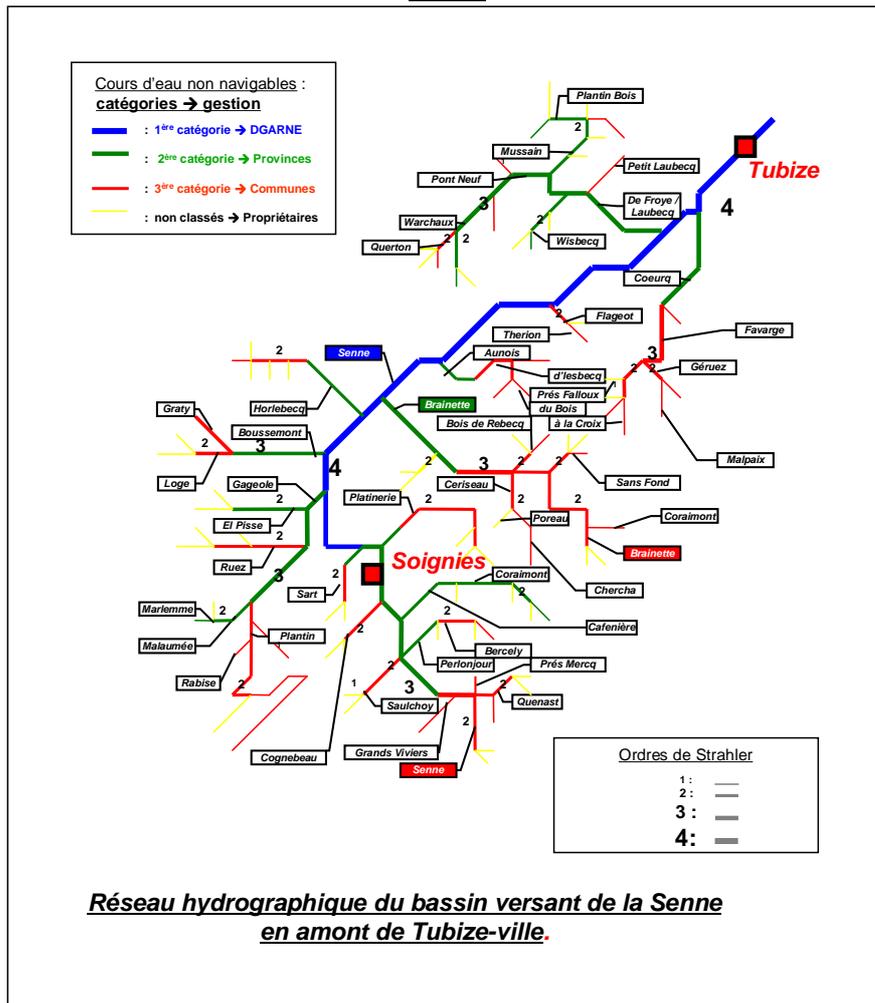


fig. 19



La Sennette rejoint la Senne en aval du centre-ville. Dans le passé, elle compliquait l'évacuation des eaux en cas d'inondation. Mais depuis les années '60, l'influence de la Sennette a diminué. Elle a été amputée de 64 % de son bassin-versant lors de la mise au gabarit de 1.350 T du canal Charleroi-Bruxelles en amont de Clabecq. En effet, entre 1947 et 1968³⁴, deux de ses affluents, la Samme et le Hain, ont été détournés vers le canal. La Samme rejoint actuellement le canal au kilomètre 35,7, au pied du plan incliné de Ronquières et le Hain au kilomètre 46 en aval de l'écluse n° 5 à Ittre. Le Faucquez, un cours d'eau de moindre importance, rejoint le canal au kilomètre 38. Une amputation de 64 % du sous-bassin de la Sennette signifie que les débits de crue de ce cours d'eau sont réduits de 50 %^{35, 36}.

On peut considérer que la valorisation des eaux d'exhaure traitées à Neuville Centre par la SWDE modifie légèrement le sous-bassin versant topographique de Tubize ville. Dans le cadre de l'Objectif 1 du fonds de développement structurel FEDER de l'Union européenne, la Région wallonne projette de porter la capacité de traitement des eaux d'exhaure provenant des carrières du Hainaut et du Clypot à $7,3.10^6 \text{ m}^3$ par an³⁷ 70 % de celles-ci, soit +/- $5,1.10^6 \text{ m}^3$, serviront à approvisionner le réseau d'eau potable et le Zoning pétrochimique de Feluy-Ecaussines, ce qui signifie l'exportation d'une partie de l'eau du bassin versant de Tubize ville. Pour mémoire, le débit annuel moyen calculé pour la Senne à Tubize sur la période 1998 - 2008 est de 71.10^6 m^3 .

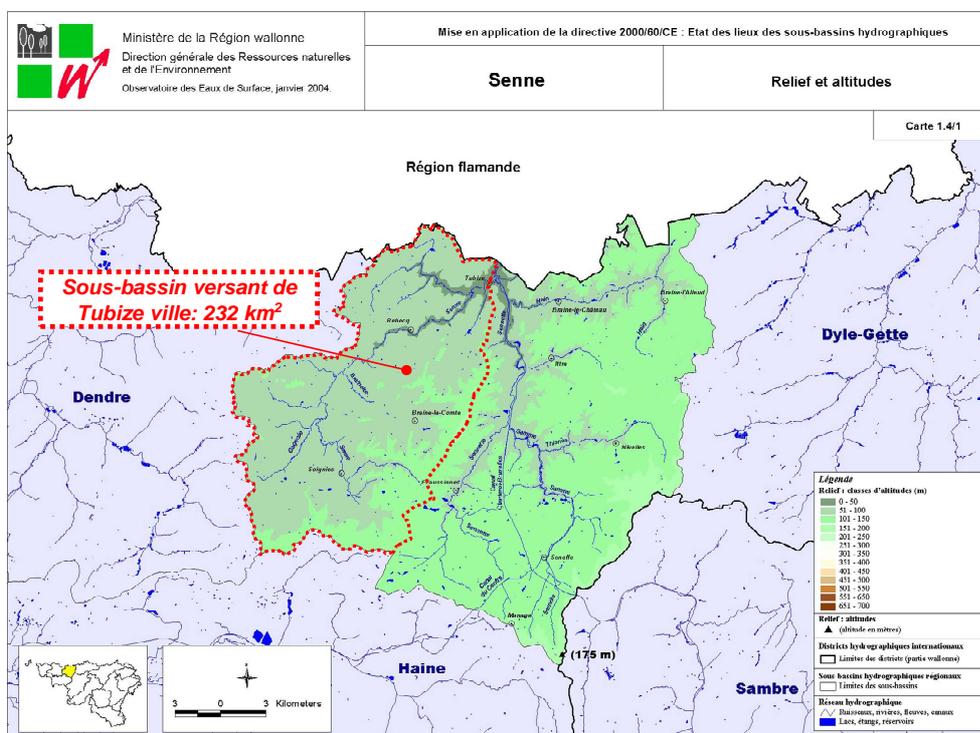
3.4. Caractéristiques physiques

3.4.1 Topographie

Le relief du sous-bassin est compris entre l'altitude 40, à l'exutoire, et l'altitude 162, située au Bois de la Houssière dans la commune de Braine-le-Comte.

La Senne prend sa source dans la commune de Soignies (coord. Lambert X/Y : 132,533/136,722 ; altitude : 120 m) et parcourt 34 km, avec une pente moyenne de 0,23%, jusqu'à l'exutoire (fig. 20).

fig. 20



³⁴ Le plan incliné de Ronquières est construit entre 1963 et 1967

³⁵ S. A. SEPRO ; « Bassins écrêtements de crues sur la Senne en amont de Tubize », études avant-projet, 1re partie (Source : SPW-DGO3, Direction des cours d'eau non navigables, Mons)

³⁶ La dérivation des affluents de la Sennette vers le canal, tout en amputant le bassin versant de celle-ci, ne modifie en rien celui de la Senne puisque, l'entièreté de la masse d'eau du canal Charleroi-Bruxelles est située à l'intérieur du bassin hydrographique interrégional de la Senne.

³⁷ SPW, DGO de la Mobilité et des Voies hydrauliques, Hydrologie, Annuaire statistique

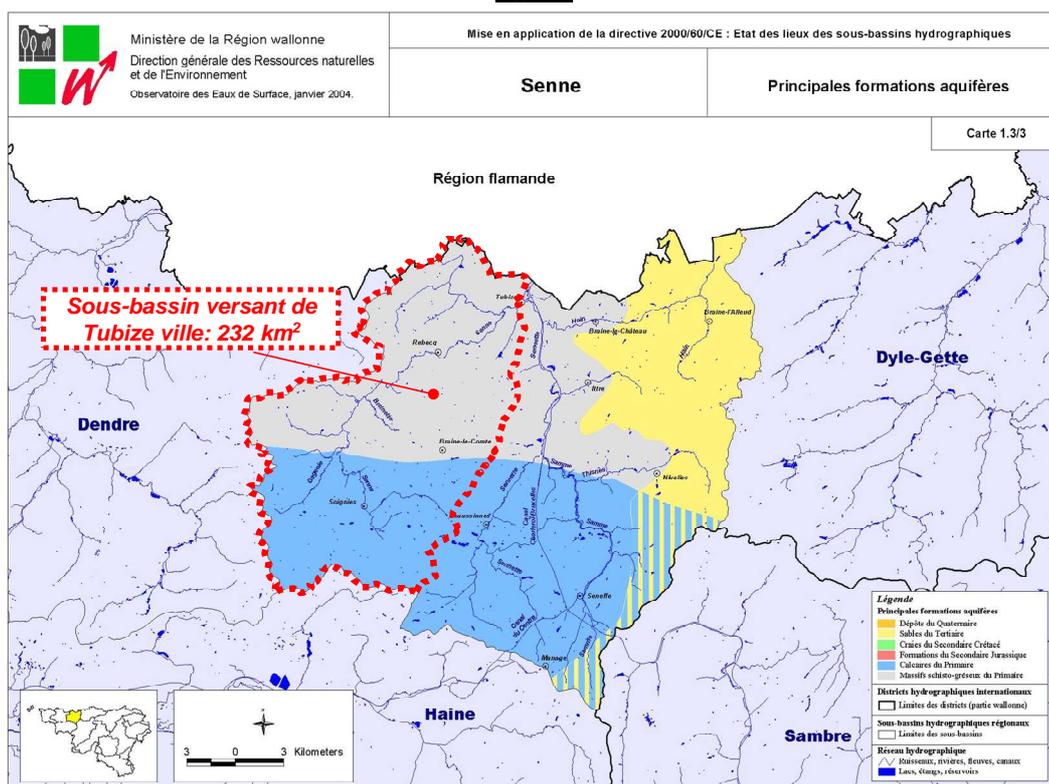
3.4.2 Géologie et hydrogéologie

Les principales formations aquifères du sous-bassin wallon de la Senne sont constituées de

- calcaires du Primaire (221,80 km²)
- massif schisto-gréseux du Primaire (208,27 km²),
- sables du Tertiaire (114,18 km²) et
- un mélange de sables du Tertiaire et de calcaires du Primaire (30,37 km²).

Le bassin versant de Tubize ville couvre deux formations aquifères. Les massifs schisto-gréseux du Primaire (+/- 142 km²) sont couverts par les communes de Tubize, Rebecq et Braine-le-Comte tandis que des calcaires du Primaire³⁸ (+/- 90 km²) sont couverts par les communes de Soignies et de Braine-le-Comte (fig. 21).

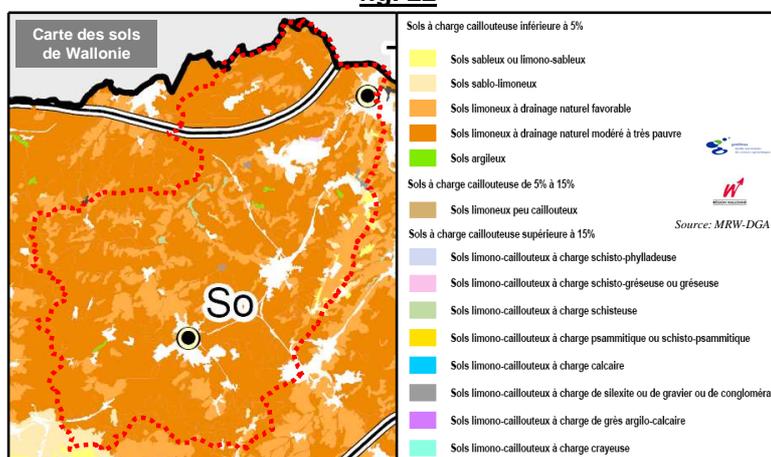
fig. 21



3.4.3 Pédologie

Le sous-bassin de Tubize ville est situé en région agricole limoneuse, avec 85 % des sols à drainage naturel favorable ou modéré. (fig. 22).

fig. 22



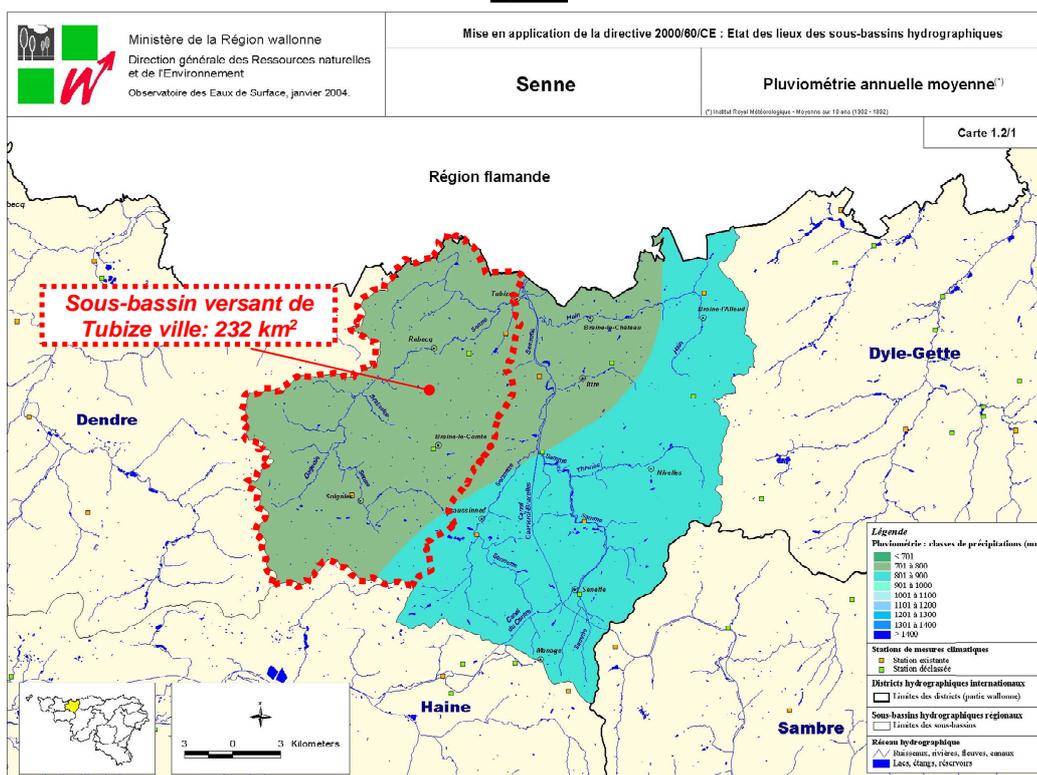
³⁸ La « pierre bleue »

3.4.4 Climatologie

Nous ne disposons pas d'enregistrements de température pour le sous-bassin versant de Tubize ville. Les moyennes à Uccle sont de 3C en janvier et de 17C en juillet.

Les précipitations sont exprimées en hauteur (mm) de lame d'eau précipitée, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'eau précipitée uniformément et la surface arrosée. Elles varient en fonction du relief. Pour le bassin versant wallon de la Senne, les moyennes annuelles sont respectivement de 823 mm sur une période de 30 ans et de 848 mm sur une période de 10 ans. La carte de pluviométrie moyenne annuelle indique, pour la zone délimitée par le bassin versant de Tubize ville, des valeurs comprises entre 701 et 800 mm par an (fig. 23).

fig. 23



Les Graphiques présentent la hauteur d'eau moyenne de chaque mois aux stations météorologiques d'Uccle pour les périodes 1979 à 2008 (fig. 24) et 2002 à 2008 (fig. 25), ainsi qu'à la station de Soignies pour la période 2002 à 2008 (fig. 26). La station de Soignies se trouve dans le sous-bassin versant de Tubize ville et ses mesures peuvent, en première approximation, être considérées comme représentatives des précipitations de l'ensemble du sous-bassin.

fig. 24

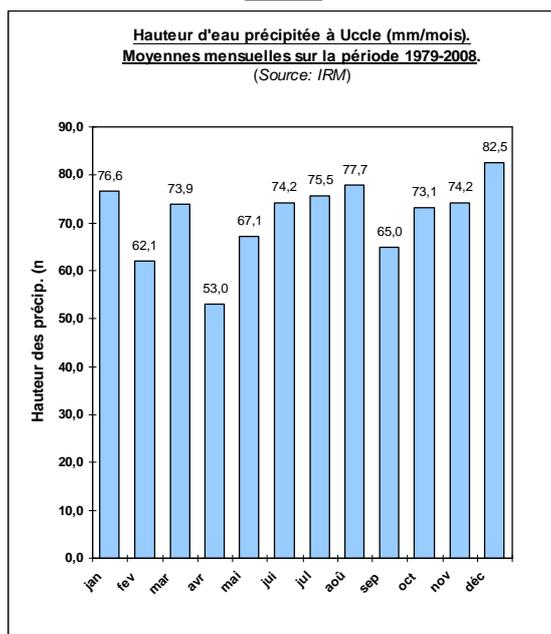


fig. 25

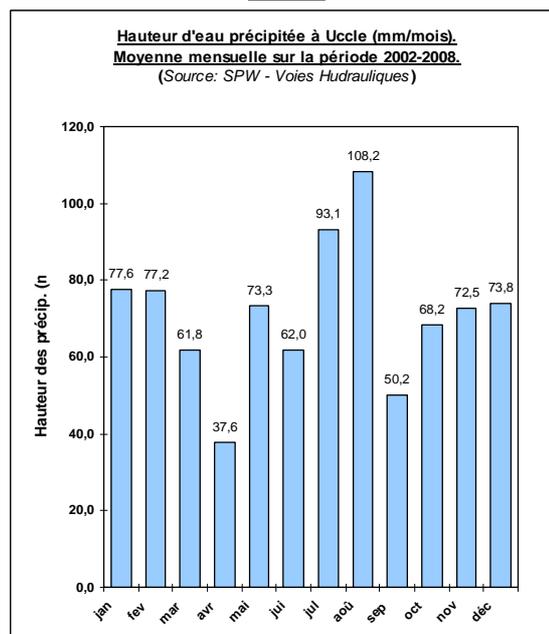
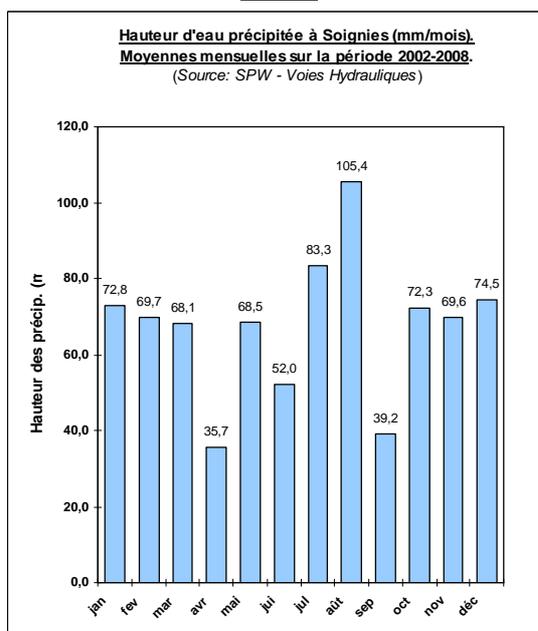


fig. 26



L'évolution à Soignies suit le même profil qu'à Uccle, avec cependant une moyenne annuelle inférieure de 5,3 % pour la période 2002 – 2008. Si les moyennes mensuelles en été sont pratiquement les mêmes qu'en hiver, les fortes précipitations recensées (à Uccle) au cours des mois de juin, juillet et août sont généralement causées par des averses orageuses intenses qui tombent sur une courte période de temps^{39, 40}.

De 60 à 80 % des précipitations annuelles sont restituées à l'atmosphère par évapotranspiration. En été, la quantité ainsi perdue dépasse régulièrement la quantité précipitée, comme le montrent

³⁹ F. Brouyaux et al., 'Vigilance climatique', Ed. : IRM, 2008 ; ISBN 02008/0224/049

⁴⁰ Le changement climatique entraîne-t-il une augmentation des précipitations ? Le cumul pluviométrique annuel a été relevé à Saint-Josse-ten-Noode, puis à Uccle, depuis 1833. L'analyse de la série détecte un saut à la hausse très significatif vers 1910, caractérisé par une augmentation d'environ 7 % des précipitations annuelles. À l'échelle saisonnière, les précipitations hivernales et printanières montrent une augmentation, d'environ 15 %, respectivement très marquée vers 1910 et marquée vers 1965. Par contre, on n'observe pas d'évolution significative pour les quantités de précipitations estivales et automnales. Sur base du nombre des jours de pluie durant l'été (période de juin à août) relevés à Uccle entre 1901 et 2007, au cours desquels la quantité journalière de précipitations a atteint au moins 20 mm, on ne peut pas affirmer de manière indiscutable que les précipitations orageuses abondantes des mois de juin, juillet et août soient plus fréquentes aujourd'hui que par le passé. (IRM, op. cit.)

les mesures d'évapotranspiration potentielle (ETP) réalisées à Ernage, dans le bassin-versant de la Dyle-Gette entre 1971 et 1979 (fig. 27 et 28)^{41, 42}.

fig. 27

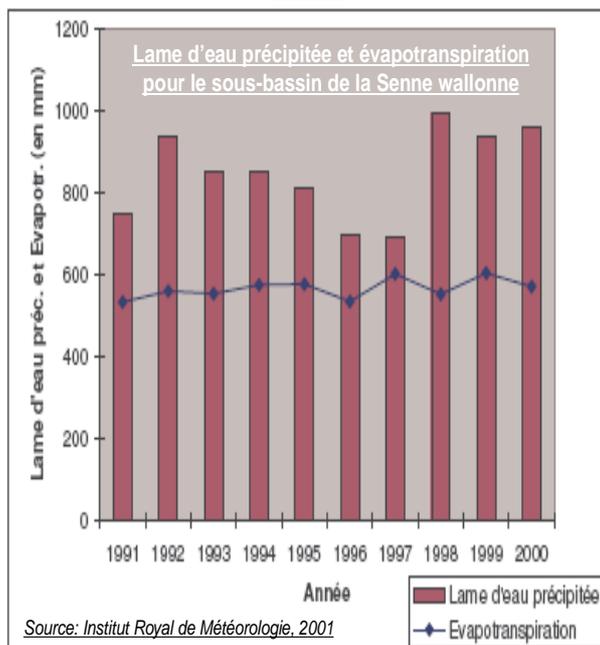
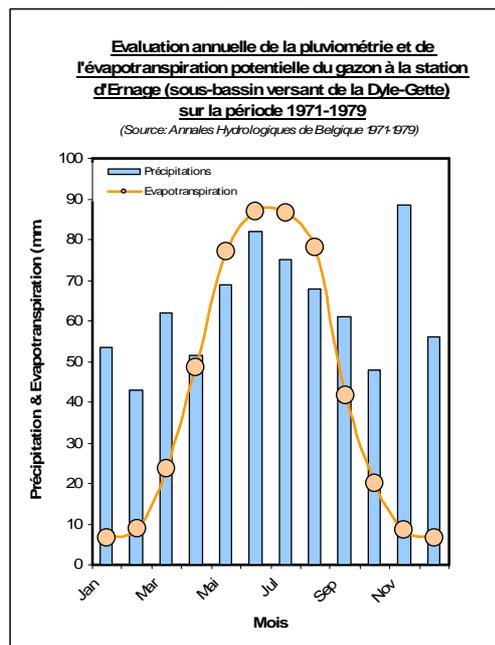
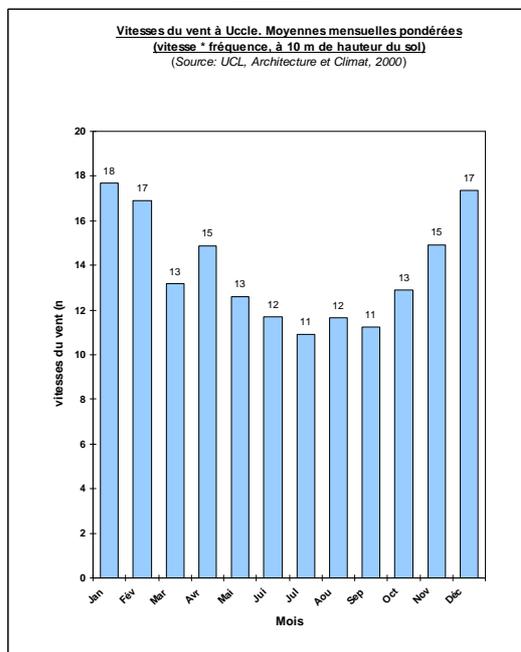


fig. 28



Les vents dominants à Uccle sont orientés au sud-ouest⁴³. Leur vitesse varie en fonction des saisons, avec des maxima en décembre et janvier, et des minima entre juin et septembre (fig. 29). Le vent horizontal moyen, par ses effets de tourbillon croissant verticalement, exerce une influence considérable sur le processus d'évapotranspiration⁴⁴.

fig. 29



⁴¹ Annales Hydrologiques de Belgique, 1971-9

⁴² Evaporation (EP) et évapotranspiration potentielles (ETP) sont des termes de référence de la demande évaporatoire climatique. Elles représentent le taux maximal évaporatoire pour, respectivement, une surface de référence mise en végétation (un gazon maintenu court, d'extension infinie, bien alimenté en eau, en phase active de croissance, couvrant parfaitement le sol) et un plan d'eau de référence (bac normalisé). (A. Degré, Hydrologie générale (FUSAGx))

⁴³ UCL, Architecture et Climat, 2000

⁴⁴ A. Degré, Hydrologie générale (FUSAGx)

3.5. Facteurs anthropiques

3.5.1 Occupation du sol et population

Les tableaux 3.1 à 3.4⁴⁵ présentent les différentes classes d'occupation du sol dans le sous-bassin versant de Tubize ville.

Les terres agricoles couvrent 76,7 % de la surface (fig. 30). Les zones urbanisées et artificialisées en occupent 14,4%. Leurs sols sont fortement plus imperméables que les terres agricoles. Ils possèdent en outre des aménagements à caractère linéaire sous forme de canalisations, égouts, fossés de voiries, etc. qui facilitent le transfert du ruissellement vers les rivières. Leur effet sur les crues est supérieur à l'effet dû à la simple imperméabilisation des sols. Les surfaces boisées, avec une superficie de 4,3 % du sous-bassin - essentiellement le Bois de la Houssière à Braine-le-Comte -, sont réduites à la portion congrue. Elles sont inférieures à la moyenne de 7% de forêts qui subsistent en zone naturelle limoneuse belge.

Tableau 3.1. Sous-bassin versant de la Senne à Tubize ville. Occupation du sol (2007)

1_Territoires artificialisés						
Bassin versant associé à la masse d'eau de surface	Surface des bassins associés	1.1_Terrains résidentiels	1.2_Espace d'activité économique, de service, d'équipement et de communication	1.3_Mines, décharges et espaces abandonnés	1.4_Espaces verts artificialisés, non agricoles	1.5_Autres
Senne I (SN01R)	14417,6 ha	897,7 ha	462,9 ha	473,7 ha	47,2 ha	0,8 ha
Senne II (SN10R)	3521,2 ha	316,5 ha	245,2 ha	100,8 ha	10,7 ha	0,0 ha
Stincup-Lobbecq (SN02R)	3494,6 ha	284,0 ha	142,1 ha	51,7 ha	8,3 ha	0,0 ha
Coeurcq (SN03R)	1876,1 ha	221,1 ha	65,0 ha	3,5 ha	31,9 ha	0,0 ha
Total	23309,5 ha	1719,2 ha	915,2 ha	629,7 ha	98,1 ha	0,8 ha
% Surface de la classe d'occupation du sol dans le sous-bassin	100,0 %	7,4 %	3,9 %	2,7 %	0,4 %	0,0 %
						3363,1 ha
						14,4 %

Source : DGO3-DGARNE (2009)

Tableau 3.2. Sous-bassin versant de la Senne à Tubize ville. Occupation du sol (2007)

2_Territoires agricoles					
Bassin versant associé à la masse d'eau de surface	Surface des bassins associés	2.1_Terres arables	2.2_Cultures permanentes (vignobles et vergers)	2.3_Surfaces herbeuses	2.5_Frises agricoles
Senne I (SN01R)	14417,6 ha	7417,1 ha	55,5 ha	3860,5 ha	39,0 ha
Senne II (SN10R)	3521,2 ha	1617,2 ha	24,2 ha	898,0 ha	12,9 ha
Stincup-Lobbecq (SN02R)	3494,6 ha	2001,2 ha	13,5 ha	665,0 ha	46,3 ha
Coeurcq (SN03R)	1876,1 ha	795,5 ha	13,7 ha	394,2 ha	15,0 ha
Total	23309,5 ha	11831,0 ha	106,8 ha	5817,8 ha	113,2 ha
% Surface de la classe d'occupation du sol dans le sous-bassin	100,0 %	50,8 %	0,5 %	25,0 %	0,5 %
					1218,4 ha
					76,7 %

Source : DGO3-DGARNE (2009)

⁴⁵ SPW-DGARNE, 2009

Tableau 3.3. Sous-bassin versant de la Senne à Tubize ville. Occupation du sol (2007)

3_Forêts et milieux semi-naturels			
Bassin versant associé à la masse d'eau de surface	Surface des bassins associés	3.1_Forêts	3.2_Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
Senne I (SN01R)	14417,6 ha	523,4 ha	69,6 ha
Senne II (SN10R)	3521,2 ha	71,5 ha	36,9 ha
Stincup-Lobbecq (SN02R)	3494,6 ha	73,7 ha	7,3 ha
Coeurcq (SN03R)	1876,1 ha	186,9 ha	36,6 ha
Total	23309,5 ha	855,5 ha	150,5 ha
% Surface de la classe d'occupation du sol dans le sous-bassin	100,0 %	3,7 %	0,6 %
			1006,0 ha
			4,3 %

Source : DGO3-DGARNE (2009)

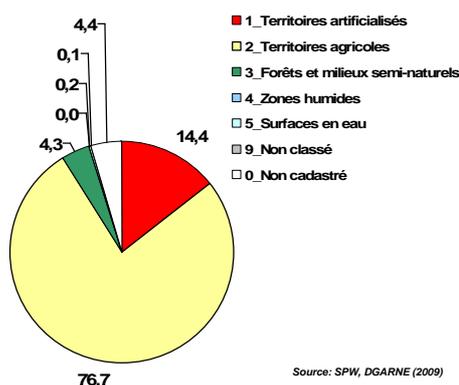
Tableau 3.4. Sous-bassin versant de la Senne à Tubize ville. Occupation du sol (2007)

Bassin versant associé à la masse d'eau de surface	Surface des bassins associés	4_Zones humides		5_Surfaces en eau		9_Non classé	0_Non cadastré
		4.1_Zones humides intérieures		5.1_Eaux continentales			
Senne I (SN01R)	14417,6 ha	2,2 ha		31,8 ha		16,4 ha	528,5 ha
Senne II (SN10R)	3521,2 ha	0,4 ha		4,1 ha		1,6 ha	182,1 ha
Stincup-Lobbecq (SN02R)	3494,6 ha	0,6 ha		5,9 ha		1,0 ha	189,4 ha
Coeurcq (SN03R)	1876,1 ha	0,0 ha		5,2 ha		0,8 ha	107,2 ha
Total	23309,5 ha	3,2 ha		47,1 ha		19,7 ha	1007,2 ha
% Surface de la classe d'occupation du sol dans le sous-bassin	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,2 %	0,1 %	4,4 %

Source : MRW-DGARNE (2009)

fig. 30

Senne. Sous-bassin versant de Tubize-ville
Occupation du sol (%du territoire)



Source: SPW, DGARNE (2009)

Le plan de secteur permet encore actuellement une extension des territoires artificialisés. Il prévoit en effet que la zone urbanisée puisse atteindre 17,8 % dans le sous-bassin, nettement plus que les 12,3% recensés au cadastre de 2005. L'urbanisation pourrait donc, en principe, se poursuivre au détriment de terres actuellement cultivées ou boisées dans le cadre de la loi organique d'aménagement du territoire de 1962 (Tableau 4).

Tableau 4. Plan de secteur et occupation du sol dans le sous-bassin versant de la Senne à Tubize ville. Année 2005

Affectation au plan de secteur (en % de la superficie du sous-bassin-versant) (1)														
Communes	Zone urbanisable						Zone non urbanisable					ZACC (2)	Solde	
	Habitat	Activités industrielles	Activités mixtes	Autres zones urbanisables			Agriculture	Espaces verts	Bois	Nature	Autres zones non urbanisables			
Soignies	36,0	3,5	0,4	0,2	2,1	6,3	27,6	1,2	0,9	0,0	0,0	29,6	0,0	0,0
Braine-le-C.	28,7	2,4	0,1	0,1	0,4	3,0	20,7	1,5	2,0	1,0	0,3	25,5	0,2	0,0
Rebecq	15,9	1,7	2,1	0,0	0,0	3,7	11,6	0,1	0,2	0,0	0,0	11,9	0,2	0,0
Tubize	10,2	2,2	0,9	0,2	0,2	3,5	5,2	0,5	0,4	0,0	0,1	6,3	0,5	0,0
Silly	4,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	3,5	0,1	0,3	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0
Enghien	3,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	2,3	0,2	0,2	0,0	0,0	2,8	0,2	0,0
Ecaussinnes	1,6	0,2	0,2	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0
Sous bassin versant	100,0	10,6	3,6	0,6	3,0	17,8	71,7	3,7	4,2	1,1	0,4	81,0	1,1	0,1

Occupation du sol sur base du cadastre (en % de la superficie du sous-bassin-versant) (1)										
Communes	Zone urbanisée					Zone non urbanisée				Solde
	Habitat	Activités économiques		Autres zones urbanisées		Agriculture	Forêts		Autres zones non urbanisées	
Soignies	36,0	2,4	0,5	0,9	3,8	28,4	1,5	0,9	31,0	1,2
Braine-le-C.	28,7	1,8	0,2	0,4	2,4	22,0	2,4	0,5	25,0	1,3
Rebecq	15,9	1,5	0,8	0,3	2,6	11,7	0,5	0,4	12,6	0,8
Tubize	10,2	1,5	0,5	0,5	2,5	6,3	0,5	0,3	7,1	0,7
Silly	4,2	0,3	0,0	0,0	0,3	3,4	0,3	0,0	3,7	0,2
Enghien	3,4	0,3	0,0	0,1	0,4	2,3	0,5	0,0	2,7	0,3
Ecaussinnes	1,6	0,1	0,1	0,1	0,3	1,1	0,0	0,1	1,2	0,1
Sous bassin versant	100,0	7,9	2,1	2,3	12,3	75,2	5,7	2,2	83,1	4,6

(1) Source : MRW-DGARNE : Fiches environnementales, 2007, éd. 2008

(2) Les ZACC (ou 'zones d'aménagement communal concerté' peuvent faire l'objet de n'importe quelle affectation du plan de secteur, à l'exclusion de la zone d'extraction et de la zone d'activité économique industrielle. Ce qui signifie qu'une ZACC peut être urbanisée en vue d'y créer de l'habitat, des équipements communautaires, des loisirs ou des activités économiques mixtes, mais qu'elle peut également – en tout ou en partie – être destinée à une affectation rurale : zone agricole, forestière, d'espace vert, de parc, zone naturelle. La condition préalable nécessaire à la mise en œuvre d'une ZACC est l'adoption par le Conseil communal d'un Rapport Urbanistique et Environnemental (R.U.E.). Celui-ci porte sur une partie ou sur l'ensemble de la zone et définit notamment les affectations souhaitées et les principes d'urbanisation. (Centre d'Etudes en Aménagement du territoire – UCL – www.urba.ucl.ac.be/creat)

Le bassin compte près de 68.300 habitants, soit une densité de 299 habitants au km² (Tableau 5). Elle est inférieure à celles de l'ensemble des provinces du Brabant Wallon ou du Hainaut, respectivement de 340 et 342 hab/km². La population continue de croître à un rythme de 1 % par an, un phénomène qui signale l'assimilation progressive des communes du sous-bassin dans l'aire urbaine fonctionnelle (UFA ou « urban fonctionnal area »)⁴⁶ de Bruxelles. En effet, la proximité de la capitale et de son gisement d'emplois tertiaires, des logements moins chers à fur et à mesure qu'on s'éloigne de la capitale, des équipements scolaires et hospitaliers de qualité ainsi que des infrastructures de transport autoroutier et ferroviaire sont des éléments qui incitent les ménages, souvent jeunes, à s'établir dans les communes de la périphérie lointaine de Bruxelles, et donc dans le bassin-versant de Tubize. Progressivement, les nouveaux arrivants modifient la composition sociale d'une région qui, jusque dans les années 80, offrait encore de nombreux emplois dans les industries traditionnelles (sidérurgie, chimie, verre, constructions métalliques, papier) le long de l'axe du canal Charleroi-Bruxelles et dans les industries extractives. De nouvelles pressions anthropiques sur l'environnement se font jour, notamment par l'extension de zones artificialisées sous forme d'habitat individuel pavillonnaire le long des axes de communication.

⁴⁶ La UFA ou aire urbaine fonctionnelle est définie comme l'ensemble des unités administratives de base envoyant vers ce pôle d'emploi urbain plus de 10 ou 15 % de leurs actifs occupés et plus que vers tout autre pôle d'emploi. (in Ch. Vandermotten, 'Éléments de comparaison entre les villes participantes au colloque Actiris', mars 2009)

Tableau 5. Population par commune dans le sous-bassin versant de Tubize ville

Provinces	Communes	Superficies totales des communes (ha) (1)	[1] : Populations communales en 2006 (2)	Croissance de la population de 2000 à 2006 (%) (2)	[2] : Pour chaque commune, % du territoire communal couvert par le sous-bassin versant de Tubize ville (%) (1)	Contribution par commune à la population du sous-bassin versant de Tubize ville = $\frac{([1]*[2])}{100}$ (3)
Brabant W.	Rebecq	3.908	10.255	+ 4,3	100,0	10.260
	Tubize	3.266	22.713	+ 6,5	77,1	17.510
	Total des communes du Brabant W.	7.174	32.968	+ 6,0		27.770
Hainaut	Soignies	11.030	25.700	+ 3,9	80,2	20.610
	Braine-le-C.	8.468	20.543	+ 6,2	83,5	17.150
	Ecaussinnes	3.477	10.042	+ 3,8	11,1	1.110
	Silly	6.768	8.072	+ 6,5	15,3	1.240
	Enghien	4.059	12.294	+ 11,9	3,4	420
	Total des communes du Hainaut	33.802	76.651	6,1		40.530
	Total sous-bassin		109.619			68.300

(1) Mesuré d'après la cartographie du bassin versant de Tubize ville et des communes

(2) source : MRW-DGARNE : Fiches environnementales, 2007, éd. 2008

(3) calculé au prorata de la superficie communale couverte par le sous-bassin versant de Tubize ville

3.5.2 Surface agricole⁴⁷

D'après les fiches environnementales des différentes communes, la surface agricole couvre 75,3 % de la superficie du sous-bassin⁴⁸. Au total, les surfaces agricoles de Soignies, Braine-le-Comte, Tubize et Rebecq constituent 69 % du sous-bassin (Tableau 6). En 15 ans, de 1990 à 2005, cette surface a légèrement diminué, de 3 à 8 % selon les communes.

⁴⁷ Il s'agit de la **surface agricole cadastrée**.

En Région wallonne, deux sources de données permettent d'évaluer l'occupation du sol par l'agriculture (entendue ici au sens large) : le cadastre et le recensement agricole. Pour le cadastre, on additionne les rubriques «terres (cultivées)», «pâtures et prés» et «vergers»³, ce qui représentait en 2002 un total de 886.500 ha, soit un peu plus de la moitié du territoire wallon. Le recensement agricole, quant à lui, est basé sur les déclarations annuelles des agriculteurs dont le siège d'exploitation est situé en Wallonie. Il vise à fournir un tableau complet de l'agriculture en tant que secteur économique : main-d'oeuvre, superficies, cultures, animaux...

La SAU ou surface agricole utile est définie comme l'ensemble des parcelles utilisées par les agriculteurs à des fins de production agricole. Elle inclut toutes les superficies cultivées, y compris les vergers, les cultures permanentes, les prairies, les jachères, les pépinières, les cultures sous serres ainsi que les potagers. Elle ne comprend pas les superficies non agricoles (bâtiments, cours, chemins, jardins d'agrément ...) ni les superficies boisées. (RW, 'Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-7'). La superficie agricole utile (SAU) déclarée était de 756.500 ha en 2002.

La superficie cadastrée comme agricole est donc nettement plus importante que la SAU déclarée par les agriculteurs. La différence était de 160.000 ha environ en 1986 et de 130.000 ha seize ans plus tard. Cette différence est due principalement aux terres considérées comme agricoles par le cadastre mais utilisées par des agriculteurs non wallons ou par des non agriculteurs (ex. prairies pour chevaux appartenant à des personnes privées) ; ces terres ne sont dès lors pas reprises dans le recensement agricole. Elle est due aussi aux terres agricoles non déclarées pour des raisons fiscales ou encore boisées. (MRW, Conférence permanente du développement territorial, 'Occupation du sol en Wallonie, Plaquette n°5, p. 18).

⁴⁸ La valeur de 75,3 %, différente de celle de 76,7 % fournie par la DGARNE (fichiers des bassins associés des masses d'eau, 2007) est due à des imprécisions de mesure lors de l'évaluation de la surface de chaque commune dans le sous-bassin. La différence est de l'ordre de l'erreur de mesure.

Tableau 6. SAU par commune dans le sous-bassin versant de Tubize ville

Provinces	Communes	Superficies totales des communes (ha) (1)	[3] : % du sous-bassin-versant de Tubize ville couvert par le territoire communal (%) (2)	SAU de chaque commune en 2005 (ha) (1) (3)	[4] : % de SAU dans chaque commune en 2005 (%)	Evolution de la SAU de 1990 à 2005 (%) (1)	% du sous-bassin versant de Tubize ville couvert par la SAU de chaque commune en 2005 = ([3]*[4])/100 (%)
Brabant W.	Rebecq	3.908	15,9	2.875	73,6	- 3,7	11,7
	Tubize	3.266	10,2	2.006	61,4	- 8,0	6,3
	Total des communes du Brabant W.	7.174	26,1	4.881	68,0		18,0
Hainaut	Soignies	11.030	36,0	8.737	79,2	- 3,7	28,5
	Braine-le-C.	8.468	28,7	6.489	76,6	- 2,12	22,0
	Ecaussinnes	3.477	1,6	2.455	70,6	- 4,3	1,1
	Silly	6.768	4,2	5.483	81,0	- 2,9	3,4
	Enghien	4.059	3,4	2.794	68,8	- 5,3	2,3
	Total des communes du Hainaut	33.802	73,9	25.959	76,8		57,30
	Total sous-bassin		100				75,3

(1) source : MRW-DGARNE : Fiches environnementales, 2007, éd. 2008

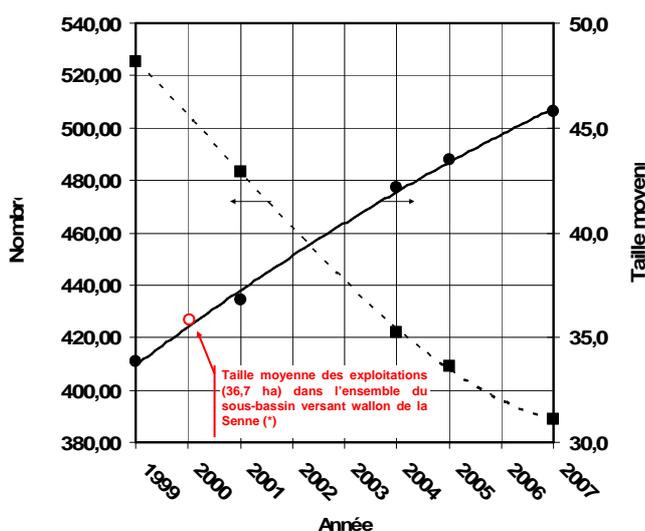
(2) Mesuré d'après la cartographie du bassin versant de Tubize ville et des communes

(3) calculé d'après l'occupation du sol de la commune sur base du cadastre de 2005 (% de terres agricoles dans les zones non urbanisées)

Entre 1999 et 2007, le nombre d'exploitations agricoles a diminué de 525 à 389, soit une perte de 17 exploitations par an. Dans le même temps, la superficie moyenne a augmenté de 34 à 46 ha (fig. 31), soit une croissance de 35 %. La croissance moyenne pour l'ensemble des exploitations wallonnes est 46%⁴⁹. En 2005, la taille moyenne d'une exploitation wallonne était 44,16 ha⁵⁰.

fig. 31

Nombre et taille moyenne (ha) des exploitations agricoles dans le sous-bassin versant de la Senne à Tubize-ville



Sources: SPW-DGARNE, fiches environnementales, 2007 (éd. 2008) & (*) Région Wallonne, 'Directive-cadre sur l'eau'.

⁴⁹ SPW, Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007

⁵⁰ INS

L'augmentation de la taille des exploitations facilite le regroupement des parcelles, aidé en cela par la loi du 22 juillet 1970 sur le remembrement des biens ruraux. Il s'ensuit une exploitation plus efficace puisque de plus grandes parcelles d'un seul tenant diminuent les déplacements. Cependant, les opérations de remembrement peuvent entraîner la suppression d'éléments structurants (haies, mares) et influencer le ruissellement des eaux.

3.6. Conclusion

Bien que le sous-bassin versant de la Senne couvre les trois régions du pays, sa partie wallonne constitue un sous-bassin complet qui s'inscrit entièrement dans la Région. Son exutoire se trouve là où la Senne franchit la frontière linguistique. C'est un avantage pour la Wallonie qui lui permet, en théorie du moins, une meilleure maîtrise de sa politique de l'eau. La Senne en amont de Tubize est entièrement une affaire wallonne !

Le sous-bassin versant de Tubize ville, celui qui est directement responsable des inondations, ne s'étend que sur une fraction de 40 % de la surface du sous-bassin wallon de la Senne. La Sennette, qui rejoint la Senne en aval de la ville, drainait dans le temps près de 60 % du sous-bassin wallon et pouvait encore jouer un rôle important dans les inondations. Ce n'est plus le cas aujourd'hui puisque deux de ses affluents les plus importants, le Hain et la Samme, ont été détournés vers le canal Charleroi-Bruxelles.

Les précipitations sont celles d'un climat maritime tempéré où le régime des pluies varie peu selon les saisons. En été, des températures plus élevées et l'activité du couvert végétal abaissent la teneur en eau des sols par évapotranspiration. Le sous-sol est constitué de formations aquifères qui alimentent les cours d'eau et soutiennent le débit d'étiage. Un relief peu accentué et des sols limoneux fertiles en font une région fortement tournée vers l'agriculture. L'intégration progressive du sous-bassin dans l'aire urbaine fonctionnelle de Bruxelles entraîne une légère extension des zones artificialisées au détriment des terres agricoles.

Avec un taux d'occupation de près de 76 % de la surface du sous-bassin versant de Tubize-ville, les terres agricoles jouent nécessairement un rôle important par leur capacité d'infiltration de l'eau.

Le sous-bassin versant en amont de Tubize est couvert à 76 % de terres agricoles.

4. Réponse hydrologique dans le sous-bassin versant de la Senne

4.1. Événement de crue de la Senne à Tubize, du 22 au 26 janvier 2009

Pour avoir une appréciation de la réponse hydrologique du sous-bassin de Tubize ville, il est intéressant de chausser ses bottes et d'accompagner un événement de crue. En même temps le portail Internet de la Direction générale des voies hydrauliques donne accès aux mesures limnimétriques en temps réel. L'occasion s'est présentée le 22 janvier 2009 dans l'après-midi, alors qu'une longue pluie n'en finissait plus d'arroser la région.

Et ce qu'on découvre d'abord, avec étonnement, c'est ce que signifient quelques millimètres de pluie ! Ces millimètres représentent des centaines de milliers de mètres cubes d'eau à l'exutoire ou des mètres et des centimètres pour les victimes d'inondations.

« Il n'a manqué que quelques centimètres pour que l'eau, qui avait déjà envahi le jardin, ne remonte dans ma cave » nous a confié un habitant de l'avenue de Scandiano. Être à l'écoute des habitants, c'est donner un sens aux chiffres. C'est également un premier pas dans une démarche de développement durable à l'échelle du sous-bassin versant.

4.1.1. Stations de mesure

Les données pluviométriques proviennent de la station de Soignies et les données limnimétriques de Tubize Arsenal. Elles sont fournies en temps réel, par pas de six heures, sur le portail Internet de la DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques.

La Région wallonne est couverte par deux réseaux télémétriques. Le premier est opéré par la DGO2 via le programme WACONDAH⁵¹. Il concerne la gestion des voies navigables. Le second dépend de la DGO3 DGARNE-Direction des voies non navigables. Il est géré à l'aide du programme AQUALIM⁵². Ce réseau permet la surveillance des cours d'eau non navigables de 1^{re} catégorie. Les deux réseaux sont interconnectés.

4.1.1.1. Pluviographes

Quatre pluviographes sont localisés dans ou près du sous-bassin versant de la Senne en amont de Tubize ville. (Tableau 7)

Tableau 7. Pluviographes (DGO2) du sous-bassin versant de Tubize ville.

Localité	Coordonnées Lambert belges		Référence du zéro (DNG)	Période de fonctionn ^t .	Opérationnel en janvier 2009
	X	Y			
Soignies	130,360	142,156	104,50 m	1999-	oui
Wauthier-Braine	145,189	152,549	55,00 m	2001-	non
Enghien	124,958	153,851	39,80 m	1996-	oui
Seneffe	144,000	133,202	157,20 m	?	oui

Source : DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques, portail Internet

La station météorologique de Soignies est la seule qui est située à l'intérieur des limites du sous-bassin amont de Tubize-ville. Les stations d'Enghien, de Seneffe et de Wautier-Braine sont localisées hors du périmètre de la ligne de crête. La station de Wautier-Braine ne fournissait pas de données en janvier 2009. En l'absence d'instruments cartographiques nécessaires à une détermination des moyennes pondérées superficielles par la méthode des polygones de

⁵¹ Le système WACONDAH (Water CONtrol DATA for Hydrology and Water management) a été créé pour la gestion de plus de 200 instruments de mesure (limnigraphes, pluviographes, débitmètres acoustiques) de la DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques, compétente pour les voies navigables. Il permet une surveillance en temps réel des niveaux d'eau et des débits des principales rivières de la Région Wallonne. Concernant les crues, il intègre différentes informations de la météorologie nationale et française, de son réseau de télémessure et de celui de la DGARNE, du personnel des ouvrages etc ... En cas d'urgence, il permet au SETHY de diffuser les alertes et d'informer le Centre Gouvernemental de Coordination et de Crise (CGCCR) du Ministère de l'Intérieur, les Gouverneurs de Province et les services gestionnaires. Une permanence opérationnelle est maintenue à la disposition des services de secours et des autorités.

⁵² Le programme AQUALIM a été créé pour la gestion du réseau de limnimètres de la DGO3-DGARNE, Direction des voies non navigables, compétente pour les cours d'eau de catégorie 1. Un des objectifs du réseau est la surveillance des crues et des étiages.

Thiessen, les mesures faites à Soignies ont été considérées, en première approximation, comme représentatives des précipitations sur l'ensemble du sous-bassin.

4.1.1.2. Limnimgraphes

Le sous-bassin de Tubize ville compte 4 limnimgraphes sur la Senne et ses affluents.

Tableau 8. Limnimgraphes du sous-bassin versant de Tubize ville.

Opérateur	Code	Localité	Cours d'eau	Localisation dans le réseau hydrographique	Bassin versant km ²	Coordonnées Lambert belges		Référence du zéro (DNG)	Période de fonctionn ^t	Opérationnel en janvier 2009
						X	Y			
DGO2		Tubize Arsenal	Senne	amont embouchure Coeurcq	215	137,850	153,300	35,77 m	1998-	oui
DGO2		Tubize Ripain	Senne	amont embouchure Stincup-Lobbecq	174 (1)	136,825	152,150	38,00	1975-1998	définitivement à l'arrêt
DGO3	L5660	Steenkerque	Senne	aval embouchure Brainette	146	128,858	147,835	52,224	1977-	oui
DGO3	L5661	Steenkerque	Senne	amont embouchure Brainette	104	128,679	147,776	52,936	1996-	oui

Source : DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques et DGO3-DGARNE, Direction des voies non navigables, portails Internet

(1) valeur fournie par le portail Internet de la DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques ; la valeur utilisée par l'étude hydrologique de s. a. SEPRO, 'Bassins écrètements de crues sur la Senne en amont de Tubize' est 179 km²

Le limnimgraphe du Ripain était situé en amont de l'embouchure du Froye. Il était par conséquent également situé en amont de celui de celui de l'Arsenal qui lui est se trouve entre l'embouchure du Froye et celle du Coeurcq. Le bassin versant du premier est entièrement couvert par celui du second, dont il occupe 81 % de la surface.

Tableau 9. Relations débit/surface pour les sous-bassins versants du Ripain et de l'Arsenal à Tubize (1998).

Débits mensuels	Tubize Ripain $Q_{tot-Rip}$ ($m^3.s^{-1}$)	Tubize Arsenal $Q_{tot-Ars}$ ($m^3.s^{-1}$)	$Q_{tot-Rip} / Q_{tot-Ars}$
jan	2,75	3,94	0,70
fev	0,82	1,11	0,74
mar	2,26	3,10	0,73
avr	3,24	4,67	0,69
mai	0,83	1,11	0,75
jui	0,85	1,12	0,76
jul	0,65	0,79	0,82
aoû	0,59	0,79	0,75
sep	0,80	1,02	0,78
oct	1,75	2,28	0,77
nov	4,19	5,64	0,74
dec	3,39	4,56	0,74
Surface des bassins versants	A_{Rip}	A_{Ars}	$(A_{Rip} / A_{Ars})^a$ $a = 1,38$
	174 km ²	215 km ²	0,75

Source : DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques

En 1998, un an avant l'arrêt définitif du limnimètre du Ripain et son remplacement par celui de l'Arsenal, les débits de la Senne sont mesurés simultanément aux deux stations (Tableau 9). On compare le rapport des débits mensuels moyens aux deux exutoires avec le rapport des surfaces des deux bassins versants associés :

$$Q_{tot-Ars} = Q_{tot-Rip} * (A_{Ars}/A_{Rip})^{1,38} = Q_{tot-Rip} * 1,339$$

Le sous-bassin versant de Tubize ville fait **233 km²**. Il est situé en aval de l'embouchure du Coeurcq. Il couvre donc à son tour entièrement celui de l'Arsenal, situé un peu en amont. Le second occupe 92 % de la surface du premier. Par analogie avec la relation précédente entre les débits à l'Arsenal et au Ripain, les débits à Tubize ville $Q_{tot-Tub}$ peuvent se calculer en fonction de ceux de l'Arsenal $Q_{tot-Ars}$ comme suit :

$$Q_{tot-Tub} = *(A_{Tub}/A_{Ars})^{1,38} = Q_{tot-Ars} * 1,117$$

4.1.2. Données et caractéristiques de la crue

Les événements ont été suivis par périodes de 6 heures numérotées 1, 2 ... π . (Tableau 10 et fig. 39 et 40)

- Intensité et volume cumulé de précipitation.

L'intensité moyenne des précipitations sur le sous-bassin versant de la Senne de Tubize ville, $i_{BV-Tub, \pi}$, durant la $\pi^{\text{ème}}$ période de 6 heures, en $m^3/6h$, a été obtenue en multipliant la hauteur précipitée à Soignies $P_{Soi, \pi}$ en mm, durant la même période, par la surface du bassin versant A_{Tub} en km^2 et par un facteur $1000(mm^{-1}km^2m^3/6h)$.

Le volume cumulé des précipitations $i_{BV-Tub, \pi}$ en m^3 , à la période π est équivalent à la somme des intensités de la période 1 à π , multipliée par un facteur 1(h).

- Débits.

Le débit moyen de la Senne à l'exutoire de Tubize ville $Q_{tot-Tub, \pi}$ durant la $\pi^{ème}$ période de 6 heures, en m^3 , a été obtenu en multipliant le débit moyen de la Senne à l'Arsenal $Q_{tot-Ars, \pi}$ en $m^3 s^{-1}$, durant la même période, par le facteur $1,117 \cdot 21,6 \cdot 10^3$ (s/6h).

Le volume cumulé débité $\sum V_{tot-Tub, \pi}$ en m^3 , à la période π est équivalent à la somme des débits jusqu'à cette période, multipliée par un facteur 1(h).

Tableau 10. Senne, sous-bassin versant amont de Tubize ville. Suivi des volumes précipités et des débits à Tubize du 22 à 06:00H au 31.01.2009 à 06:00H

Période π	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t (h) ⁽¹⁾	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
$P_{Soi, \pi}$ (mm) ⁽²⁾	0,0	0,6	3,8	0,2	12,6 (max)	4,0	5,7	0,1	0,0	0,2
$i_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3/6h$) ⁽³⁾	0	140	885	47	2.936	932	1.328	23	0	47
$\sum_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁴⁾	0	140	1.025	1.072	4.008	4.940	6.268	6.291	6.291	6.338
$Q_{tot-Ars, \pi}$ ($m^3 s^{-1}$) ⁽⁵⁾	3,3	3,1	3,6	4,5	6,5	16,7	25,0	27,8 (max)	24,8	13,8
$Q_{tot-Tub, \pi}$ ($m^3/6h$) ⁽⁶⁾	80	75	87	109	157	403	603	671	599	333
$\sum V_{tot-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁷⁾	0	75	162	270	427	830	1.433	2.104	2.702	3.035
Période π	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
t (h) ⁽¹⁾	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
$P_{Soi, \pi}$ (mm) ⁽²⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
$i_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3/6h$) ⁽³⁾	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117
$\sum_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁴⁾	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.454
$Q_{tot-Ars, \pi}$ ($m^3 s^{-1}$) ⁽⁵⁾	10,1	8,2	7,0	6,0	5,5	5,0	4,6	4,1	3,8	3,4
$Q_{tot-Tub, \pi}$ ($m^3/6h$) ⁽⁶⁾	243,7	197,8	168,9	144,8	132,7	120,6	111,0	98,9	91,7	82,0
$\sum V_{tot-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁷⁾	3.278,9	3.476,7	3.645,6	3.790,4	3.923,1	4.043,7	4.154,7	4.253,6	4.345,3	4.427,3
Période π	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
t (h) ⁽¹⁾	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
$P_{Soi, \pi}$ (mm) ⁽²⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
$i_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3/6h$) ⁽³⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3	0,0	0,0	0,0	23,3
$\sum_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁴⁾	6.454,1	6.454,1	6.454,1	6.454,1	6.454,1	6.477,4	6.477,4	6.477,4	6.477,4	6.500,7
$Q_{tot-Ars, \pi}$ ($m^3 s^{-1}$) ⁽⁵⁾	3,2	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0
$Q_{tot-Tub, \pi}$ ($m^3/6h$) ⁽⁶⁾	77,2	74,8	70,0	65,1	60,3	55,5	53,1	53,1	50,7	48,3
$\sum V_{tot-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁷⁾	4.504,5	4.579	4.649	4.714	4.775	4.830	4.883	4.936,4	4.987	5.035
Période π	30	31	32	33	34	35	36			
t (h) ⁽¹⁾	186	192	198	204	210	216	222			
$P_{Soi, \pi}$ (mm) ⁽²⁾	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0			
$i_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3/6h$) ⁽³⁾	0,0	0,0	0,0	23,3	0,0	0,0	0,0			
$\sum_{BV-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁴⁾	6.500,7	6.500,7	6.500,7	6.524,0	6.524,0	6.524,0	6.524,0			
$Q_{tot-Ars, \pi}$ ($m^3 s^{-1}$) ⁽⁵⁾	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5			
$Q_{tot-Tub, \pi}$ ($m^3/6h$) ⁽⁶⁾	45,8	43,4	41,0	38,6	38,6	38,6	36,2			
$\sum V_{tot-Tub, \pi}$ ($10^{-3} m^3$) ⁽⁷⁾	5.081,2	5.124,6	5.165,6	5.204,2	5.242,8	5.281,4	5.317,6			

Source : DGO2 de la Mobilité et des voies hydrauliques, portail Internet ; les données publiées ne sont pas contrôlées.

⁽¹⁾ t : temps en heures depuis 22.01.2009 00:00H

⁽²⁾ $P_{Soi, \pi}$: hauteur de la lame de pluie totale en mm précipitée sur 6 heures au pluviographe de Soignies

⁽³⁾ $i_{BV-Tub, \pi}$: intensité de pluie précipitée en $10^{-3} m^3/6h$ sur le sous-bassin versant amont de Tubize ville ($233 km^2$) pendant la période π

⁽⁴⁾ $\sum_{BV-Tub, \pi}$: volume cumulé de pluie précipitée sur le sous-bassin versant de Tubize ville depuis le 22.01.2009 à 06:00H jusqu'à, y compris, la période π

⁽⁵⁾ $Q_{tot-Ars, \pi}$: débit moyen, en $m^3 s^{-1}$, de la Senne mesurée au limnigraphe de Tubize Arsenal (sous-bassin versant amont, $215 km^2$) pendant la période π

⁽⁶⁾ $Q_{tot-Tub, \pi}$: débit moyen $m^3/6h$, de la Senne à Tubize ville (sous-bassin versant amont, $233 km^2$)

⁽⁷⁾ $\sum V_{tot-Tub, \pi}$: volume cumulé en m^3 débité par la Senne à Tubize ville (sous-bassin versant amont, $233 km^2$) depuis le 22.01.2009 à 06:00H

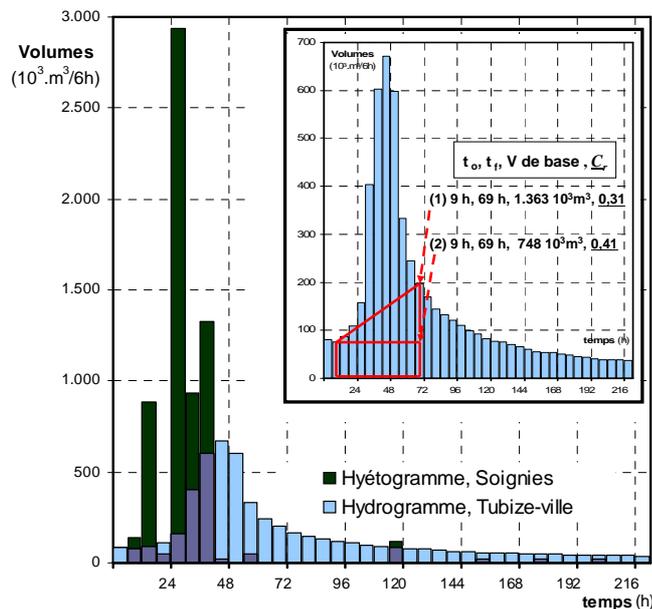
Le tableau 11 reprend quelques grandeurs caractéristiques en hydrologie : durée de l'averse, temps de montée, temps de réponse entre maxima de pluie et de crue, temps de concentration du bassin versant, temps de base et débit de pointe, ainsi que le coefficient de ruissellement estimé par deux méthodes.

Les définitions des différentes grandeurs sont repris en annexe.

La figure 32 permet de suivre l'événement.

fig. 32

**Senne, Sous-bassin versant amont de Tubize-ville:
événement du 22.01 à 00:00 H au 31.01.2009 à 06:00 H**



**Tableau 11. Senne, sous-bassin versant amont de Tubize ville.
Caractéristiques estimées de l'événement du 22 au 31.01.2009**

durée de l'averse (h)	d	24
temps de montée (h)	t_m	24
temps de réponse entre maxima de pluie et de crue (h)	t_p	18
temps de concentration du bassin versant (h)	$t_{c, Tub}$	36
temps de base (h)	T_b	60
débit de pointe (m^3s^{-1})	$Q_{tot-Tub-max}$	27,8
Coefficient de ruissellement en déduisant le ruissellement hypodermique lent du ruissellement total	$C_r(1)$	0,31
Coefficient de ruissellement en incluant le ruissellement hypodermique lent dans le ruissellement total	$C_r(2)$	0,41

$C_r = R/P$: Les Coefficients de ruissellement ont été calculés sur un temps de base, t_b , de 60 heures entre le 21.01 à 09:00H et le 24.01 à 21:00H (voir fig. 39).

Pour $C_r(1)$, $R = \sum Q_{tot-Tub, \pi} - 10^*(Q_{tot-Tub, 1} + Q_{tot-Tub, 11})/2]$ avec $\tau = 2$ à 11 ; dans cette approche, on a tenté de retrancher de R le volume du ruissellement différé.

Pour $C_r(2)$, $R = \sum (Q_{tot-Tub, \pi} - Q_{tot-Tub, 1})$ avec $\tau = 2$ à 11; dans cette approche, on a tenté d'inclure le ruissellement différé dans R .

4.1.3. Commentaires

Les valeurs reprises dans le tableau 10 ont été enregistrées en cours d'événement. Elles ne sont pas validées. Les valeurs reprises dans le tableau 11 sont à considérer comme des estimations.

Le temps de réponse, c'est-à-dire le temps entre le maximum de pluie et le maximum de crue, peut être estimé moins de 24 heures. En clair, cela signifie qu'entre le moment où la pluie bat son plein et le moment où les caves sont sous eau, les riverains et les pompiers disposent de peu de

temps pour réagir. Sans compter que la nuit, l'attention a tendance à se relâcher. Il est donc important de disposer de prévisions fiables, notamment météorologiques, pour anticiper davantage les événements. Il ne faut plus démontrer l'importance du système de vigilance mis en place par le Service d'études hydrologiques SETHY de la DG2 du SPW, aidé en cela par des programmes de gestion de crues comme WACONDAH ou HYDROMAX⁵³.

Le débit maximum de la Senne à l'Arsenal durant l'événement du 22 janvier était de $27,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, un flux qui, comme on l'a vu, était à la limite d'inonder les caves de l'avenue de Scandiano. Ce maximum pourrait être dépassé pour une averse équivalente, mais de durée supérieure. Dans le cas présent, l'averse a duré environ 24 heures, alors que le temps de concentration du bassin versant est d'approximativement 36 heures. Les études hydrologiques montrent en effet que le débit de pointe à l'exutoire augmente jusqu'à une valeur maximale et puis plafonne quand la durée de l'averse est équivalente ou dépasse le temps de concentration du bassin versant. Pour rappel, le temps de concentration dépend des caractéristiques du bassin versant et non de la pluie.

La méthode SCS (US Soil Conservation Service) définit le ruissellement diffus d'origine agricole comme étant un ruissellement rapide, composé d'un ruissellement de surface et d'un ruissellement hypodermique rapide. Il n'inclut pas l'écoulement (ou ruissellement) hypodermique lent et différé. Pour pouvoir comparer le coefficient de ruissellement au niveau du sous-bassin versant avec le coefficient de ruissellement diffus d'origine agricole (SCS), nous avons calculé le premier selon deux méthodes. Pour arriver au résultat de $C_r(1) = 0,31$, on a exclu, autant que possible, l'écoulement différé. Pour $C_r(2) = 0,41$, on en a tenu compte.

4.2. Bilan hydrologique 2002-2007

4.2.1. Méthode

Comme ci-dessus, les données proviennent de l'archivage des enregistrements annuels du limnigraphe de l'Arsenal et du pluviographe de Soignies, ce dernier en fonctionnement depuis 2002 (fig. 6 à 9). Près de 340 événements de précipitations et de crues ont été examinés sur la période qui va de 2002 à 2007. Les précipitations journalières sont exprimées en mm, les débits en $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$. On sélectionne les événements de pluie les plus significatifs. Dans chaque groupe de pics qui constituent un événement de pluie ou de crue qui lui répond, nous choisissons le pic le plus élevé. Les hauteurs précipitées ont été mesurées à partir de l'axe des abscisses, tandis que les pics des débits sont mesurés à partir d'une ligne de base estimée graphiquement afin de minimiser la contribution du ruissellement différé et du débit de base.

4.2.2. Résultats

Les résultats, débit de la Senne à l'Arsenal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) en fonction de la hauteur de pluie journalière à Soignies (mm), $Q_{tot-max,Tub} = f(P_T, Soi)$, sont présentés dans trois graphiques, regroupés selon certaines périodes de l'année : de janvier à mars (fig. 33), d'avril à octobre (fig. 34) et de novembre à décembre (fig. 35).

⁵³ HYDROMAX est un système de prévision en temps réel des débits de crues, à court terme. Il a été développé par le CESAME (UCL) et est opérationnel au SETHY pour la gestion des alarmes d'inondations sur le bassin de la Meuse Cet outil d'aide à la prise de décision s'intègre dans le programme WACONDAH.

fig. 33

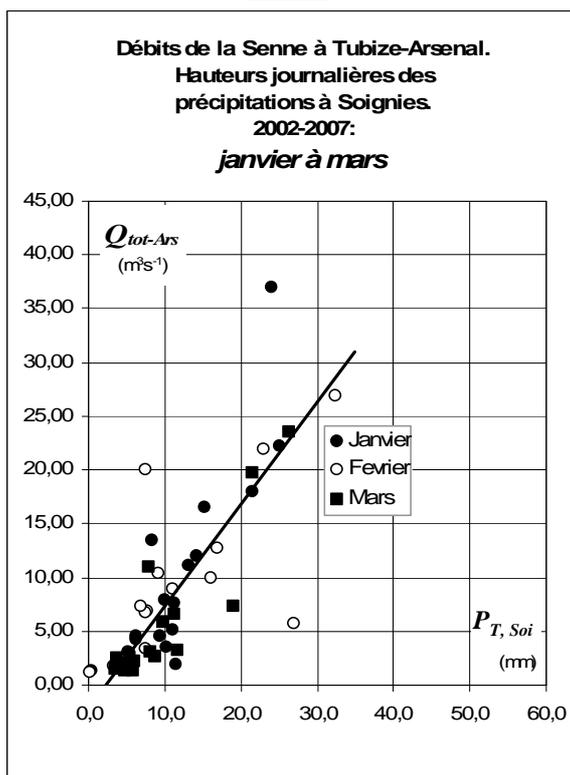


fig. 34

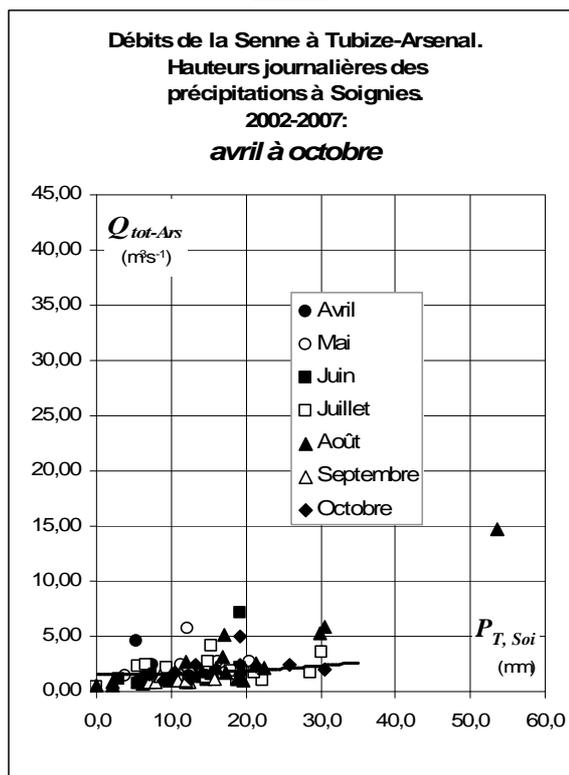
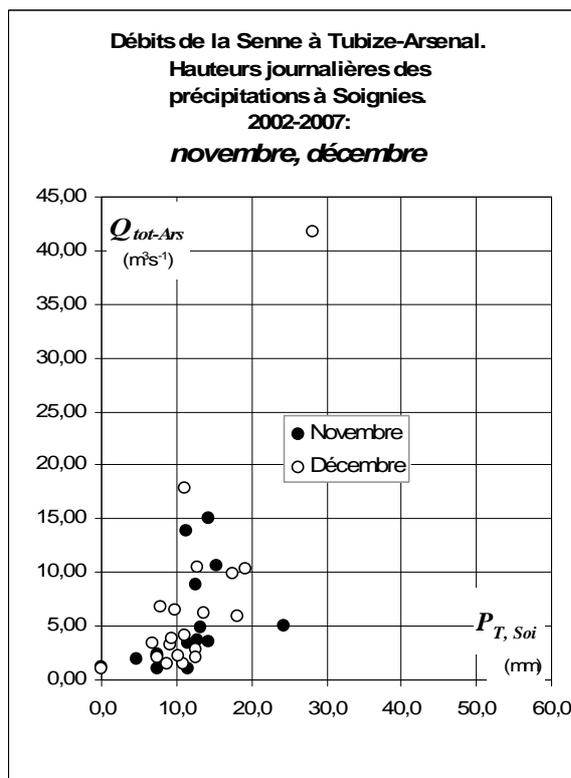


fig. 35



Pour les mois de janvier à mars, les maxima des débits à l'exutoire sont sensiblement proportionnels aux maxima des événements de pluie. La pente de la droite de tendance est de $0,9 m^3 s^{-1} mm^{-1}$. La hauteur de pluie extrême enregistrée est de 32,3 mm, ce qui correspond à un débit à l'exutoire de $26,91 m^3 s^{-1}$. Quelques événements ont une réponse hydrologique atypique, les résultats se situant nettement en dehors de la droite de tendance.

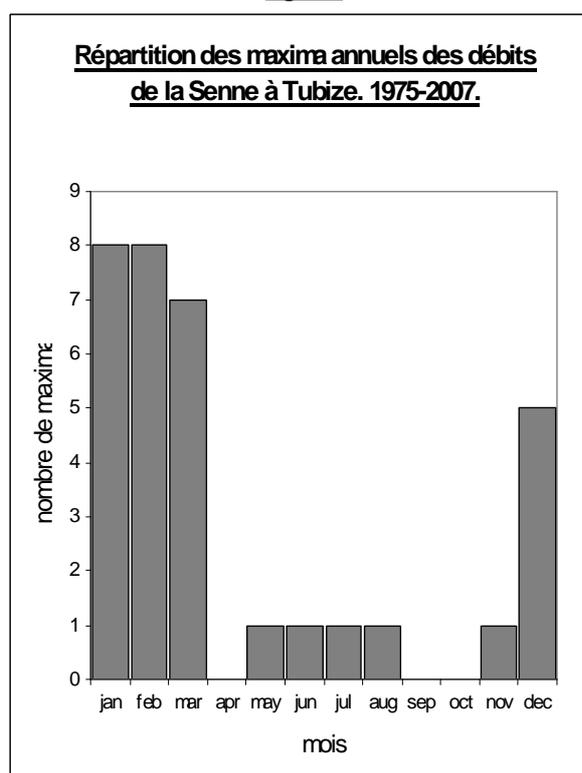
Entre avril et octobre, la réponse à l'exutoire est faible. Les points du graphique se regroupent autour d'une droite de pente $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Le maximum extrême de précipitation est de 53,5 mm, ce qui a provoqué un débit de $14,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. D'après les tables IDF⁵⁴ pour Soignies, un tel événement, s'il se déroulait sur une durée de 24 heures ne devrait se produire qu'une fois tous les 20 ans.

Si le volume d'eau précipité durant l'année varie peu d'un mois à l'autre, les pluies estivales comptent plus d'événements intenses ($\geq 20 \text{ mm/jour}$) qu'en hiver⁵⁵. Mais ces derniers ne modifient pas l'aléa d'inondation. Même une précipitation extrême de 53,5 mm/jour, comme celle enregistrée au mois d'août 2002, n'a produit qu'un débit maximum de $14,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, alors qu'en janvier 2009, une hauteur de 26,9 mm - donc inférieure - répartie sur 36 heures a produit un débit de pointe de $27,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ au même limnimètre. Rares sont en été les pluies suffisamment fortes pour causer à Tubize une inondation par débordement de rivière en fond de vallée. Il est cependant possible qu'un orage violent et local puisse arroser la plaine en face de l'Arsenal et provoquer des inondations de caves par stagnation d'eau.

Pour les mois de novembre et décembre, la situation est intermédiaire. La majorité des points se situe dans l'angle formé par les droites de pente 0,9 et $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. La dispersion des résultats est plus importante que précédemment. L'événement de précipitation le plus intense durant cette période passe par un maximum à 28,2 mm/j et correspond à un débit de $41,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Les données archivées entre 1975 et 2007⁵⁶ confirment les tendances suggérées par l'étude précédente. On connaît en effet le débit journalier maximum de la Senne pour chaque année de la période ainsi que le mois durant lequel l'événement s'est produit. On regroupe ces événements selon le mois de l'année où ils se sont produits et on fait la somme pour chaque mois dans la figure 36.

fig. 36



Les maxima annuels se regroupent entre janvier et mars. Il y en a peu entre avril et novembre. On constate une situation intermédiaire pour décembre. Ces résultats confirment les tendances déjà observées.

⁵⁴ Courbes IDF (intensité-durée-fréquence), portail Internet de la DGO2-Direction des voies hydrauliques

⁵⁵ François Brouyaux et al., 'Vigilance Climatique', IRM, Bruxelles, 2008

⁵⁶ DGO2-Direction générale des voies hydrauliques, portail Internet

4.2.3. Commentaires

Relativement aux autres périodes de l'année, on constate que les précipitations hivernales de janvier à mars provoquent un débit important à l'exutoire. Dans un bassin versant couvert à 76 % par la SAU, la teneur en humidité des sols joue un rôle important. En hiver, elle est élevée à cause de la faible évapotranspiration. L'élimination du reliquat d'eau accumulé dans le sol se fait alors essentiellement par infiltration verticale suivie de percolation vers les aquifères. Entre avril et octobre, l'évapotranspiration est très importante et les sols perdent rapidement leur humidité. L'infiltration est favorisée et la réponse hydrologique à l'exutoire est faible.

Le comportement hydrologique durant les mois de novembre et décembre est plus difficile à interpréter. Les résultats de la figure 42 montrent que cette période marque une transition entre l'été (ou l'automne) et l'hiver, tant au niveau de l'importance des réponses hydrologiques moyennes qu'au niveau de la dispersion des résultats. L'évapotranspiration seule ne peut rendre compte du phénomène, car elle est pratiquement la même que durant la période de janvier à mars (fig. 28). Sans doute l'explication réside-t-elle au niveau du calendrier des pratiques culturales.

En octobre, beaucoup de terres viennent d'être labourées et ensemencées (céréales d'hiver, engrais vert, CIPAN ...). Un sol ameubli⁵⁷ à la surface rugueuse⁵⁸ favorise l'infiltration de l'eau. De plus, en septembre et octobre, l'activité biologique des sols est encore importante, tant au niveau des végétaux que des lombrics. L'infiltration et l'écoulement hypodermique latéral différé, jusqu'à 30-40 cm de profondeur, sont favorisés⁵⁹. La lame d'eau s'écoule avec retard vers le réseau hydrologique. Les crues sont étalées dans le temps et le débit de pointe est moins élevé. Durant les mois de novembre et décembre, les sols se tassent progressivement sous l'effet des intempéries. Fissures et pores se colmatent, l'infiltration devient plus difficile et l'eau ruisselle davantage en surface. La réponse hydrologique évolue. Si elle est encore amortie début novembre, elle se durcit progressivement pour prendre, fin décembre, l'allure qu'elle aura de janvier à mars.

Il convient cependant d'être prudent quant à l'interprétation de ces derniers résultats. Certaines simplifications ont été introduites au niveau de notre méthode d'évaluation des événements de crue : utilisation de la seule station pluviométrique de Soignies pour rendre compte des précipitations sur l'ensemble du sous-bassin versant de Tubize Arsenal, mesurage des pics maximums à la place des volumes cumulés sur la durée de l'événement, minimisation du ruissellement différé... Il est également possible que le nombre d'événements recensés sur les mois de novembre et décembre, 36 sur un total de 338, soit insuffisant pour valider les résultats.

4.3. Les crues, un phénomène hivernal confirmé

L'examen systématique des paires pluies/crues sur la période 2002-2007 et la distribution des maxima annuels permettent d'affirmer qu'en hiver, ici de janvier à mars, les précipitations provoquent une réponse hydrologique beaucoup plus forte qu'au printemps ou en été, c'est-à-dire durant la période qui va d'avril à octobre. Les crues de novembre et de décembre suivent un profil intermédiaire et moins régulier, ce qui constitue une situation non dépourvue d'intérêt quant aux interprétations possibles.

Cette étude des crues confirme et précise les conclusions de la chronologie des événements historiques. L'aléa d'inondation à Tubize par débordement de la Senne en fond de vallée est avant tout un phénomène hivernal (voir § 2.1.6).

Par ce profil saisonnier, les inondations par débordement en fond de vallée à Tubize se distinguent des inondations par ruissellement à flanc de pente, moins liées aux saisons. Ces dernières peuvent en effet être la conséquence d'orages estivaux et locaux. Suite à une forte

⁵⁷ La profondeur de travail typique d'un labour est de 25-30 cm.

⁵⁸ L'indice de rugosité le plus utilisé est la rugosité alléatoire **RR** (random roughness) définie par la déviation standard moyenne des élévations de la surface

$$RR = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2 \right)^{1/2} \quad [\text{Allmaras et al. (1966); Currence and Lovely, 1970}]$$

⁵⁹ Conversation avec Christian Roisin, CRAW, Gembloux

pluie, les sols de petits bassins versants se saturent et produisent un ruissellement diffus par dépassement de la capacité d'infiltration⁶⁰. Les agriculteurs et les résidents de ces localités peuvent subir de graves dommages dus aux inondations, à l'érosion des sols ou aux coulées de boue. Les voiries et les ouvrages d'art ne sont pas épargnés. La lutte contre ce type d'inondations par ruissellement de surface a fait l'objet de nombreuses études et expertises, qu'est venue encadrer la convention « Érosion 243 »⁶¹.

La période hivernale des crues est limitée à trois ou quatre mois au maximum: de janvier, voire de décembre, à mars.

⁶⁰ ou écoulement hortonien (P.Pech, 'Les transferts des versants aux lits' Univ. Paris 1)

⁶¹ c.f. : S. Dautrebande, 'Guide méthodologique pour le choix d'aménagements appropriés en matière de conservation des sols et des eaux', FUSAGx, Gembloux)

5. Étude hydraulique du bassin versant de Tubize ville⁶²

En 1985 et 1987 le Ministère de la Région wallonne pour l'eau, l'environnement et la vie rurale, demande au bureau d'études SEPRO d'étudier un projet de bassins d'écrêtement. Trois sites sont retenus :

- la vallée de la Brainette à Steenkerque, juste avant son point de confluence avec la Senne,
- la vallée de la Senne en amont de la ferme de l'Hoste (ou de l'Hôtel), également à Steenkerque et
- la vallée de la Senne en amont de Tubize.

5.1. Contraintes

L'écoulement des eaux en aval de Tubize est soumis à certaines contraintes.

Après avoir traversé la ville, la Senne franchit la frontière linguistique et poursuit son parcours en Flandre vers Halle, en passant par Lembeek où elle longe la rive gauche du canal Charleroi-Bruxelles. Une vanne segment limite le débit admis vers Halle et Bruxelles. À une dizaine de mètres en amont de la vanne se situe un déversoir dont le sommet du mur atteint la cote de 35,80 m qui, en cas de crues importantes, permet de déverser dans le canal les débits excédant celui admis par la vanne segment. Un ancien bras de la Senne qui prend naissance face au déversoir, un peu avant la vanne segment, peut également recevoir une petite fraction des débits excédentaires, en théorie du moins, car il ne semble pas avoir été curé depuis des années.

Les riverains de Tubize se sont inquiétés de ce que le mur du déversoir a été construit 15 cm plus haut que prévu initialement, ce qui retarde le déversement en cas de crue en amont. Une étude faite au laboratoire d'études hydrauliques de Borgerhout en 1976 conclut cependant que « l'abaissement de la crête du déversoir n'améliore pas la situation à Tubize avec la Senne actuelle. Quant à la situation future, un abaissement est un moyen peu adéquat pour diminuer les inondations à Tubize. L'effet à Tubize (baisse du niveau de l'eau de l'ordre de 0,15 m) serait à négliger vis-à-vis de l'effet d'aménagement de la Senne (baisse de l'ordre de 1 m) »⁶³.

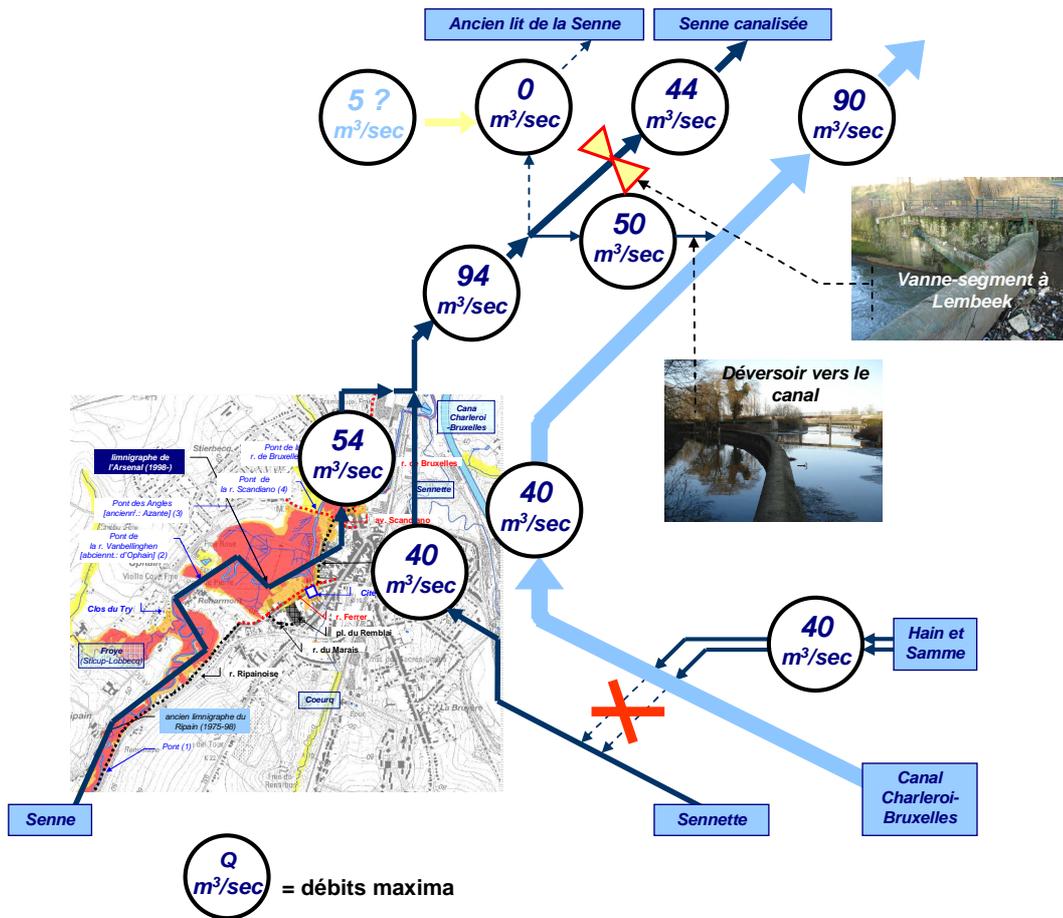
Une étude de 1968 réalisée par le bureau d'études Courtoy⁶⁴ définit les débits maximums admissibles en aval de Tubize (fig. 37).

⁶² Bureau d'étude S.A. SEPRO, Charleroi, 'Bassins d'écrêtement de crues sur la Senne en amont de Tubize, avant projet, 1^{ère} partie'. (1987)

⁶³ Rapport à la Direction de l'Hydraulique agricole, 22/02/1977

⁶⁴ Etude du Bureau Courtoy, 'Étude préliminaire d'amélioration pour la Direction de l'hydraulique agricole', 1968

fig. 37 La Senne entre Tubize et Halle : flux de pointe admissibles



- + 90 m³s⁻¹ (1) : débit d'entrée maximum dans le canal
- 40 m³s⁻¹ : débit de crue imputable au Hain et à la Samme

- = + 50 m³s⁻¹ : déversement maximum admissible de la Senne vers le canal (déversoir de Lembeek)
- + 44 m³s⁻¹ : débit admis par la vanne segment de la Senne rectifiée vers Bruxelles
- + 5 ou 0 m³s⁻¹ (2) : débit qui peut être évacué par l'ancien bras de la Senne
- 40 m³s⁻¹ : débit de crue de la Sennette à Tubize

- = + 59 ou **54** m³s⁻¹ : débit max. admissible pour la Senne à Tubize

- (1) L'ancien bras de la Senne n'est pas curé, opération qui reste du ressort de la Région flamande. On ne peut donc prendre en considération le débit de 5 m³s⁻¹.
- (2) Le débit maximum que le canal peut recevoir des évacuateurs de crue de la Senne est évalué en 1968 à 90 m³s⁻¹ par le Ministère des Travaux publics. Un débordement du canal serait particulièrement grave, du fait qu'outre les submersions importantes, il y a lieu de craindre qu'il n'entraîne une rupture des digues.

Le débit maximum admissible pour la Senne lors de son passage dans Tubize est donc de 54 m³s⁻¹.

Cependant, si on veut éviter toute inondation, il convient d'être plus restrictif. Comme des caves ont été inondées avec un débit de pointe de 38 m³s⁻¹ au limnigraphe du Ripain, ce qui correspond à un débit estimé de 43 m³s⁻¹ pour la ville, on limitera le débit de pointe à cette dernière valeur.

5.2. Propositions de l'étude SEPRO

L'étude SEPRO postule que, pour un temps de pluie d , le débit maximum $Q_{tot-max}$ est lié à la hauteur du ruissellement R et à la surface A_{BV} du bassin versant par la relation

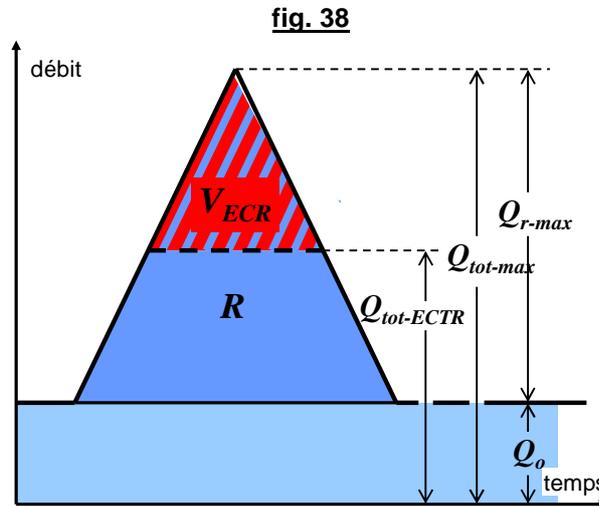
$$Q_{tot-max} = \tau * A_{BV} * R$$

Le facteur $\tau = 1 / (a + b * d)$ est caractéristique de l'hydrogramme et dépend de la durée de la pluie d ; a et b sont obtenus à partir des données limnimétriques de la Senne à Tubize Ripain entre 1980 et 1983.

L'étude SEPRO utilise, pour ses calculs, la méthode de l'hydrogramme triangulaire. Dans cette hypothèse, quand $Q_{tot-ECR}$ est le débit limite au-delà duquel on veut écrêter,

$$V_{ECR}/R = [(Q_{tot-max} - Q_{tot-ECR}/Q_{r-max}]^2,$$

où $Q_{r-max} = Q_{tot-max} - Q_o$ est le débit de ruissellement de pointe et Q_o le débit de base (fig. 38).



La méthode calcule, pour 10 volumes d'écrêtement et 9 temps de pluie causale d , la probabilité de défaillance par saison et la période de retour T de la défaillance pour toute l'année. Les résultats montrent que la probabilité de défaillance varie avec le temps de pluie d . Elle passe par un maximum pour $d = 24$ heures, tant en été qu'en hiver et pour des hauteurs de lame à écrêter entre 4 et 10 mm. C'est donc cette durée de pluie d de 24 heures qui est choisie pour la pluie de projet.

On calcule, pour 10 volumes maximum admissibles à Tubize et 10 volumes de réservoirs d'écrêtement, la période de défaillance pour les 100 couples de valeurs ainsi considérées. Il permet aux autorités de choisir le volume total des réservoirs nécessaires en fonction d'un temps de retour acceptable pour les dépassements (Tableau 12).

Ce dernier objectif est une décision politique, car il est fonction du seuil de tolérance de la population, du coût social des dégâts potentiels et du coût des travaux pour éviter la nuisance.

Les autorités se sont mis d'accord sur un projet de débit maximum de la Senne à Tubize ville de 43 m^3 et une capacité de stockage suffisante pour qu'il ne soit dépassé qu'une fois tous les 50 ans.

Voici les conclusions de l'étude.

- Le débit maximum admissible à Tubize ville est de 43 m^3 pour un bassin de 233 km^2 . Ce maximum est estimé au départ d'une mesure faite le 15/01/81 au limnigraphe de Tubize

Ripain (bassin versant = 179 km²) qui était de 38 m³s⁻¹.(ou 43 m³s⁻¹ en ville) et à ce débit la ville avait été inondée.

- Le volume à stocker au départ du débit de 43 m³s⁻¹ est de 1.290.000 m³. pour une période de retour de 50 ans. La pluie de projet choisie a une durée de 24 heures.

L'avant-projet comporte une étude de faisabilité pour trois bassins de stockage. Les capacités sont calculées en fonction des sous-bassins versants associés aux masses d'eau respectives (la Senne à Tubize et à Steenkerque ; la Brainette à Steenkerque). Les quantités stockables ont été déterminées sur base de levés de terrain.

	Quantités à stocker (m ³)	Quantités stockables (m ³)
Senne, Steenkerque	670.000	758.700
Brainette, Steenkerque	180.600	483.353
<u>Tubize amont</u>	<u>438.600</u>	<u>287.546</u>
Totaux	1.288.600	1.529.500

Le projet n'a pas abouti. Outre les difficultés de réaliser une retenue en amont de Tubize à cause de son coût prohibitif, l'inquiétude s'est installée chez les agriculteurs concernés par les zones inondables.

Un volume à écrêter V_{ECR} de 1.290.000 m³ correspond, à l'échelle du sous-bassin versant de Tubize ville, à une hauteur de ruissellement R de 5,56 mm.

Par ailleurs, les courbes IDF de la pluviométrie à Soignies donnent, pour une pluie de projet d'un temps de retour T de 50 ans et d'une durée d de 24 heures, une précipitation totale P de 64,8 mm⁶⁵.

Il faudrait donc une capacité d'écrêtement équivalent à 8,58 % de la pluie de projet P_T , ou 42% du ruissellement R .

Le tableau 11⁶⁶ présente les temps de retour T pour différents débits à ne pas dépasser - débit de base compris - et différents volumes d'écrêtement disponibles V_{ECR} .

⁶⁵ DGO2, Direction générale des Voies hydrauliques, portail Internet

⁶⁶ S.A. SEPRO, 'BASSINS ECRETEMENTS DE CRUES SUR LA SENNE EN AMONT DE TUBIZE – Etudes Avant-projet – 1^{ère} partie ; p. 16)

Tableau 12. Étude SEPRO⁽¹⁾

Station : Tubize																					
Années : 1982-1983																					
Lame précipitée annuelle P_T : 756 mm						Lame mensuelle P_T été : 67,95 mm															
						Lame mensuelle P_T hiver : 59,45 mm															
Coefficient d'inégale répartition des pluies : 0,97																					
Superficie du bassin à protéger : 233 km ²																					
Temps de pluie causale d été / hiver : 24 h																					
Débit de base Q_o du site à protéger : 3,5 m ³																					
Débit $Q_{tot-ECR}$ à ne pas dépasser en aval (m ³ s ⁻¹), débit de base Q_o compris																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">42</td> <td style="width:10%; text-align:center;">43</td> <td style="width:10%; text-align:center;">45</td> <td style="width:10%; text-align:center;">48</td> <td style="width:10%; text-align:center;">51</td> <td style="width:10%; text-align:center;">54</td> <td style="width:10%; text-align:center;">57</td> <td style="width:10%; text-align:center;">59</td> <td style="width:10%; text-align:center;">60</td> <td style="width:10%; text-align:center;">63</td> </tr> </table>												42	43	45	48	51	54	57	59	60	63
	42	43	45	48	51	54	57	59	60	63											
Volumes écrêtés V_{ECR} (m ³)	Période de défaillance T (années)																				
	0	8,1 (2)	8,5 (2)	9,5 (2)	11,5 (2)	13,5 (2)	16,3 (2)	19,5 (2)	21,8 (2)	23,0 (2)	27,0 (2)										
215	12,6	13,4	15,2	18,3	21,9	26,1	30,9	34,5	36,4	42,6											
430	17,9	19,1	21,6	26,0	31,1	36,9	43,5	48,4	51,0	59,4											
645	23,8	25,3	28,7	34,4	41,0	48,4	56,9	63,0	66,3	76,9											
860	30,4	32,4	36,6	43,7	51,8	61,0	71,3	78,9	82,8	95,6											
1075	37,9	40,3	45,5	54,1	63,9	74,8	87,1	96,1	100,8	115,9											
1290	46,4	49,3	55,4	65,6	77,1	90,0	104,4	114,8	120,3	137,9											
1505	55,9	59,3	66,5	78,4	91,8	106,7	123,2	135,2	141,5	161,7											
1720	66,5	70,4	78,7	92,5	107,8	124,9	143,8	157,4	164,6	187,4											
1935	78,3	82,7	92,3	107,9	125,4	144,7	166,1	181,4	189,4	215,1											
2150	91,2	96,3	107,1	124,9	144,6	166,3	190,2	207,4	216,4	245,0											

(1) S.A. SEPRO, 'BASSINS ECRETEMENTS DE CRUES SUR LA SENNE EN AMONT DE TUBIZE – Études Avant-projet – 1re partie ; p. 16)

(2) Valeurs extrapolées

Temps de retour T

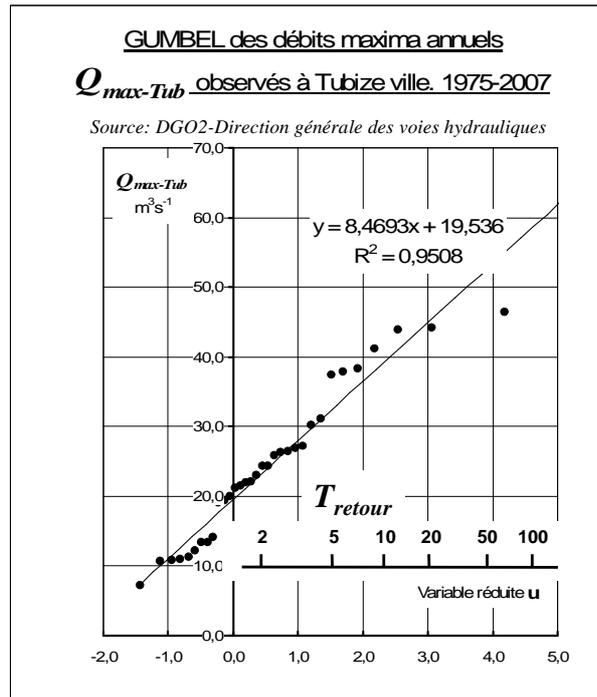
Quand $V_{ECR} = 0$, le débit maximum à ne pas dépasser $Q_{tot-ECR}$ est égal au débit de pointe $Q_{tot-max}$.

Le tableau permet de trouver par extrapolation les temps de retour T correspondant à différents débits à ne pas dépasser $Q_{tot-ECR}$ (= 42, 43, 45..., 63 m³s⁻¹) quand $V_{ECR} = 0$. Pour ce volume d'écrêtage $V_{ECR} = 0$, les différents $Q_{tot-ECR}$ sont par définition les débits de pointe $Q_{tot-max}$ des événements de crue qui correspondent au temps de retour T extrapolés.

À un débit de pointe de 43 m³s⁻¹ correspond un temps de retour T de 8,5 ans.

Nous avons pu comparer cette valeur de 8,5 ans à un temps de retour calculé (GUMBEL) pour le même débit de pointe à partir des maxima journaliers annuels fournis sur le portail Internet de la Direction des Voies hydrauliques entre 1975 et 2007. La valeur obtenue à partir des maxima journaliers annuels sur 32 années de mesures est de 16,5 ans (fig. 39).

fig. 39



Il est donc possible que les crues extrêmes soient moins fréquentes que prévues dans l'étude SEPRO. Dans ce cas, le volume à stocker lors de la crue cinquantennale pourrait être revu à la baisse.

Coefficient de ruissellement C_r

On peut déduire les coefficients de ruissellement C_r à l'échelle du sous-bassin.

On a vu que pour un hydrogramme triangulaire (§ 5.2.), quand il n'y a pas d'écrêtement, le débit à ne pas dépasser $Q_{tot-ECR} = Q_{tot-max}$, et le volume de ruissellement R est proportionnel au carré du débit de ruissellement de pointe :

$$R = k \cdot Q_r^2 = k \cdot (Q_{tot-max} - Q_o)^2 = k \cdot (Q_{tot-ECR} - Q_o)^2$$

On procède comme suit. À partir du tableau 12, on interpole pour différents temps de retour T de 20, 30, 50 et 100 ans, la série des volumes écrêtés V_{ECR} et des débits à ne pas dépasser $Q_{tot-ECR}$ correspondants. Pour une même période de retour, plus le débit de pointe accepté par les riverains est élevé, moins il faut écrêter.

Si on se place dans une situation limite où $Q_{tot-ECR} = 0$, c'est-à-dire que tout le flux qui dépasse le débit de base est écrêté, le volume écrêté est égal au volume du ruissellement :

$$V_{ECR} = R$$

Le tableau 13 présente les valeurs du coefficient de ruissellement $C_r = R/P_T$ pour différents temps de retour⁶⁷ (Tableau 13).

⁶⁷ Il est également possible de déterminer le débit de pointe de l'hydrogramme quand il n'y a pas d'écrêtement. On pose comme condition limite $V_{ECR} = 0$ et on en déduit pour l'hydrogramme triangulaire Q_{r-max} et $Q_{tot-max} = Q_{r-max} + Q_o$.

Tableau 13.
Sous-bassin versant de Tubize ville
Coefficients de ruissellement

Temps de retour T de	Coefficients de ruissellement $C_r = R/P_T$ ⁽¹⁾
20	0,094
30	0,114
50	0,139
100	0,176

(1) S.A. SEPRO, 'BASSINS ECRETEMENTS DE CRUES SUR LA SENNE EN AMONT DE TUBIZE – Etudes Avant-projet – 1re partie ; p. 16)

Les travaux réalisés par la Direction générale des voies d'eau non navigables

Comme le projet de bassins de retenue n'a pas abouti, la Direction générale des voies d'eau non navigables opte pour une remise à gabarit de la Senne, dans toute la traversée de la ville de Tubize, à 50 m³/sec. Les travaux débutent en 1996 (§ 2.1.4.). Ceci modifie bien sûr les hypothèses premières à la base de l'étude SEPRO (§ 5.1.).

Le tableau 12 montre que le débit de 50 m³/sec sera dépassé en moyenne tous les 12,8 ans. Pour prolonger la période de retour jusqu'à 20 ans tout en maintenant le débit en dessous de 50 m³/sec, il faudrait prévoir une capacité de stockage de 192.000 m³.

Un prolongement supplémentaire de la période de retour de 20 à 50 ans, ce qui était la périodicité initialement prévue, nécessiterait une capacité d'écrêtage de 886.000 m³. C'est moins que ce qui avait été prévu avant les travaux de mise au gabarit de 50 m³/sec, mais cela reste considérable. Le volume de 886.000 m³ correspond à une hauteur d'eau de 3,80 mm, soit 42% du ruissellement potentiel R durant un événement de pluie de 24 heures.

5.3. Conclusions

L'étude hydrologique demandée par la Région wallonne reflète la préoccupation des riverains. Si elle envisage une période de retour de 50 ans pour les inondations, c'est parce que ceux-ci l'ont estimé nécessaire. L'étude a été validée par les services compétents de la Direction générale des voies d'eau non navigables et, même si les bassins d'écrêtage n'ont pas vu le jour, elle a le mérite de chiffrer les enjeux.

Ses conclusions restent valables pour fixer un but à atteindre aux pratiques agricoles.

Pour que Tubize soit à l'abri d'une crue extrême qui ne surviendrait en moyenne que tous les 50 ans, une étude réalisée par la Région wallonne suggère qu'il faudrait une capacité d'écrêtage de 890.000 m³. Une telle crue serait provoquée par une pluie de 24 heures durant lesquels il tomberait environ 65 mm d'eau.

Pour cette pluie de 65 mm qui durerait 24 heures, la capacité d'écrêtage nécessaire de 890.000 m³ correspondrait à 42% du volume du ruissellement potentiel.

6. Ruissellement d'origine agricole dans bassin versant de Tubize ville

On a vu que les inondations par débordement de la Senne à Tubize sont pour l'essentiel des phénomènes hivernaux.

Pour protéger la ville d'une crue provoquée par un événement pluvieux extrême de 24 heures qui ne serait dépassé qu'une fois tous les 50 ans, suite à une pluie de hauteur estimée à P_T de 64,8 mm, les études hydrologiques demandées par la Direction générale des voies d'eau non navigables montrent qu'il faudrait aménager des capacités de stockage ou d'écrêtage de 1.290.000 m³. Ces prévisions peuvent cependant être revues à la baisse suite aux travaux réalisés sur la Senne à partir de 1996. Le volume à stocker pour une pluie cinquantennale serait actuellement de 886.000 m³, soit l'équivalent d'une hauteur d'eau de 3,80 mm sur l'ensemble du bassin versant.

Si au lieu de construire des bassins de stockage on demandait aux seules terres agricoles de retenir l'excès de la pluie de projet cinquantennale, soit 886.000 m³ en modifiant les pratiques culturales par exemple, il faudrait dégager durant 24 heures une capacité d'infiltration supplémentaire équivalente à une lame d'eau de 4,95 mm, soit 7,64 % de la lame précipitée P_T sur les terres agricoles ou 55 % du ruissellement potentiel.

La faisabilité de ce dernier point sera à présent examinée.

L'étude du facteur agricole se base pour l'essentiel sur les données fournies par la DGO3-Direction générale de l'agriculture, de l'environnement et des ressources naturelles dans le cadre de l'élaboration de la cartographie des zones à risque de ruissellement diffus. Les données proviennent des sources suivantes :

- Projet de Cartographie numérique des sols de Wallonie (PCNSW): types de sol, principaux types de sol, drainage des sols, texture des sols, charge caillouteuse des sols, aptitudes des sols, contraintes des sols à l'épandage d'effluents organiques, unités géomorphopédologiques principales, secteurs de l'espace rural, districts de l'espace rural...⁶⁸ ;
- Projet de Cartographie numérique de l'Occupation du sol en Wallonie (PCNOSW): carte de l'occupation du sol selon niveau de légende 1 à 5⁶⁹ ;
- Projet ERosion-RUISselement-SOL (ERRUISSOL): classes de pente, axes d'écoulement concentré, risques de ruissellement diffus, risques d'érosion diffus...⁷⁰ ;
- Système intégré de gestion et de contrôle (SIGEC): parcellaire agricole⁷¹.

6.1. Ruissellement diffus

Une pluie météorique P_T se décompose en une pluie brute P_B et une partie interceptée I , notamment par les plantes (cf. Annexe §1)

$$P_T = P_B + I$$

La pluie brute P_B , peut s'infiltrer (F) dans le sol et percoler vers les nappes phréatiques, ruisseler (P_E) vers le réseau hydrologique, être stockée en surface (St) ou renvoyée vers l'atmosphère par évapotranspiration (ETR). Toutes ces grandeurs sont exprimées, soit en volume (m³), soit en hauteur de lame d'eau (m³ha⁻¹ ou mm).

$$P_B = R + F + St - ETR$$

⁶⁸ PCNSW, projet du Gouvernement wallon (GW VIII / 2007 / Doc.58.12 / 12.07 / B.L & GW VII / 2000 / Doc.1331 / 07.12 / JH.) © SPW-DGO3-DGARNE

⁶⁹ PCNOSW, projet du Gouvernement wallon (GW VIII / 2005 / Doc.1022 / 28.04 / B.L.) © SPW-DGO3-DGARNE

⁷⁰ ERRUISSOL, projet du Gouvernement wallon (GW VIII/ 2005 / 26.05 / Doc.1145.01 / B.L. & GW VIII / 2005 / 26.05 / Doc.1145.02 / B.L.) © SPW-DGO3-DGARNE

⁷¹ SIGEC, Système Intégré de Gestion et de Contrôle © SPW-DGO3-DGARNE

Le ruissellement R est formé de trois parties : un ruissellement ou écoulement de surface, considéré comme rapide $E_{Surf, Rap}$, un ruissellement ou écoulement hypodermique rapide $E_{Hypo, Rap}$ et un écoulement hypodermique lent $E_{Hypo, Lent}$.

$$R = E_{Surf, Rap} + E_{Hypo, Rap} + E_{Hypo, Lent}$$

Le ruissellement direct (ou pluie efficace en hydrologie) P_E est constitué du ruissellement de surface et du ruissellement hypodermique rapide (cf. Annexe § 3.5.), ce dernier occupant une profondeur de sol de trois centimètres environ. Le ruissellement rapide s'écoule soit d'une manière diffuse, soit d'une manière concentrée.

$$P_E = E_{Surf, Rap} + E_{Hypo, Rapide}$$

Le **ruissellement diffus** (« sheet flow »), qui est une forme du ruissellement direct, s'écoule sur la partie supérieure des petits bassins versants dépourvus de cours d'eau permanent (bassins versants d'ordre zéro ou « dry valley morphology catchment »), généralement d'une superficie de quelques hectares, sur une largeur maximale d'une centaine de mètres dans le sens de la pente. Dans une pâture ou un champ, il se présente sous forme de multiples filets d'eau qui débordent des flaques logées dans les dépressions faisant partie de la rugosité du sol. Les ruisselets suivent la pente générale, ou les sillons, et se font ou se défont au gré des mottes de terre ou des touffes d'herbe. Ils contribuent à l'érosion. La caractéristique principale du ruissellement est de ne pas se concentrer dans des chenaux au tracé permanent, à l'exception peut-être des sillons laissés par les outils agricoles.

Le ruissellement qui finit par converger dans des traces de pneus, rigoles, fossés, chemins thalwegs, etc.... forme le ruissellement concentré.

Le risque d'érosion est une conséquence du risque de ruissellement.

Voici ce qu'en écrit le Pr. S. Dautrebande, une des chevilles ouvrières du projet ERRUISSOL.

« En vue de remédier aux excès de pertes en sol, il est proposé, à l'échelle du petit bassin versant concerné de combiner d'une part des **mesures antiérosives de type agronomique**, permettant de limiter globalement l'érosion des terres elles-mêmes, d'autre part des mesures d'hydraulique douce permettant une maîtrise améliorée du ruissellement et des flux boueux résiduels en particulier lors d'événements pluvieux exceptionnels.

Les mesures de type agronomique permettent de limiter l'érosion 'à la source', moyennant des mesures liées d'une part à la couverture des sols et d'autre part des mesures portant sur le travail du sol lui-même.

Les aménagements d'hydraulique douce nécessitent un dimensionnement et une localisation appropriés ; leur bon fonctionnement demande un entretien régulier. Les modalités proposées [par le 'Guide méthodologique'] combinent des effets de rétention des sédiments et de transfert des eaux de ruissellement »⁷².

Dans le cadre de ce mémoire, limiter l'érosion à la source, ce sera d'abord réduire le ruissellement diffus en agissant au niveau de la couverture et du travail du sol. On y reviendra plus tard.

La cartographie des sols publiée par la Région wallonne permet une évaluation des zones à risque de ruissellement diffus dans le sous-bassin versant de Tubize ville. Elle est issue du calcul, pixel par pixel⁷³, des coefficients de ruissellement pour une classe d'occupation du sol déterminée et pour des pluies d'une heure d'intensité variable.

La cartographie est basée sur la méthode SCS développée par le US Soil Conservation Service en 1972, actuellement le US Natural Resource Conservation Service⁷⁴.

⁷² S. Dautrebande, Projet ERRUISSOL, *op. cit.*

⁷³ La dimension du pixel utilisé pour la cartographie est de = 10X10 m, soit un are

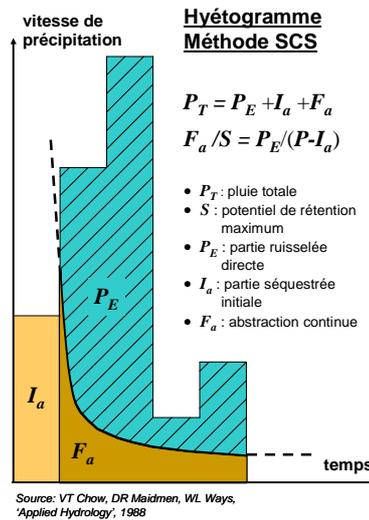
⁷⁴ Le *US Soil Conservation Service* a été créé en 1935 suite à la catastrophe écologique et sociale du « Dust Bowl » qui a durement frappé les petits agriculteurs des Etats des Grandes Plaines (KS, TX, CO OK, NM) au début des années trente. Le *Natural Resource Conservation Service*, qui est son successeur, est une agence fédérale dépendant du Secrétariat

6.2. Méthode SCS

6.2.1. Hypothèse de base^{75, 76, 77}

La méthode part de la constatation que la hauteur du ruissellement direct P_E est toujours inférieure à celle de la pluie météorique P_T ⁷⁸ et que l'infiltration F_a - une fois déduite la partie séquestrée initialement I_a avant que n'apparaissent les flaques de saturation ($F = F_a + I_a$) - est toujours inférieure à un potentiel maximum de rétention S , le paramètre de rétention. (fig. 40)

fig. 40



L'hypothèse du US SCS stipule que le rapport entre les deux quantités réelles est égal au rapport entre les deux quantités potentielles, soit

$$F_a/S = P_E/(P_T - I_a),$$

et d'après le principe de continuité,

$$P = P_E + I_a + F_a.$$

Après avoir étudié de nombreux bassins versants, le Soil Conservation Service a constaté que

$$I_a = 0,2*S.$$

Sur cette base

$$P_E = (P_T - 0,2*S)^2/(P_T + 0,8*S)$$

où P_E , P_T et S sont exprimés en pouces US.

Les mêmes études de bassins ont permis l'évaluation des P_T et P_E . On en a déduit un nombre sans dimension compris entre 0 et 100, le « curve number » CN , lié au paramètre de rétention S .

$$S = (1.000/CN) - 10$$

National à l'Agriculture des Etats-Unis (USDA). Depuis son origine, il s'est distingué dans la conservation du sol, de l'eau et d'autres ressources naturelles en partenariat avec les agriculteurs et les propriétaires terriens des Etats-Unis.

⁷⁵ V.T. Chow, D.R. Maidment, W.L. Ways, 'Applied Hydrology', Mc Graw-Hill, 1988

⁷⁶ A. Degré, 'Hydrologie Générale', FUSAGx, 2008

⁷⁷ S. Dautrebande, *op. cit.* & 'Cartographie des zones à risque de ruissellement et d'érosion en Région wallonne : Méthodologie et cas pilotes', Fascicule 1, RW-DGA-Division de la gestion de l'espace rural, 2003

⁷⁸ Dans ce chapitre, l'interception I qui limite le ruissellement direct P_E n'apparaît pas en tant que telle. Mais elle est bien présente car on en tient compte implicitement au niveau du « curve number » CN qui dépend du type de culture.

Pour les surfaces imperméables ou les masses d'eau, $CN = 100$. Pour les surfaces naturelles, $CN < 100$.

CN et S dépendent de

- la nature des sols, classés par groupes hydrologiques de sols selon leur capacité de drainage,
- les conditions d'humidité préalable du sol,
- les pentes et
- la classe d'occupation des sols, par exemple cultures sarclées ou non sarclées.

Pour différentes hauteurs P_T de pluies de projet, la méthode SCS permet de calculer P_E et le coefficient de ruissellement diffus correspondant à cette situation $C_r = P_E/P_T$, appelé également production de ruissellement.

6.2.2. Pluie de projet

Quatre hauteurs des précipitations de projet sont choisies en fonction de la directive « Inondations » (2007/60/EC) et son application en Région wallonne par le plan PLUIES. Elles sont présentées dans le tableau 14.

Tableau 14. Hauteurs des pluies de projet utilisées pour la cartographie des zones à risque de ruissellement diffus

Temps de retour T (ans)	25	50	100	Pluie exceptionnelle ($T > 200$ ans)
Durée d de la pluie (h)	1	1	1	1
Hauteur P_T précipitée (*) (mm)	34	39	44	60

(*) Courbes IDF d'Uccle

6.2.3. Groupes hydrologiques de sols

La méthode SCS classe les sols par groupes hydrologiques, notés A, B, C et D, en fonction de leur capacité décroissante d'infiltration naturelle.

En pédologie, un sol est classé (série principale) en fonction de la texture, du drainage, du développement de profil et de la charge en éléments grossiers ; interviennent également, entre autres, la nature du substrat et ses phases de profondeur. Le tableau 15 résume les principales caractéristiques des groupes hydrologiques de sols utilisés par la méthode SCS⁷⁹.

⁷⁹ V.T. Chow, 1964 ; D.R. Maidment, 1993

Tableau 15 Classification des sols nus par groupe hydrologique en fonction de leur capacité d'infiltration (*)

groupes hydrologiques	caractéristiques des sols	nature des sols	capacité limite d'infiltration des sols nus (mm.h ⁻¹)	drainage
A	faible potentiel de ruissellement	sols sableux contenant une faible fraction de limon et d'argile (moins de 15%) et loess profonds (de 75 à 150 cm) à vitesse d'infiltration de base élevée	7,5 à 12 élevée	drainage excellent à bon
B	potentiel de ruissellement relativement faible	sablo-limoneux et loess moins profonds (de 50 à 125 cm) de texture moyennement grossière à moyennement fine (moins bien structurés que le groupe A)	4 à 7,5 modérée	sols bien à moyennement bien drainés
C	potentiel de ruissellement assez élevé	sols sablo-limoneux superficiels (de 15 à 75 cm) et limons argileux, à faible teneur en matières organiques et à haute teneur en argiles et colloïdes, de texture moyennement fine à fine ; contiennent souvent une couche imperméable à faible profondeur	1 à 4 relativement faible	drainage modéré
D	potentiel de ruissellement très élevé	teneur élevée en argiles gonflantes ou sols superficiels (moins de 75 cm) reposant sur une couche imperméable enfouie à faible profondeur ; inclut également certains sols salins	< 1 très faible capacité d'infiltration	drainage très médiocre (nappe permanente à faible profondeur)

(*) Source: V.T. Chow, 1964 ; D.R. Maidment, 1993

6.2.4. Humidité préalable moyenne des sols

L'humidité antérieure du sol favorise le ruissellement dès le début de l'événement de pluie. On en tient compte dans le calcul du « curve number » *CN*.

Celui-ci est dépendant de la condition d'humidité préalable, AMC (« antecedent moisture condition »), elle-même fonction de la saison et de la hauteur d'eau totale précipitée durant les 5 jours antérieurs.

Le tableau 16 classe les AMC et les différents *CN* selon les conditions météorologiques antérieures et les saisons.

Tableau 16 Groupes de condition d'humidité préalable (AMC) et du « curve number » *CN*
(1)

groupe AMC	somme des précipitations P_T durant les 5 jours précédents (mm)		<i>CN</i>	état du sol	calcul de <i>CN1</i> et <i>CN3</i> en fonction de <i>CN2</i>
	morte-saison	saison de croissance			
I	$P_T < 13$	$P_T < 36$	<i>CN1</i>	sec	$CN1 = \frac{4,2 * CN2}{10 - 0,058 * CN2}$
II	$13 < P_T < 28$	$36 < P_T < 53$	<i>CN2</i>	humidité moyenne, aux environs de la capacité au champ (2)	
III	$P_T > 28$	$P_T > 53$	<i>CN3</i>	humide, au voisinage de la saturation des sols	$CN3 = \frac{23 * CN2}{10 + 0,13 * CN2}$

(1) Source : Soil Conservation Service, 1972, table 4.2, p 4.12

(2) Humidité à la capacité au champ : teneur maximale en eau non mobilisable par la seule gravité (D. Baize, 'Guide des analyses en pédologie', INRA, 2000)

6.2.5. Pentes

Les valeurs de $CN2$ (humidité préalable moyenne) obtenues par les tables⁸⁰ sont valables pour une pente de 5%.

Un classement de $CN2$ a été établi en fonction de cinq classes de pente⁸¹ :

Classe de pente	Valeur	Caractérisation
I	<1%	terrain plat
II	1 - 5%	faible pente
III	5 – 10%	forte pente
IV	10 – 20%	pente raide
V	>20%	pente très raide

6.2.6. Occupation des sols

CN varie avec l'occupation des sols et selon les méthodes ou les pratiques agricoles. Par exemple, un sol du groupe hydrologique A, travaillé avec des méthodes conservatrices et donc de bonnes conditions hydrologiques, aura, selon qu'il est occupé par une culture sarclée, non sarclée ou une pâture, respectivement un $CN2$ de 67, 63 et 39.

D'une manière générale, pour un groupe hydrologique de sols donné, CN décroît en fonction de la classe d'occupation dans l'ordre suivant :

CN : culture sarclée > culture non sarclée > pâture > prairie dense

6.3. **Étude du ruissellement diffus dans le bassin de Tubize ville**

6.3.1. Ressources et outils

Une licence d'utilisation signée entre l'ULB/IGEAT et le SPW- DGO3-DGARNE nous a permis de disposer des ressources utiles pour l'étude⁸². Toutes les données sont sous forme de fichiers électroniques exploitables sur plateforme SIG⁸³. Elles sont géoréférencées selon le système Lambert belge 1972 et peuvent être croisées entre elles.

- Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW).

La CNSW est une carte numérique au format vectoriel des sols de Wallonie, établie à partir de planchettes éditées au 1/20.000^{ème} (levées au 1/5.000^{ème} par taraudage, deux par hectare). Elle couvre 16.000 km² de la superficie wallonne, 600.000 plages de sols (unités cartographiques) et présente, pour 19 associations de sols, 6.000 sigles pédologiques différents. Elle permet de connaître en tout point du territoire wallon les principales caractéristiques du sol : texture, drainage... et de classer les sols par groupes hydrologiques.

⁸⁰ V.T. Chow, 1964

⁸¹ Sprenger, 1978 ; d'après les classe de valeurs de $CN2$, établies en fonction des pentes et des groupes hydrologiques (tableau à 2 entrées) publiées par Sprenger, nous estimons que $CN2$ dépend de la pente selon :

$$CN2_i = 3,29 * \ln i + CN2_5 - 5,29, \text{ où } CN2_5 \text{ correspon à une pente à 5\% et } CN2_i \text{ à une pente de } i \%$$

⁸² Le sous-bassin versant associé de Tubize ville est formé des bassins associés aux masses d'eau suivantes : la partie I de la Senne (SN01R), le Stincup-Lobbecq (SN02R), le Coeurcq (SN03R) et la partie II de la Senne (SN10R) ; l'ensemble est couvert par les cartes topographiques IGN n^{os} 38/4, 38/7, 38/8, 39/1, 39/2, 39/5, 45/4 et 46/1 (la carte 39/2 n'a pas été fournie)

⁸³ Un SIG ou système d'information géographique est un outil informatique permettant de saisir, de manipuler et de visualiser des informations géographiques en exploitant des bases de données ad hoc. (ESRI France, portail Internet) Il permet en particulier de croiser (« clipser ») des fichiers de données géoréférencés, par exemple le plan cadastral et les déclarations de l'assolement fait par les agriculteurs dans le cadre des subventions de la PAC. (ESRI France, portail Internet)

- Carte numérique d'occupation des sols de Wallonie (CNOSW).

La CNOSW est une base de données cartographique et numérique au format vectoriel relative à l'occupation et utilisation du sol. La légende de la CNOSW se base sur la légende CORINE Land Cover, hiérarchisée en trois niveaux. L'échelle de référence de la CNOSW a été fixée à 1/10.000. La banque de données est constituée d'une couche de base, le fichier PLI, ou plan de localisation informatique. Le PLI est croisé avec la couche thématique du parcellaire agricole SIGEC (Système d'information géographique et cartographique) qui donne l'occupation du sol de la parcelle en fonction de la déclaration de l'agriculteur. Pour le PLI et le SIGEC, nous avons disposé des versions 2001, 2003 et 2005 (réf. : COSW_v1_01, COSW_v1_03, COSW_v1_05).

- Cartographie des zones à risque de ruissellement diffus

Elles sont établies sur base de la méthode SCS largement validée en Région wallonne. La cartographie des zones à risque de ruissellement diffus représente le taux (ou coefficient) de ruissellement potentiel sur le territoire wallon pour une pluie de projet définie par les courbes IDF de la station d'Uccle (durées d = 1h et temps de retour T de 25, 50 et 100 ans et une pluie extraordinaire de $P_T = 60$ mm;) et selon l'occupation du sol de 2005 (COSW, DGO3-FUSAGx). Cette cartographie qui permet de mettre en évidence des zones productrices de ruissellement est réalisée pour les terres agricoles et forestières. Elle ne couvre pas les zones urbanisées. Elles ne prennent pas non plus en compte les ouvrages d'art pouvant récolter les écoulements de surface. La cartographie des zones de ruissellement diffus est établie au format « raster », la taille des pixels étant de 10X10 m. Elle reprend les valeurs suivantes pour le coefficient de ruissellement C_r (champ 'Ruis_diffus') : non cartographié ou non-respect de la validité du modèle / < 5 % / entre 5 et 20 % / entre 20 et 40 % / > 40 %. Comme indiqué, il n'existe qu'une version 2005 de cette cartographie. Nous avons eu accès aux fichiers concernant les pluies de projet avec temps de retour T de 50 et 100 ans, ainsi qu'à la pluie de $P_T = 60$ mm (réf. : rd_25ans_1h, rd_50ans_1h, rd_100ans_1h, rd_60mm_1h)⁸⁴.

- Ressources et outils informatiques de l'Unité d'Hydrologie et hydraulique agricole (Génie rural et environnemental, FUSAGx)

L'Unité de la FUSAGx a mis à notre disposition la plateforme informatique ArcGIS⁸⁵ et les données du MNT (Modèle numérique de terrain) pour exploiter les fichiers de la DGARNE. Le MNT a permis de définir avec précision le sous-bassin versant topographique et de calculer la répartition des pentes.

6.3.2. Résultats

6.3.2.1. Carte des groupes hydrologiques de sols

Le tableau 17 présente la répartition des surfaces des différents groupes hydrologiques de sols dans le sous-bassin. En plus des terrains agricoles d'autres classes d'occupations, comme des territoires artificialisés ou des bois, sont pris en compte. La surface des zones non cartographiées est indiquée.

⁸⁴ Le fichier de données concernant la pluie de $t = 25$ ans (rd_25ans_1h) n'a pas pu être ouvert.

⁸⁵ ArcGIS © est un système de d'information géographique développé par ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.) basée à Redlands (CA), USA

Tableau 17 Répartition des groupes hydrologiques de sols dans le sous-bassin versant de Tubize ville

groupe hydrologique	nombre de pixels par groupe (*)	% de la surface du sous-bassin
A	901.461	39,2
B	1.166.156	50,7
C	33.887	1,5
non cartographié	198.666	8,6
Totaux	2.300.170	100,00

(*) Source : CNSW et Unité d'Hydrologie et hydraulique agricole (FUSAGx)

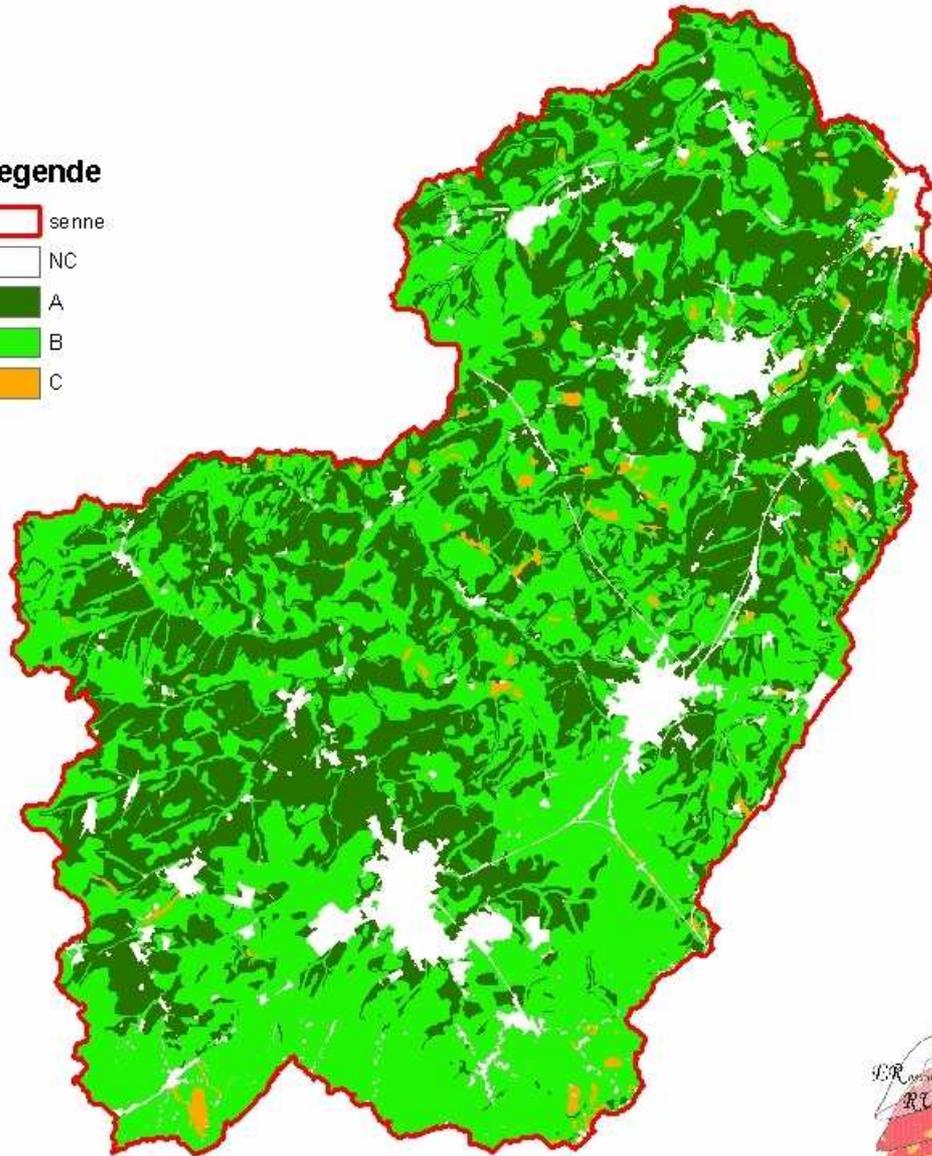
La figure 41 illustre la localisation des groupes hydrologiques de sols dans le sous-bassin.

fig. 41

Groupes hydrologiques de sols Bassin de la Senne à Tubize

Legende

-  senne
-  NC
-  A
-  B
-  C



gembloux
faculté universitaire
des sciences agronomiques



0 1 250 2 500 5 000
Meters

6.3.2.2. Carte des pentes

Le tableau 18 présente la répartition des classes de pentes ainsi que leur somme pondérée. La cartographie des pentes a été réalisée pour l'ensemble du bassin, donc également pour les parties non agricoles : territoires artificialisés, forêts et zones non cartographiées au niveau de la CNSW.

Tableau 18 Répartition des pentes dans le sous-bassin-versant de Tubize ville

classe de pentes (%)	moyenne (%)	nombre de pixels par classe (1)	% de la surface du sous-bassin
< 1,0	0,5	166.663	7,3
1,0 – 3,0	2,0	702.174	30,5
3,0 – 5,0	4,0	598.381	26,0
5,0 – 7,0	6,0	386.079	16,8
7,0 – 10,0	8,5	255.750	11,1
10,0 – 15,0	12,5	116.713	5,1
> 15,0	16,0	74.412	3,2
Totaux		2.300.170 (2)	100,0
Somme pondérée	4,8		

(1) Source : MNT et Unité d'Hydrologie et d'Hydraulique agricole (FUSAGx)

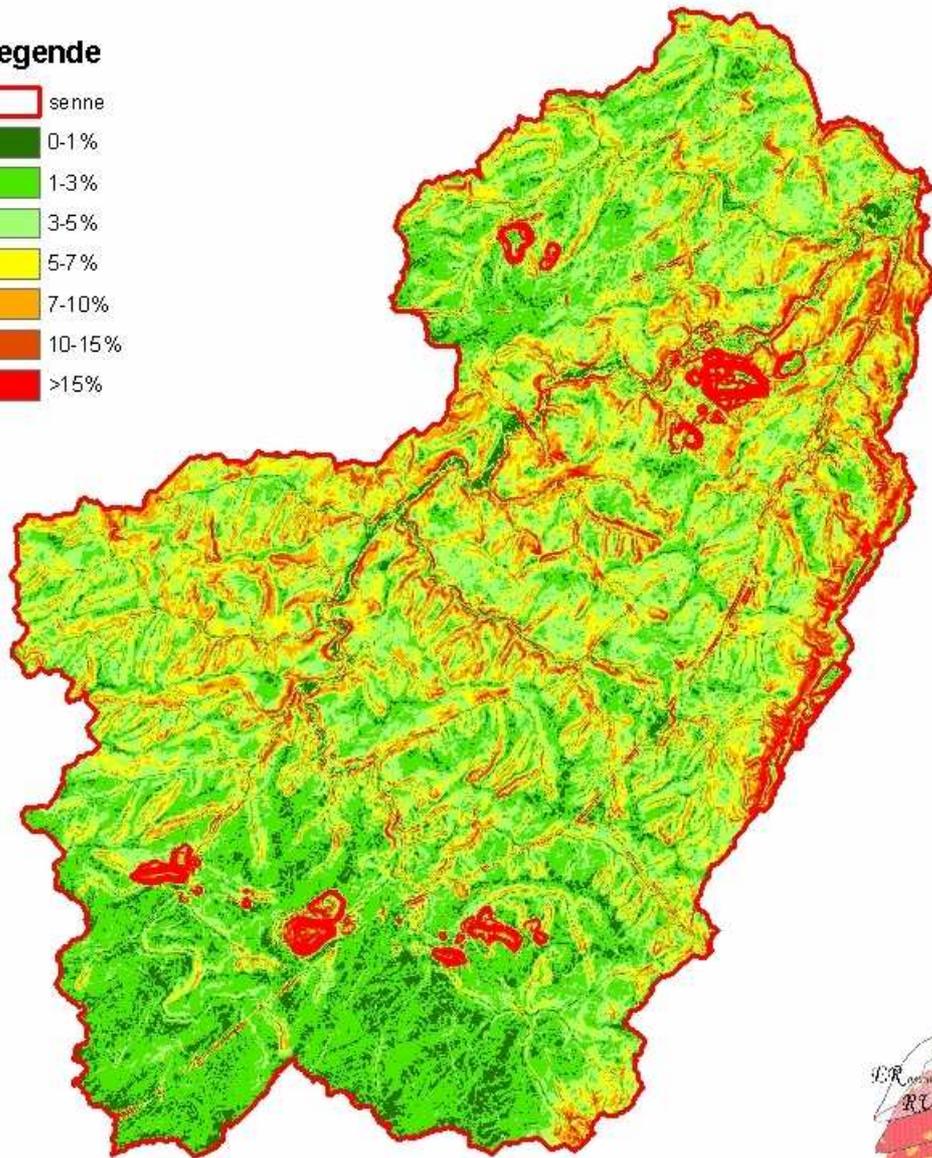
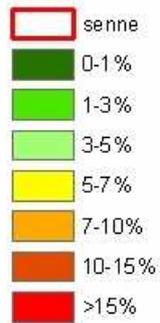
(2) La surface de 230,017 km² du sous-bassin versant de Tubize ville est obtenue par détermination topométrique sur plateforme ArcGIS de l'Unité

La figure 42 montre la carte de répartition des pentes dans le sous-bassin.

fig. 42

Classes de pentes Bassin de la Senne à Tubize

Legende



gembloix
faculté universitaire
des sciences agronomiques



0 1 250 2 500 5 000
Meters

6.3.2.3. Carte d'occupation du sol

Le tableau 19 présente l'assolement des parcelles agricoles pour 2001, 2003 et 2005. La nomenclature est celle utilisée par le Projet de Cartographie numérique de l'occupation du Sol en Wallonie, version septembre 2007 (Tableau 20). Selon cette classification, les jachères font partie des terres arables. Mais parce qu'elles constituent une couverture herbeuse, nous les avons intégrées, pour des raisons hydrologiques, dans les surfaces herbeuses.

Tableau 19. Sous bassin de Tubize ville. Répartition de l'assolement entre cultures sarclées, non sarclées, prairies et jachères

Niveau 1	2. TERRITOIRES AGRICOLES							
Niveau 2	21. TERRES ARABLES			21. SURFACES ENHERBÉES				
Niveau 3	211. TERRES ARABLES			231. PRAIRIES PERMANENTES		232. PRAIRIES TEMPORAIRES		
Niveau 4	2111. Cultures annuelles			2311. Prairies permanentes nues	2312 Prairies permanentes avec présence d'éléments agri-environnementaux			
Niveau 5	21111. Cultures sarclées	21112. Cultures non sarclées	21113. Jachères					
	cult. sarcl.	cult. non-sarcl.	prairies et jachères					
2001	cosw sarclé_01	cosw non-sarclé_01	cosw jachère_01	cosw prairie-perm-nue_01		cosw prairie-perm_01	cosw prairie-temp_01	
surface occupée par classe (ha)	5.847,65	5.295,56	5.36,55	1.229,92		4.514,40	288,21	
somme des surfaces (ha)	5.847,65	5.295,56					6.569,08	
% surface du bassin	25,21	22,83	2,31	5,30		19,46	1,24	
total (ha)								17.712,30
% surface du bassin	25,2	22,8					28,3	76,3
2003	cosw sarclé_03	cosw non-sarclé_03	cosw jachère_03	cosw prairie-perm-nue_03	cosw prairie-perm-MAE_03		cosw prairie-temp_03	
surface occupée par classe (ha)	5.536,86	5.698,49	567,31	5.671,36	79,26		384,89	
somme des surfaces (ha)	5.536,86	5.698,49					6.702,83	
% surface du bassin	23,87	24,56	2,44	24,45	0,34		1,66	
total (ha)								17.938,18
% surface du bassin	23,9	24,5					28,9	77,3
2005	cosw sarclé_05	cosw non-sarclé_05	cosw jachère_05	cosw prairie-perm-nue_05	cosw prairie-perm-MAE_05		cosw prairie-temp_05	
surface occupée par classe (ha)	5.377,08	5.961,65	501,46	5.132,36	361,93		369,61	
somme des surfaces (ha)	5.377,08	5.961,65					6.365,37	
% surface du bassin	23,08	25,59	2,15	22,03	1,55		1,58	
total (ha)								17.704,10
% surface du bassin	23,1	25,6					27,3	76,0

Tableau 20 Terres agricoles : nomenclature et symbolique

Symboles et désignation des niveaux 1 à 5 (*)	Nomenclature des fichiers (2001–2005) COSW_v1_01, _03 et _05
2. TERRITOIRES AGRICOLES	niv.eau 3 niv.eau 4 niv.eau 5
21. TERRES ARABLES	
211. TERRES ARABLES	
2111. Cultures annuelles	
21111. Cultures sarclées	COSW sarclé_0i
21112. Cultures non sarclées	COSW non-sarclé_0i
21113. Jachères	COSW jachère_0i
2112. Cultures maraîchères et horticoles	
2113. Pépinières et sapins de Noël	
21131. Pépinières	
21132. Sapins de Noël	
22. CULTURES PERMANENTES	
(221. VIGNOBLES)	
222. VERGERS PRODUCTIFS	
2221. Vergers hautes tiges	
2222. Vergers basses tiges	
23. SURFACES ENHERBÉES	
231. PRAIRIES PERMANENTES	COSW prairie-perm_01
2311. Prairies permanentes nues	COSW prairie-perm-nue_0i
2312. Prairies permanentes avec présence d'éléments agri-environnementaux	COSW prairie-perm-MAE_0i
232. PRAIRIES TEMPORAIRES	COSW prairie-temp_0i
233. BANDES ENHERBÉES	
25. FRICHES AGRICOLES	

Source: *Projet de Cartographie Numérique de l'Occupation du Sol en Wallonie, septembre 2007*

De 2001 à 2005, la surface agricole cadastrée du sous-bassin passe de 76,3 à 76,0 %, une tendance qui conforte les observations déjà faites sur la période plus longue de 1990 à 2005 (cf. § 3.5.2), comme pour l'ensemble de la Wallonie⁸⁶. De 2001 à 2003, on assiste à une légère croissance suivie d'une nouvelle décroissance, comme pour l'ensemble de la zone limoneuse belge et pour la Wallonie⁸⁷.

Si la surface agricole globale se réduit, les terres cultivées par contre augmentent de 48 à 48,7 %. Elles le font au détriment des surfaces enherbées dans leur ensemble, qui diminuent de 28,3 à 27,3 %. Ce sont essentiellement des prairies permanentes qui disparaissent. Leur surface dans sous-bassin passe de 24,8 à 23,6 % et de 32,4 à 31 % par rapport à la surface agricole. On remarquera une légère augmentation des prairies permanentes et des jachères de 2001 à 2003.⁸⁸

Le tableau 19 indique que la répartition entre cultures sarclées et non sarclées varie peu d'une année à l'autre. La moyenne des rapports sur les trois années est pratiquement égale à l'unité⁸⁹. L'assolement reflète la succession culturelle dans le temps. On en déduit que chaque parcelle est, en moyenne et sur le long terme, occupée une année sur deux par une culture sarclée et l'autre année par une culture non sarclée (fig. 43).

⁸⁶ L. Aujean *et al.* 'L'occupation du sol en Wallonie', plaquette n°5, Ministère de la Région wallonne

⁸⁷ INS, Recensements agricoles de 2001 à 2005, Portail SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie.

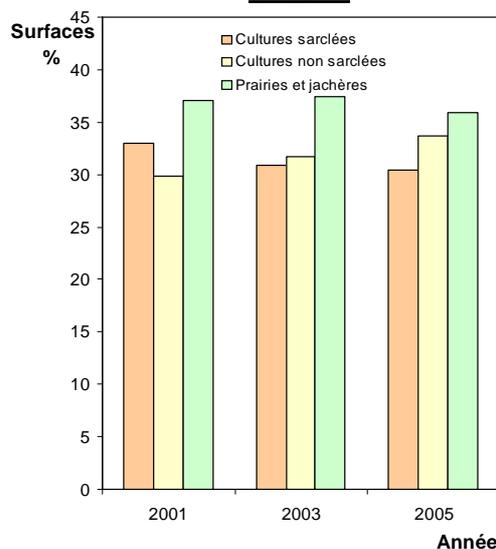
année	Surface agricole		Région Wallonne (ha)
	sous- bassin de Tubize (ha)	zone limoneuse belge (ha)	
2001	17.712	329.910	754.666
2002	-	330.505	756.567
2003	17.938	331.503	759.231
2004	-	331.864	759.772
2005	17.704	329.464	755.545

⁸⁸ « Les superficies consacrées aux pâturages permanents et déclarées comme tels dans la déclaration de superficie [pour] la campagne 2003 devront rester affectées à cet usage à partir de la campagne 2005. Cette obligation résultera de l'obligation du maintien, au niveau de la Région wallonne, d'une proportion constante entre la superficie en pâturages permanents et la superficie agricole totale. » (SPW-DGO3-DGARNE, le portail de l'agriculture wallonne

⁸⁹ $\sum (A_{sarclé} / A_{non\ sarclé}) = 0,9886$

fig. 43

**Senne. Sous-bassin versant amont
de Tubize-ville. Répartition de la SAU.
2001-2005**



La région agricole limoneuse belge à laquelle appartient le sous-bassin privilégie les spéculations bovines (lait et viande) et les grandes cultures. Dans la région qui borde la Senne aux environs de Soignies, les vallons sont occupés par des fermes de taille moyenne qui se consacrent à l'élevage. Les rotations culturales sont le froment, la betterave sucrière, l'escourgeon et le maïs. Dans les grandes fermes des plateaux qui pratiquent la grande culture, on trouvera du froment, de l'escourgeon et des betteraves sucrières en rotation. Il y a une tendance à remplacer l'escourgeon par les pommes de terre ou le ray-grass, mais on voit également apparaître d'autres spéculations comme le colza d'hiver, le lin, le maïs grain, etc. D'une manière générale, la betterave régresse au profit de la pomme de terre et de nouvelles spéculations se développent, comme les légumes en rotation. On va de plus en plus vers les cultures d'opportunité, souvent des cultures sous contrat.

L'orientation vers l'élevage bovin est plus marquée dans le sous-bassin que dans l'ensemble de la région limoneuse belge si on compare les productions fourragères. En 2007 on a consacré 13 % de la SAU à la culture du maïs fourrager⁹⁰ dans le sous-bassin, contre moins de 7,8 % dans la zone limoneuse belge (chiffre de 2005)⁹¹.

Les cartes du parcellaire agricole au nord de Soignies en 2001, 2003 et 2005 (fg. 44 à 46) montrent la répartition de l'assolement entre cultures sarclées et non sarclées. Il n'y apparaît pas d'alternance marquée d'une année à l'autre. Il faudrait pouvoir disposer de l'occupation du sol pour chaque parcelle et pour chaque année, ce que ne permettent pas de faire les fichiers disponibles.

⁹⁰ MRW – DGRNE, Fiches environnementales des communes

⁹¹ INS. En zone limoneuse belge, de 2001 à 2005 la surface du maïs fourrager décroît, tout comme les cultures fourragères dans leur ensemble, en ce y compris les prairies temporaires (pâture et fauche).

Zone limoneuse (% du total des terres agricoles)		
année	maïs (%)	total fourrage (%)
2001	8,91	11,52
2002	8,30	10,07
2003	8,37	10,05
2004	8,16	9,98
2005	7,77	9,58

fig. 44



fig. 45

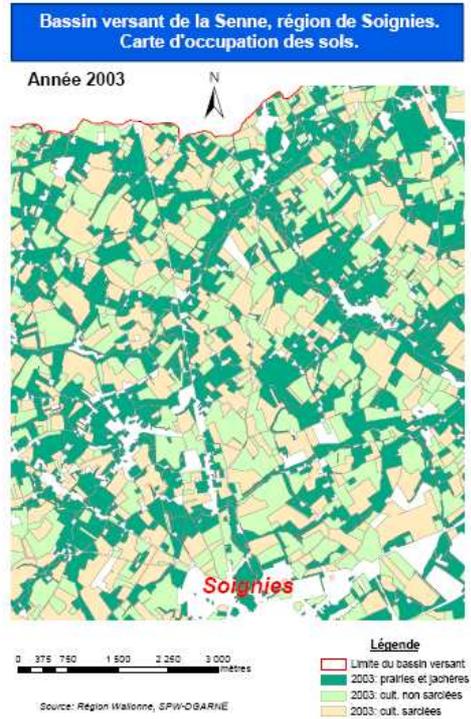
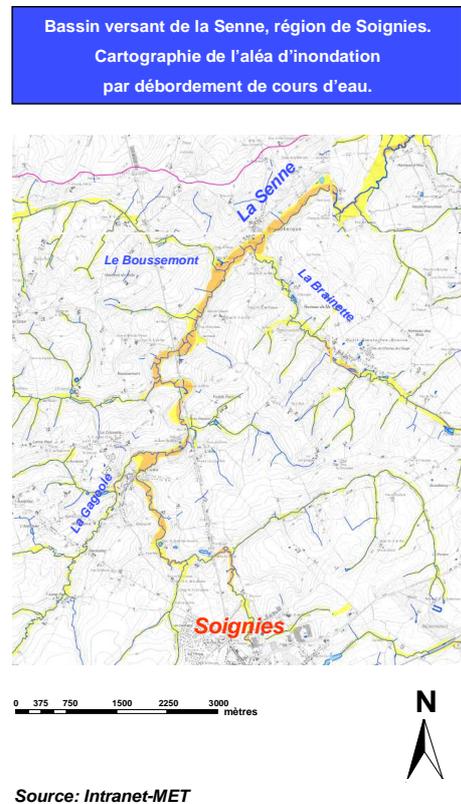


fig. 46



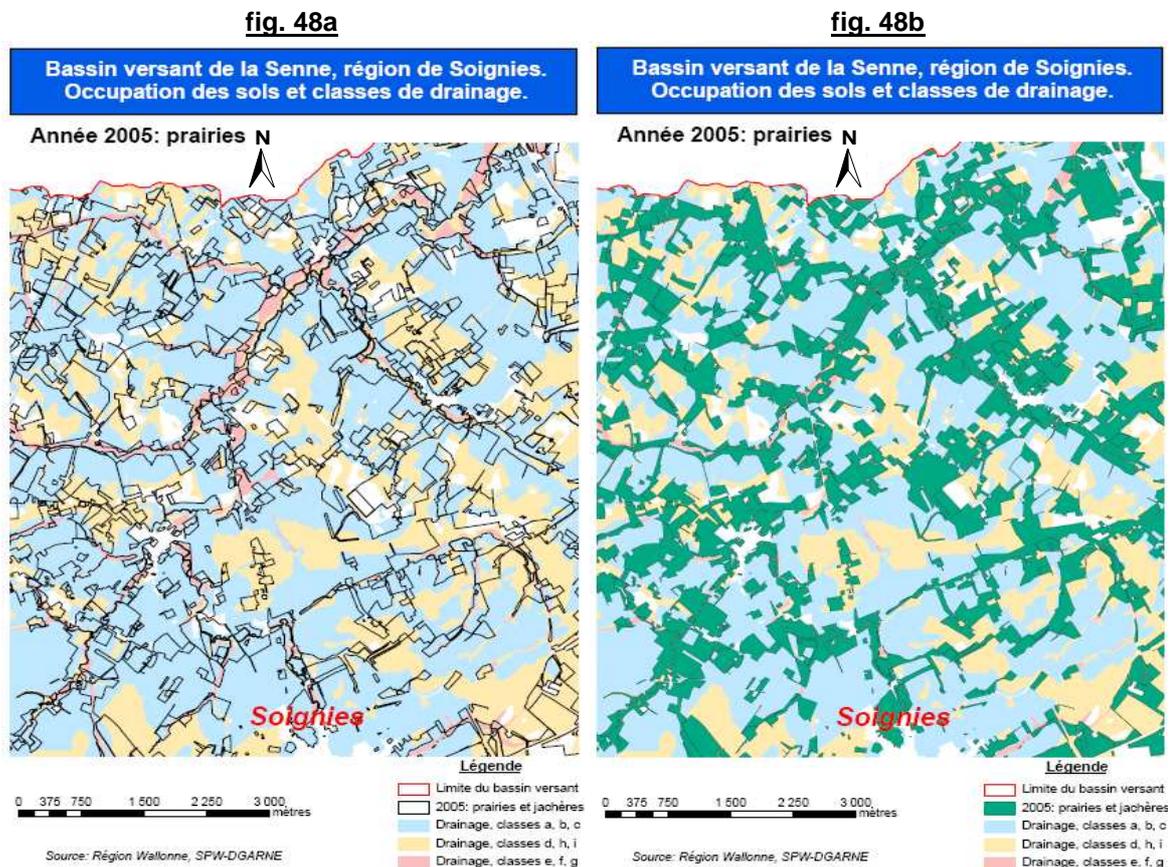
fig. 47



Les prairies forment un élément stable du paysage. Bon nombre d'entre elles occupent les zones inondables en fond de vallée le long de la Senne et le long de ses affluents comme il ressort de la comparaison avec la carte de l'aléa d'inondation (fig. 47). Mais en ce qui concerne les pâtures en

général, d'autres éléments interviennent évidemment dans le choix de l'agriculteur, comme l'accessibilité ou la proximité du corps de ferme.

La localisation des prairies de préférence sur des sols humides apparaît lorsqu'on superpose la carte des prairies à celle des classes de drainage naturel des sols pour l'année 2005 (fig. 48a et b). Sur la carte 48a, on a indiqué le contour des prairies pour mieux faire apparaître les classes de drainage du sol. Les sols à engorgement d'eau permanent y apparaissent en rosé. La carte 48b est identique à la précédente, sauf que les prairies sont indiquées en vert.



Le drainage est la capacité d'un sol à éliminer les excès d'eau du profil, tout en retenant suffisamment de celle-ci pour la croissance normale des plantes. Il est déterminé par la teneur en eau dépassant la capacité au champ et la durée de la période de saturation en eau (0-100 cm)⁹².

Des sols à engorgement d'eau permanent ne sont pas cultivables, sans compter le fait qu'elles sont exposées au risque d'inondation, et pas seulement par débordement de rivière en fond de vallée.

Le tableau 21 présente les 9 classes définies par la CSNW pour caractériser le drainage naturel des sols. Elles ont un poids important dans la détermination des groupes hydrologiques de sols et du « curve number » *CN*.

⁹² Agriculture Canada, 1973

Tableau 21 Classes de drainage naturel (*)

Classe	Description
a	drainage naturel excessif (sols très secs ; sols non gleyifiés)
b	drainage naturel légèrement excessif (dans le cas des textures Z, S, P ; sols secs) ou favorable (dans le cas des textures L, A, E, U, G ; sols non gleyifiés)
c	drainage naturel modéré (sols modérément secs ; sols faiblement gleyifiés)
d	drainage naturel imparfait (sols modérément humides ; sols modérément gleyifiés)
h	drainage naturel assez pauvre, sans horizon réduit (sols humides ; sols fortement gleyifiés, en principe avec engorgement d'eau temporaire)
i	drainage naturel pauvre, sans horizon réduit (sols très humides ; sols très fortement gleyifiés, en principe avec engorgement d'eau temporaire)
e	drainage naturel assez pauvre, à horizon réduit (sols humides ; sols fortement gleyifiés en principe avec engorgement d'eau permanent... avec zone de battement)
f	drainage naturel pauvre, à horizon réduit (sols très humides ; sols très fortement gleyifiés, en principe avec engorgement d'eau permanent... avec zone de battement)
g	drainage naturel très pauvre (sols extrêmement humides, sols réduits, en principe avec engorgement d'eau permanent... sans zone de battement)

6.3.2.4. Carte des zones à risque de ruissellement diffus

La cartographie comprend des zones de classe de risque (faible, moyen, élevé et très élevé) et de classe « zone non cartographiée ». Dans les premières se trouvent les terres agricoles et les bois. La surface cartographiée est de 19.371,99 ha. Dans la zone non cartographiée se trouvent les zones urbanisées, les routes, les lignes de chemin de fer, les carrières et les étendues d'eau, mais également certaines zones boisées, comme une partie du Bois de la Houssière par exemple. La surface non cartographiée est de 1.882,69 ha.

La surface du bassin-versant déterminé au Département d'Hydrologie et d'hydraulique agricole de la FUSAGx à Gembloux fait 19.371,99 ha ou 194 km². Quant à la surface utilisée par l'étude SEPRO, elle est de 233 km² (cf. § 4.1.1.2). Pourquoi ?

- La méthodologie utilisée pour déterminer le bassin topographique peut varier d'une étude à l'autre. A Gembloux, le bassin topographique a été déterminé sur plateforme ArcGIS à partir du Modèle numérique de terrain, une méthode extrêmement précise qui convient bien aux petits bassins versants étudiés dans le cadre du projet ERRUISSOL.
- La localisation précise de l'exutoire du sous-bassin peut varier. Pour rappel, c'est elle qui définit la ligne de partage.
- Dans les fichiers transmis par la DGO3-DGARNE concernant le ruissellement diffus potentiel, il manque une petite surface à l'extrémité nord-est du sous-bassin, celle couverte par la carte IGN 39/2. Nous estimons la surface non prise en compte à environ 5%.

Le tableau 22 et la figure 49 présentent les valeurs de coefficients de ruissellement diffus potentiel $C_{r,s}$, pondérés en fonction de l'occupation du sol dans le sous-bassin en 2005, de deux pluies de projet avec des temps de retour de 50 et 100 ans, ainsi que d'une pluie de projet exceptionnelle de 60 mm. Dans les trois cas, l'événement dure une heure.

Tableau 22. Bassin versant de Tubize ville. Risque de ruissellement diffus d'origine agricole

pluie de projet : T (1), d (2)			50 ans, 1h		100 ans, 1h		Exceptionnelle, 1h	
lame d'eau précipitée, P_T			39 mm		44 mm		60 mm	
i . classe à risque (6)	C_r , intervalle	$C_{r,i}$ valeur moyenne (3)	A_i (4)	$C_{r,i}*(A_i/A_{AGR})$ (5)	A_i	$C_{r,i}*(A_i/A_{AGR})$	A_i	$C_{r,i}*(A_i/A_{AGR})$
1. faible	< 0,050	0,025	27,30	0,007	18,43	0,005	1,22	0,000
2. moyen	0,050-0,200	0,125	62,45	0,078	57,49	0,072	40,36	0,050
3. élevé	0,200-0,400	0,300	10,09	0,030	23,63	0,071	56,85	0,171
4. très élevé	> 0,400	0,500	0,16	0,001	0,46	0,002	1,58	0,008
total pondéré				0,116		0,150		0,229

Source des données : SPW-DGO3- DGARNE/FUSAGx

(1) T : temps de retour de l'événement de pluie

(2) d : durée de la pluie

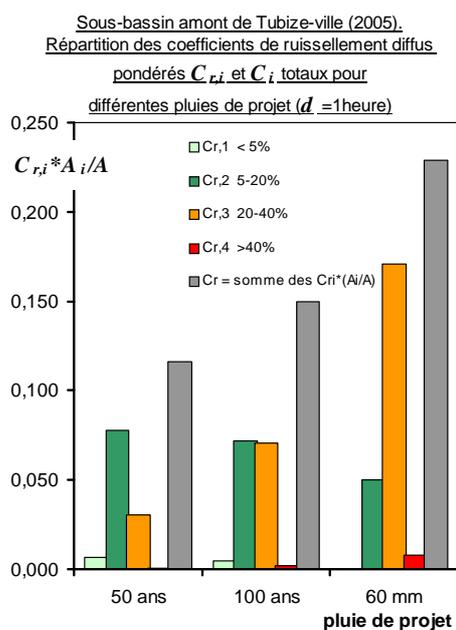
(3) $C_{r,i}$: une valeur moyenne du coefficient de ruissellement pour l'intervalle proposé de classe à risque i

(4) A_i : surface agricole de la classe de risque i

(5) A_{AGR} : surface agricole totale du sous-bassin (la surface agricole totale étudiée est de

(6) A. Degré, 'Étude hydrologique du bassin versant du Rieu de Barges à Tournai (...)', vol. 1, p 12

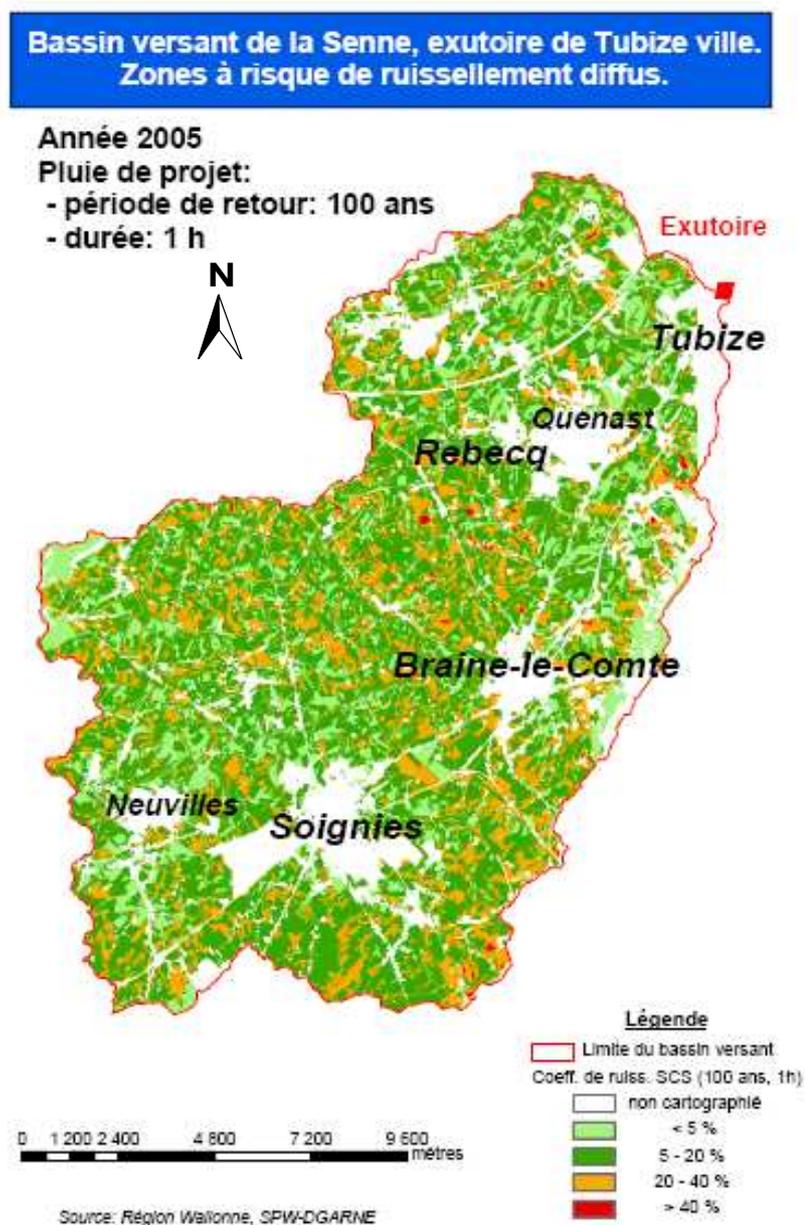
fig. 49



La carte illustre la répartition géographique des coefficients de ruissellement, exprimés en pour cent, pour une pluie centennale⁹³ (fig. 50).

⁹³ Le temps de retour $T = 100$ ans et la durée $d = 1$ h ont été appliquées par A. Degré dans 'Étude hydrologique du bassin versant du Rieu de Barges à Tournai avec détermination des solutions techniques adéquates afin de lutter contre les inondations', vol. 1, p 12.

fig. 50



Il est dès lors possible de comparer les coefficients de ruissellement calculés à partir des données du bureau d'études **SEPRO** (cf. § 52, Tableau 13) aux coefficients de ruissellement diffus d'origine agricole. (Tableau 23)

**Tableau 23. Sous-bassin versant de Tubize ville.
Coefficients de ruissellement**

Bassins exécréteurs (SEPRO) (hydrologie du bassin versant)			ERRUISSOL (FUSAGx) (ruissellement diffus d'origine agricole)		
<i>T</i> (ans)	<i>d</i> (h)	$C_r(T)$ = R/P_T	<i>T</i> (ans)	<i>d</i> (h)	$C_r(T)$ = P_E/P_T
20	24	0,094			
30	24	0,114			
50	24	0,139	50	1	0,116
100	24	0,176	100	1	0,150
-----			-----		
% [$C_r(100)-C_r(50)$] = 12 %			% [$C_r(100)-C_r(50)$] = 13 %		
			> 200	1	0,229

- (2) S.A. SEPRO/Direction des Voies d'eau non navigables, 'Bassins Écrêtements de Crues sur la Senne en Amont de Tubize – Études Avant-projet – 1re partie'
- (3) FUSAGx, ERRUISSOL 'Cartographie numérique des zones à risque de ruissellement et d'érosion des sols en Région wallonne', 2001-2003

Les coefficients de ruissellement déterminés par SEPRO et le programme ERRUISSOL/FUSAGx pour des pluies correspondant à des temps de retour de 50 et 100 ans sont du même ordre de grandeur. On note que pour les deux méthodes, l'allongement du temps de retour de la pluie cinquantennale et centennale entraîne une augmentation pratiquement identique : 12 et 13 %.

Remarques

Il faut noter que si, à l'échelle du bassin versant, le ruissellement diffus potentiel d'origine agricole et le flux du ruissellement charrié par la Senne participent du même phénomène hydrologique d'ensemble, ils en sont deux manifestations différentes. En passant de l'un à l'autre, les flux de surface nés dans les petits bassins versants agricoles se réunissent ou se délestent de diverses masses d'eau sur leur parcours. Par ailleurs, les méthodologies utilisées pour l'étude des deux phénomènes sont elles aussi différentes, car elles ont été élaborées dans le cadre de besoins spécifiques.

- Le ruissellement d'origine agricole n'est bien sûr pas le seul en cause au niveau du bassin versant de Tubize ville. Avec 14, 4% de la surface et des sols en partie imperméabilisés, les surfaces artificialisées (terrains résidentiels, espaces d'activité économique, réseau routier et ferroviaire...) contribuent proportionnellement plus au ruissellement que les terres agricoles ou les surfaces boisées. Le coefficient de ruissellement global est nécessairement supérieur au coefficient de ruissellement diffus d'origine agricole.
- Les carrières sont des entreprises importantes à Ecaussines, Rebecq ou Soignies. Elles mériteraient un examen attentif de la comptabilisation, origine et destination, de leurs eaux d'exhaure (cf. § 3.3).
- La durée des pluies de projet n'est pas la même dans les deux cas. Pour le ruissellement diffus, le projet ERRUISSOL a privilégié des pluies d'une heure et de minimum 25 mm, des valeurs plus adaptées à une situation d'orage⁹⁴. On se rappellera que l'étude SEPRO a choisi une pluie de 24 heures parce que la probabilité de défaillance passe par un maximum pour cette durée (cf. § 5.2).
- Même pendant son parcours sur les terres agricoles, le ruissellement diffus ne se transfère pas nécessairement tel quel vers les axes de concentration. Il peut être accru, par exemple par des phénomènes de saturation dus à l'écoulement hypodermique lent, un reliquat d'événements pluvieux antérieurs.

⁹⁴ La durée et les temps de retour choisis pour la pluie de projet par le projet ERRUISSOL reflète sans doute la situation créée par un orage intense sur un petit bassin versant, avec des dégâts importants : eaux, perte de terre arable, coulées de boue, ravinement des champs, ... En ce qui concerne l'intensité, on estime qu'un événement orageux se produit à partir d'une pluie de 20 mm.h⁻¹.

- Le drainage agricole peut modifier les capacités de stockage et d'infiltration des sols.
- Le modèle ERRUISSOL calcule des coefficients de ruissellement sans base saisonnière, alors que, au niveau du bassin versant de Tubize ville, on a montré qu'en hiver la combinaison des hauteurs précipitées avec la durée des événements pluvieux provoque une réponse hydrologique plus importante. Ne faudrait-il pas dès lors choisir des « curve number » correspondant à l'état de saturation (AMC III) pour certains sols. Il existe des modèles qui en tiennent compte. Le tableau 24 présente des coefficients de ruissellement diffus potentiels C_r en fonction de l'occupation du sol et des mois. Le sol est un limon contenant du sable (10%) et de l'argile (10%) (« loess-derived luvisols »). On remarquera que ce sont surtout les sols nus et les cultures sarclées qui sont affectées par les variations saisonnières⁹⁵.

Tableau 24. Coefficients de ruissellement diffus potentiels C_r en fonction de l'occupation du sol et du mois (1)

Occupation du sol	Coefficient de ruissellement diffus potentiel C_r			
	Avril (2)	Juin (3)	Septembre (4)	Décembre (5)
Bois	0,015	0,015	0,015	0,015
Réseau routier	0,500	0,500	0,500	0,500
Vergers	0,020	0,020	0,020	0,020
Cultures clairsemées (c. sarclées)	0,100	0,300	0,150	0,300
Cultures denses (c. non sarclées)	0,030	0,030	0,030	0,030
Surfaces enherbées (prairies)	0,020	0,020	0,020	0,020
Sol nu	0,150	0,300	0,150	0,300

- (1) Source: Evrard O., Persoons E., Vandaele K., van Wesemael B.; *Agr. Ecosyst. Environ.* 118 (2007) 149–158 ; sol limoneux (« loess derived luvisol »), rapports massiques limon:argile:sable = 8:1:1 ; localisation : Velm (Limburg, BE) 50°46' 04,73" N et 05°07' 52,69" E, pente moyenne = 1%
- (2) après les semis de printemps
- (3) avant la récolte des cultures d'hiver et de printemps
- (4) entre la récolte d'une part du froment d'hiver (*triticum aestivum L.*) et du lin (*linum usitatissimum L.*) et d'autre part de celle des pommes de terre et des betteraves sucrières ; les sols ne sont pas labourés
- (5) après les semis d'automne ; sols peu couverts

Le ruissellement agricole et le ruissellement global à l'exutoire ne sont donc pas deux flux identiques, simplement différés dans le temps. Il s'avère néanmoins que les coefficients de ruissellement calculés ici sont du même ordre de grandeur. Ceci conforte l'appréciation faite plus haut (§ 3.6) que le ruissellement agricole joue un rôle de premier plan dans l'hydrologie générale du bassin.

Il reste à répondre à une dernière question.

Dans quelle mesure la méthode SCS peut-elle rendre compte de l'influence de changements dans l'occupation du sol sur le ruissellement agricole diffus ?

⁹⁵ Evrard O., Persoons E., Vandaele K., van Wesemael B.; *Agr. Ecosyst. Environ.* 118 (2007) 149–158. Le modèle hydrologique utilisé est le "Meshed Hydrological Model" ou MHM (Randriamahaerisoa, 1993; El Idriss et Persoons, 1997; Hang, 202). Couplé à un système d'information géographique (GIS), il est à même de simuler le flux en chaque point d'un petit bassin agricole, et in fine à l'exutoire, à partir des pentes, direction de flux et couverture du sol. Ce modèle s'apparente au modèle EPICgrid développé par la HHA-FUSAGx (Gembloux)

6.4. Influence de l'occupation du sol sur le ruissellement diffus d'origine agricole dans le sous-bassin de Tubize ville

6.4.1. Méthode

Une méthode simplifiée est utilisée pour calculer les « curve number » **CN** à l'échelle du bassin. Trois classes d'occupation des sols sont prises en compte : cultures sarclées, cultures non sarclées et prairies.

Le rapport des surfaces de cultures sarclées et non sarclées est considéré comme fixe et égal à celui de la CNOSW de l'année de référence 2005 : **0,9010**. Pour cette année-là, les coefficients de ruissellement potentiels déterminés par la méthode ERRUISSOL avec trois pluies de projet sont connus (cf. § 6.3.2.4) et peuvent donc être comparés aux résultats de la méthode simplifiée. L'hypothèse d'un rapport de surface fixe entre cultures sarclées et non sarclées est acceptable, car il varie peu d'une année à l'autre (+/- 10%). Pour rappel, la moyenne des années 2001, 2003 et 2005 est proche de l'unité (cf. § 6.3.2.3).

On considère que les conditions d'humidité préalable (AMC) sont celles de la capacité au champ, ce qui permet l'utilisation de **CN2**.

La somme pondérée des pentes est 4,8 % et les **CN2** peuvent être lus directement dans les tables définies pour une pente de 5%⁹⁶. Le fait de considérer une pente moyenne est une simplification. Dans la méthode ERRUISSOL par contre, les **CN2** sont déterminés par rapport à la pente en chaque pixel de 10X10 m du territoire⁹⁷.

Les « curve number » **CN2** sont présentés par classes de culture ou d'occupation du sol en fonction du groupe hydrologique de sols dont la répartition été présentée (Tableau 17). L'hypothèse de travail est que les cultures sarclées et non sarclées sont implantées dans de conditions hydrologiques médiocres, c'est-à-dire sans méthodes conservatrices particulières (« poor hydrological conditions »). Pour les prairies nous envisageons trois scénarios différents : médiocre, moyenne et bonne qualité hydrologique⁹⁸ (Tableau 25).

Tableau 25. « Curve number » **CN2 par classe d'occupation du sol et par groupe hydrologique de sols (*)**

Occupation du sol	Prairies			Cultures sarclées	Cultures non sarclées
	bonnes	moyennes	médiocres		
Conditions hydrologiques d'implantation et d'entretien				médiocres	médiocres
Groupe hydrologique de sols					
A	39	49	68	72	65
B	61	69	79	81	76
C	74	79	86	88	84

(*) Source : Chow V.T., *Handbook of Applied Hydrology*, Mc. Graw-Hill Ed. (1963)

⁹⁶ Chow V.T., (1964).

⁹⁷ La méthode ERRUISSOL calcule pour chacun des 1.748.930 pixels que compte la partie cartographiée du sous-bassin un **CN2** à partir d'un groupe hydrologique de sol, une occupation du sol et une pente.

⁹⁸ Le US SCS a donné une définition de la terminologie utilisée pour les différentes couvertures du sol. Une prairie (« pasture » ou « range ») médiocre est fortement pâturée et possède une couverture herbeuse de moins de 50%. Une prairie moyenne est modérément pâturée et est couverte de 50 à 75%. Une bonne pâture est légèrement pâturée et sa couverture est supérieure à 75%. Une **bonne prairie permanente** (« permanent meadow »), possède une couverture herbeuse de 100% et des **CN2** de respectivement **30, 58 et 71** pour les groupes hydrologiques de sol **A, B et C** (pas repris ci-dessus). En ce qui concerne les rotations, elles vont, d'un point de vue hydrologique, de médiocre à bon en proportion de la quantité de végétation dense qu'elles incorporent. Des rotations médiocres ne contiennent que des cultures sarclées, non sarclées et des terres sans couvertures en diverses proportions. De bonnes rotations contiennent une proportion élevée d'alfalfa et d'autres légumineuses ou graminées qui améliorent le labour et augmentent l'infiltration. L'effet de telles cultures se reporte sur la seconde et la troisième année. (Chow V.T., 1964)

Le pourcentage de la surface des prairies dans le sous-bassin détermine celui des cultures sarclées et non sarclées, compte tenu du rapport fixé A_{SAR}/A_{N-SAR} de 0,9019 pour 2005.

Deux scénarios sont envisagés.

1. Scénario « rationnel ». Une pâture rapporte en principe moins qu'une culture ou un pré de fauche. Quand un agriculteur décide de labourer une surface enherbée, il essaiera, s'il en a la possibilité, de choisir une parcelle qui lui promet les meilleurs rendements. De même, s'il doit se défaire d'une parcelle cultivée pour la faire passer en pâture permanente, il choisira si possible des terres médiocres. L'état de drainage naturel intervient dans ce choix, mais pas uniquement bien sûr. D'autres qualités du sol, la localisation, la dimension, la forme, la pente, etc. ... sont prises en compte. Nous faisons néanmoins l'hypothèse que si on accroît la surface des prairies permanentes dans le sous-bassin, ce sera d'abord les terres aux caractéristiques hydrologiques défavorables qui seront sacrifiées. Ceci constitue une autre approximation, car, si la capacité de drainage naturel des sols intervient dans le choix au niveau des sols du groupe hydrologique D ou C, c'est sans moins le cas pour les groupes B et A. Il s'agit donc d'une hypothèse simplificatrice où les prairies du sous bassin occupent d'abord les sols du groupe C, puis B et enfin A. Une fois réparties les prairies, on assigne le solde des surfaces aux cultures sarclées et non sarclées dans le rapport constant $A_{SAR}/A_{N-SAR} = 0,9019$.
2. Scénario « aléatoire ». Prairies et cultures sont distribuées de manière aléatoire selon leurs rapports de surface et le rapport des surfaces des différents groupes de sols de la CNSW. Les $CN2$ moyens sont calculés en faisant la somme des $CN2$ caractéristiques de chaque classe d'occupation du sol (table 23), pondérés selon la fraction de surface qu'elles occupent sur les sols d'un même groupe hydrologique et selon les proportions de ces groupes hydrologiques eux-mêmes dans le sous-bassin. La répartition est donc entièrement aléatoire.

6.4.2. Résultats

La figure 51 présente les coefficients de ruissellement diffus potentiels C_r , calculés d'origine agricole pour trois pluies de projet ($P_T = 39, 44$ et 60 mm) en fonction de la proportion de prairies dans la surface agricole. Les conditions hydrologiques d'implantation et d'entretien des prairies et des cultures sont arbitrairement choisies comme étant médiocres. Les points calculés par la méthodologie ERRUISSOL (Tableau 21) correspondent aux trois pluies et aux conditions de la CNOSW de 2005, soit 36 % de la surface agricole (Tableau 19)

fig. 51

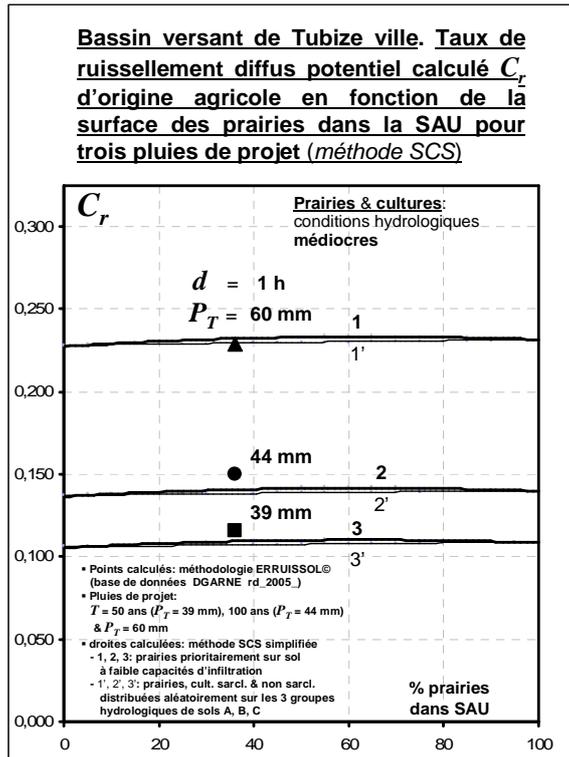
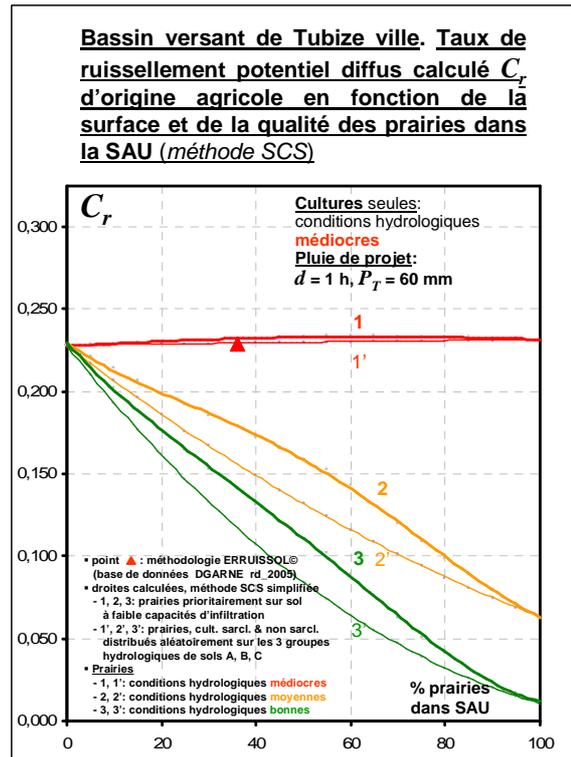


fig. 52



On constate que pour les différentes pluies de projet, C_r ne varie pas avec la proportion de prairies. Ceci résulte directement des « curve number » $CN2$ choisis. La valeur du $CN2$ d'une prairie médiocre est pratiquement égale à la moyenne des valeurs des cultures sarclée et non sarclée médiocres et cela pour chaque groupe hydrologique de sols (Tableau 25). C_r ne varie donc pas puisque nous avons admis que le rapport des surfaces de ces dernières est fixé et plus ou moins égal à 1.

Dans ce cas il n'y a pas non plus de différence entre les scénarios « rationnels » (courbes 1, 2 et 3) et « aléatoires » (1', 2' et 3').

Pour une proportion en prairies de 36 % de la surface agricole, les trois valeurs calculées pour C_r par la méthode SCS simplifiée sont proches de celles obtenues par la méthodologie « ERRUISSOL »⁹⁹. Cet accord dépend des conditions SCS d'implantation choisies, dans ce cas-ci des prairies et des cultures hydrologiquement médiocres.

La figure 52 présente les coefficients de ruissellement diffus potentiels C_r calculés pour une même pluie de projet exceptionnelle ($P_T = 60 \text{ mm}$) en fonction de la proportion de prairies dans la surface agricole. Les conditions hydrologiques d'implantation et d'entretien des cultures de la rotation sont arbitrairement choisies comme étant de type médiocre. Par contre, on examine le cas de trois types de prairies aux conditions hydrologiques différentes : médiocre, moyenne et bonne.

99

C_r calculé : comparaison entre la méthode ERRUISSOL® et SCS simplifiée pour 36 % de prairies dans la SAU (COSW 2005)

[pluie de projet : $d = 1$ heure / prairies, cult. sarclée & non sarclée : conditions hydrologiques médiocres]

T (ans)	P_T (mm)	C_r calculé		
		ERRUISSOL®	SCS simplifiée «sc. raisonné» «sc. aléatoire»	
50	39	0,116	0,109	0,107
100	44	0,150	0,140	0,138
> 200	60	0,229	0,232	0,230

Pour les prairies moyennes et bonnes, C_r diminue régulièrement avec la proportion de prairies dans la SAU. Le tableau 26 présente l'impact de 1% d'augmentation de la surface de prairies sur le coefficient de ruissellement diffus C_r calculé, quand la proportion initiale est celle de l'occupation des sols de 2005, soit 36 %.

Tableau 26. Variation de C_r en fonction de la surface de prairie dans la SAU (*).

Type de prairie	Scénarios	
	« raisonné »	« aléatoire »
médiocre	+ 0,02	+ 0,02
moyenne	- 0,75	- 1,15
bonne	- 1,55	- 2,17

Conditions : $C_r = 0,229$, $A_{PRA}/SAU = 0,3595$; pluie de projet : $T > 200$ ans, $P_T = 60$ mm, $d = 1$ heure ; méthode SCS simplifiée

(*) variation en % de C_r pour une variation de 1% de la surface de prairies dans la SAU

La figure 52 et le tableau 26 montrent également que la sensibilité de C_r à une variation de la proportion de prairies est d'autant plus forte que ces prairies sont de meilleure qualité.

En ce qui concerne les différents scénarios proposés, pour chaque qualité de prairie le scénario « raisonné » présente des taux de ruissellement C_r supérieurs à ceux du scénario « aléatoire ». La différence varie en fonction de la proportion de prairies et passe par un maximum entre 40 et 55 % de la SAU.

6.4.3. Commentaires

Le programme ERRUISSOL, développé sur base de la méthode SCS par l'Unité d'Hydrologie et d'hydraulique agricole de Gembloux, calcule, pour des pluies de projet d'une heure et des hauteurs de 39, 44 et 60 mm, trois coefficients de ruissellement diffus potentiels C_r pour chacune des 1.748.930 parcelles de 10X10 m qui composent la SAU du sous-bassin. Les coefficients de ruissellement diffus à l'échelle du sous-bassin sont les moyennes de ces valeurs.

La méthode SCS simplifiée utilise une pente moyenne pour tout le sous-bassin et associe de manière statistique les différentes occupations du sol (prairies, cultures sarclées et non sarclées) aux groupes hydrologiques de sols.

La présente étude est limitée par le nombre de paramètres qu'on peut faire varier : la proportion de prairies dans la SAU et la qualité hydrologique des prairies et des cultures.

Les résultats suggèrent que non seulement un accroissement des prairies de bonne qualité hydrologique dans la SAU favorise l'infiltration de l'eau, mais surtout que dans les conditions spécifiques du sous-bassin (pentes, drainage naturel des sols, conditions antérieures d'humidité...) cette influence sur le ruissellement diffus d'origine agricole pourrait être suffisamment importante pour réduire les phénomènes de crue à Tubize.

D'autre part, la qualité des prairies joue un rôle important. La limitation du ruissellement est d'autant meilleure que les prairies sont de bonne qualité, c'est-à-dire qu'elles possèdent une couverture herbeuse suffisamment dense. On a montré que pour des prairies de qualité moyenne, une augmentation de cinq pour cent dans la SAU a le potentiel de diminuer le ruissellement de trois ou de quatre pour cent. Mais on a également vu que pour des prairies de mauvaise qualité, l'effet est nul.

Il est également possible d'améliorer la qualité hydrologique des successions culturales. Une façon de le faire est d'intercaler des cultures dérobées. Le calcul par la méthode simplifiée montre

que pour une pluie de projet de $P_T = 60$ mm et $d = 1$ h, et une répartition superficielle « raisonnée » en prairies médiocres de 36% dans la SAU, le passage de pratiques culturales médiocres à des pratiques bonnes fait passer C_r de 0,232 à 0,202, soit une diminution de 13%.

Et enfin, si on est amené à remplacer des cultures par des prairies, il serait préférable de la faire sur des sols dotés de bonne qualité hydrologique. Difficile à justifier pour des pâturages, on pourrait peut-être l'envisager pour des prairies de fauche.

6.5. Conclusion

On constate qu'en faisant uniquement appel aux terres agricoles, il faudrait, à la suite de l'étude SEPRO, qu'elles soient à même d'infiltrer une hauteur supplémentaire de 4,95 mm lors d'une pluie extrême qui précipiterait 64 mm durant 24 heures. Cela correspondrait à une diminution de 55% du ruissellement potentiel.

La méthode SCS simplifiée montre que pour une pluie exceptionnelle d'une heure qui précipiterait 60 mm d'eau, le remplacement de 10% de terres de culture (soit près de 7% de la SAU) par des prairies de qualité moyenne diminuerait le ruissellement potentiel d'environ 5%. Et si on intervenait au niveau des pratiques culturales elles-mêmes, en passant à des successions culturales bien conduites du point de vue hydrologique, on pourrait réduire le ruissellement de 10%.

Ces résultats doivent cependant être pris avec prudence, d'abord à cause des simplifications introduites. D'autre part, si le ruissellement diffus d'origine agricole et le ruissellement global au niveau du sous-bassin sont des phénomènes liés, on peut insister sur le fait qu'ils ont leurs caractéristiques propres. Il est important de se rappeler que le modèle ERRUISSOL utilisé pour le ruissellement agricole se base sur des durées d'averse d'une heure et qu'il ne tient pas compte de la variation saisonnière de la couverture du sol. L'étude SEPRO, quant à elle, a choisi une durée de 24 heures pour la pluie et fait une distinction entre évènements hivernaux et estivaux.

Cela étant dit, la cartographie du risque de ruissellement diffus potentiel établie dans le cadre du projet ERRUISSOL et les évaluations faites dans le présent travail selon la méthode SCS simplifiée suggèrent qu'il est possible de réduire de manière significative le ruissellement et le risque d'inondation à Tubize. Mais si des réductions de l'ordre 10 ou 15% du ruissellement sont dans le domaine du possible, il semble difficile d'atteindre les 55% évoqués ci-dessus en recourant aux seules bonnes pratiques agricoles. La collaboration des autres secteurs du sous-bassin semble indispensable.

Le présent mémoire est un état des lieux, et à ce titre il se limite à évaluer des ordres de grandeur.

Les résultats sont cependant suffisamment encourageants pour nous convaincre de l'intérêt d'une étude hydrologique approfondie du sous-bassin versant. Nous songeons à l'application d'un modèle mathématique qui permettrait de prévoir l'évolution dans le temps du débit à l'exutoire en fonction d'une pluie de durée et d'intensité déterminées.

Une autre étude, moins exigeante en moyens, consisterait à suivre le régime hydrologique de la Senne et de quelques affluents en fonction des pratiques culturales du sous-bassin, saison après saison, en commençant par l'exploitation des données archivées. Un suivi détaillé de la charge en sédiments dans la Senne à Tubize pourrait utilement compléter les résultats.

Alors qu'elles font partie de l'arsenal utilisé pour combattre les inondations par ruissellement à flanc de pente et l'érosion des terres, les mesures palliatives sous forme d'ouvrages hydrauliques à l'échelle des petits bassins versants sont moins appropriées pour mitiger les crues par débordement de rivière en fond de vallée.

On se concentrera donc sur l'évaluation des mesures de type agronomique 'à la source' comme l'occupation du sol, la qualité des prairies ou la conduite des successions culturales.

Si on demandait aux terres agricoles, qui occupent 76% de la surface du sous-bassin, d'absorber à elles seules l'excès de ruissellement potentiel, l'agriculture devrait être capable, par un changement de ses pratiques culturales, de dégager, à l'occasion d'une pluie extrême de 65 mm d'une durée de 24 heures, des capacités d'infiltration supplémentaires correspondant à 55% du ruissellement potentiel.

L'adoption de bonnes pratiques culturales sur le plan hydrologique peut significativement réduire le danger d'inondation à Tubize, mais l'agriculture du sous-bassin versant ne saurait à elle seule constituer une solution durable au problème.

7. Contrôle du ruissellement diffus par les pratiques culturales et les modifications de l'occupation du sol

7.1. Prévention et correction par priorité à la source

L'occupation des sols (prairie, culture sarclée ou non sarclée) et la qualité hydrologique (bonne, moyenne ou médiocre) des méthodes de culture, ou d'entretien en ce qui concerne les pâturages, peuvent diminuer de plusieurs pour cent le ruissellement d'origine agricole à l'échelle du sous-bassin. L'effet sur l'aléa d'inondation sera donc en toute logique du même ordre de grandeur.

Cela dit, à côté des moyens culturaux il existe d'autres aménagements possibles.

Pour les inondations par ruissellement dans les petits bassins versants à prédominance agricole, on préconise souvent d'accompagner les mesures culturales, qui ont un caractère préventif, par l'implantation de petits ouvrages hydrauliques. Ceux-ci ont un rôle palliatif, car ils interviennent une fois amorcé le flux hydrique de surface. Ils sont destinés à intercepter, contrôler et transporter temporairement l'eau vers les cours d'eau ou les collecteurs. Ils évitent ainsi les flux aux parcours incontrôlés et mitigent les risques d'inondation et d'érosion. Chenaux, fossés, bandes enherbées, talus et mini barrages¹⁰⁰ sont régulièrement proposés dans les expertises demandées par les autorités des communes sinistrées, comme à Tournai le long du Rieu de Barges¹⁰¹. Les bandes enherbées prévues pour ralentir le ruissellement et piéger les sédiments en suspension, en aval de parcelles couvertes par des cultures sarclées, sont même devenues obligatoires en Région wallonne quand les pentes sont supérieures à 10% et pour des parcelles dépassant certaines longueurs¹⁰².

Sans nier l'utilité des mesures palliatives, elles nécessiteraient, en plus du ruissellement diffus, que soient abordés le ruissellement concentré et l'érosion hydrique, ce qui dépasse le cadre et les compétences du présent travail.

Il ne faut pas oublier que les aménagements hydrauliques ont un coût, et pas seulement à la construction. Ils nécessitent une surveillance et un entretien réguliers, souvent à charge de la communauté (Wateringues ou communes) ou des agriculteurs. Une étude faite en Flandre¹⁰³ (BE) indique les coûts du curage de bassins d'écêtement dans le Brabant Flamand et le Sud-Limbourg (aire de drainage moyenne par bassin : 1.750 ha). Chaque année il faut enlever en moyenne 1.500 m³ de sédiments par bassin. Au coût unitaire de 9 EUR (1999) le mètre cube, cela fait 13.710 EUR. Une autre étude réalisée au FAM (Forschungsverbund Agrarökosysteme München) à Scheyern en Bavière (DE) montre que pour de petits bassins agricoles avec des aires de drainage comprises entre 1,6 à 7,81 ha, les coûts sont proportionnellement encore plus élevés, soit 100 EUR ha⁻¹an⁻¹ et ce, malgré l'application de mesures agri-environnementales de conservation du sol¹⁰⁴.

En résumé, il est techniquement plus efficace, et socialement moins coûteux, d'éliminer une nuisance environnementale à la source. Rappelons que les principes de prévention et de correction par priorité à la source sont devenus des principes généraux du droit de l'environnement¹⁰⁵. Ils ont été incorporés dans le Traité de Maastricht¹⁰⁶.

Ce seront donc essentiellement des mesures à caractère culturel préventif qui seront examinées ici : travail du sol, entretien des prairies, conduite des rotations avec ou sans cultures dérobées, etc.

¹⁰⁰ Dautrebande S. (2003)

¹⁰¹ Degré A. (2007)

¹⁰² DGA, Conditionnalités, Note explicative : BCAE, thème 2 (2009)

¹⁰³ Evrard O., Persoons E., Vandaele K., van Wesemael B.; *Agr. Ecosyst. Environ.* **118** (2007) 149–58

¹⁰⁴ Fiener P., Auerswald K., Weigand S.; *Agr. Ecosyst. Environ.* **110** (2005) 132–142

¹⁰⁵ Dubigeon O., 'Mettre en pratique le développement durable. Quel processus pour l'entreprise responsable' (2005)

¹⁰⁶ Le traité de Maastricht énonce : " la politique de la Communauté dans le domaine de l'environnement vise un niveau de protection élevé, en tenant compte de la diversité des situations dans les différentes régions de la Communauté. Elle est fondée sur le principe de précaution et d'action préventive, sur les principes de la correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement et sur les principes du pollueur payeur ".

7.2. Bibliographie

Une sélection de publications est passée en revue. Une attention particulière est accordée à la quantification de l'impact potentiel des différentes pratiques.

7.2.1. Travail du sol

La technique du travail du sol sans labour favorise la teneur en carbone organique (COT)¹⁰⁷. Le COT maintient la structure du sol, sa stabilité, sa capacité d'infiltration ou de rétention d'eau, l'activité biologique et l'équilibre des nutriments. Il limite le ruissellement et l'érosion. Au cours des quarante dernières années, la quantité de matière organique rendue au sol en Europe et aux États-Unis a décliné. C'est une conséquence de méthodes de culture intensive. Les résidus de récolte sont exportés des champs, les fumures organiques remplacées par des fertilisants inorganiques et les jachères herbeuses sont abandonnées. Aux États-Unis et au Royaume-Uni, les pertes en carbone organique dans les sols ont atteint jusqu'à 30-50%, si bien qu'aujourd'hui les teneurs sont inférieures à 4%. Il y a un risque accru d'érosion pour des valeurs du COT inférieures à 2%¹⁰⁸. Des essais menés aux États-Unis semblent montrer que dans certaines circonstances le travail du sol sans labour a pu réduire le ruissellement de 15 à 89%. Mais en Europe du Nord, le bilan est mitigé et le labour traditionnel semble plus approprié. En ameublissant le sol, il favorise l'infiltration. Cependant, l'effet est temporaire. Progressivement sous l'influence des intempéries le sol se tasse, la surface perd sa rugosité et il y a apparition d'une pellicule de glaçage. Le ruissellement augmente progressivement¹⁰⁹.

Plusieurs techniques de travail du sol (sablo-limono-argileux, domaine de Kerguehenec à Bignan dans le Morbihan, FR) sont comparées : labour conventionnel, travail superficiel et semis direct. A un potentiel d'infiltration proche de la saturation de - 0,05 kPa, les conductivités hydrauliques mesurées (interrang non compacté de monoculture de maïs, fertilisation minérale, mesure au niveau du sol), sont respectivement de 170, 105 et 5 mm.h⁻¹. En effet, le labour conventionnel crée plus de pores d'assemblage et de fissures en surface et permet une infiltration plus rapide après le labour. On a également suivi l'évolution dans le temps de la conductivité hydraulique au cours d'un cycle cultural (interrang non compacté de monoculture de maïs, fertilisation organique (lisier), profondeur de mesure = 15 cm). La structure du sol après le labour est très aérée par suite de la fragmentation mécanique produite par les outils de préparation. Le sol présente une infiltrabilité de 284 mm.h⁻¹ aux faibles potentiels d'infiltration (-0,05 kPa). D'août à novembre, l'horizon labouré se tasse naturellement et provoque un rapprochement des agrégats. La réduction des pores d'assemblage se traduit par une chute de l'infiltrabilité à 29 mm.h⁻¹. Au début du printemps, on retrouve une structure aérée supérieure à celle obtenue immédiatement après le labour et l'infiltrabilité remonte à 464 mm.h⁻¹. En l'absence de toute autre intervention, on peut attribuer cette croissance au printemps à une augmentation de la porosité d'assemblage due à l'activité des lombrics. Celle-ci redevient particulièrement importante en fin d'hiver et est favorisée par la fertilisation organique. L'évolution de la structure du sol montre l'interaction des facteurs anthropiques et biologiques. Le système de culture ou le mode de fertilisation conditionne l'abondance et la diversité des communautés de lombrics responsables de l'allègement de la structure du sol¹¹⁰.

Des essais réalisés au CRA-W (Gembloux, BE) donnent des résultats similaires pour un sol limoneux lessivé, un mois après le passage des machines. Le tableau 27 présente les résultats pour un labour traditionnel, un cultivateur rotatif, une herse rotative et une terre nue non travaillée. Les profondeurs du travail de ces outils sont respectivement de 22, 15-20, et 10 cm¹¹¹.

¹⁰⁷ COT : carbone organique total

¹⁰⁸ En Région Wallonne, le COT est de 1,5%

¹⁰⁹ Holland J.M.; *Agr. Ecosyst. Environ.* 103 (2004) 1-25

¹¹⁰ Hallaire V., Lamandé M., Heddadj D.; *Étude et Gestion des Sols*, 11(1), 2004, 47-58

¹¹¹ CRA-W & Région Wallonne dans 'Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007'

Tableau 27. Vitesse d'infiltration dans un sol limoneux travaillé par différents outils (*)

Type de travail du sol	Vitesse d'infiltration (mm.h ⁻¹)		
	à la surface du sol	à la profondeur de travail du sol [cm]	sous la zone de travail du sol
labour conventionnel	20,0	7,5 [22]	12,5
cultivateur rotatif	15,5	9,8 [15-20]	13,2
herse rotative	16,3	10,3 [10]	13,7
terre nue non travaillée	1,5	11,3 [0]	14,2

(*) CRA-W et Région wallonne dans 'Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007'

Le plus souvent, les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement augmentent avec les teneurs en matière organique¹¹².

Le COT dans les sols de la région limoneuse belge, mesurée sur une profondeur de 22 cm pour les 7 associations de sols de la région [30→36], est de l'ordre de 39,0 t.ha⁻¹ en 1960, 39,1 t.ha⁻¹ en 1990 et 35,1 t.ha⁻¹ en 2000. Entre 1960 et 1990, le COT s'est donc maintenu, mais de 1990 à 2000, il a baissé 10,8 %. Des essais menés au CRA-W entre 1959 et 1994 comparent des parcelles fertilisées au fumier à des parcelles à fertilisation minérale et desquels les résidus de récolte ont été exportés. Le COT en 1959 sur les deux types de parcelles est de l'ordre de 38,2 t.ha⁻¹. En 35 ans, les parcelles « organiques » ont vu leurs stocks de carbone augmenter de 19%, soit 5,4% en 10 ans. Les « minérales » ont perdu 3,9%, soit 1,1% sur 10 ans. La restitution de la teneur en carbone organique dans les sols par une fumure organique est un processus long¹¹³.

7.2.2. Cultures de couverture

Implantées entre deux cultures principales, elles assurent une couverture végétale durant l'entre-saisons. Dans le domaine hydrologique, elles interceptent les gouttes de pluie et ralentissent ainsi le colmatage des macropores et des fissures. L'infiltration de l'eau en est facilitée. Leur incorporation dans le sol structure et augmente les capacités de rétention de l'eau par l'apport de matière organique fraîche. Elles participent à la protection des zones vulnérables (masses d'eau souterraine et de surface) puisqu'elles ont un rôle de piège à nitrates (CIPAN)¹¹⁴.

Des essais menés en hiver à Kemmel et à Nukerke en Flandre-Occidentale (BE) ont montré que l'implantation d'une couverture hivernale peut faire passer les coefficients de ruissellement de 0,190 à 0,080 et de 0,115 à 0,010 respectivement, soit des réductions de 60 ou de 90% par rapport à un sol nu. On enregistre des diminutions de 95% du ruissellement au printemps pour une culture dérobée détruite tardivement. La diminution est encore de 66% pour une couverture détruite précocement (1^{er} janvier ?)¹¹⁵.

7.2.3. Céréale d'hiver

Si une culture dérobée offre une bonne protection du sol pendant l'hiver, il n'en va pas de même pour une céréale d'hiver. La capacité d'infiltration du sol est certes accrue lors de la préparation du lit de semis, mais elle diminue rapidement jusqu'à la fin décembre. Pour un labour sans passage de herse, les mottes restent plus longtemps. La rugosité du sol et la capacité d'infiltration de l'eau sont maintenues. En outre, le couvert végétal d'une céréale n'assure pas une bonne protection contre la pluie étant donné que sa croissance ne commence véritablement qu'au printemps, après le tallage. En règle générale, pour une parcelle en interculture travaillée par la

¹¹² 'Guide des Matières Organiques', T. 1 (2001), 2^{ème} Ed., p. 24

¹¹³ van Wesemael B., Lettens S., Roelandt C., Van Orshoven J.; *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 8(2), 2004, 133–9

¹¹⁴ Dautrebande S., Cordonnier H., Thirion M., Biielders C., *Les livrets de l'Agriculture*, n°12 (2006), DGA

¹¹⁵ Cordonnier H. 'Mesures préventives et palliatives de lutte contre le ruissellement et l'érosion pour les agriculteurs', Contrats de rivière Dyle et Jette (15-06-2007)

déchaumeuse après récolte et ensuite retournée à la charrue en début d'hiver, le bilan hydrique est meilleur qu'avec l'emblavure d'une céréale d'hiver¹¹⁶.

7.2.4. Pâturages

Le bétail peut altérer l'hydrologie et le ruissellement en compactant le sol des pâturages. Il s'en suit une réduction des capacités d'infiltration et une augmentation du ruissellement superficiel. Des essais sont menés en Irlande sur deux lots de quatre parcelles situés à Johnstown Castle, Co. Wexford et à Grange, Co. Meath (IR). Sur le premier lot, le bétail (des bovins) a un accès sans restrictions. Pour le second lot, l'accès est limité : il a la possibilité de brouter, mais un fil électrifié l'empêche de piétiner le sol et d'y laisser ses déjections. Les pâtures sont établies sur des sols sablo-limoneux et limoneux. Ils s'étendent sur deux saisons en 2002 et 2003. La saison d'été va d'avril à octobre-novembre. Le bétail paît alternativement sur chacune des parcelles pendant 2-6 jours. Une rotation complète se fait en 3-4 semaines. La charge en bétail est de 2 UGB*ha⁻¹¹¹⁷. La fertilisation du sol se fait selon l'« Irish fertiliser advice for pasture » et l'azote est compensé sur les parcelles ne recevant pas de déjections. Des pluies artificielles d'une intensité de 20 mm.h⁻¹ sont appliquées entre le 26 mars et le 6 mai 2004 au moyen d'un simulateur de pluie (« Amsterdam ») et maintenues pendant une heure après le début du ruissellement. Le ruissellement est de 0,2 à 0,8 mm (moyenne = 0,689 mm) par mm de pluie pour les parcelles à accès libre et de 0,1 à 0,7 (moyenne = 0,450) pour les parcelles à accès limité¹¹⁸.

Un autre essai réalisé aux États-Unis confirme qu'il convient d'être prudent par rapport à l'accès des bêtes aux pâtures en hiver. La pratique peut accroître le ruissellement, la perte de sédiments et de nutriments. Deux systèmes de pâturages d'hiver sont examinés (NAEW, Coshocton OH, USA) du point de vue de leur impact environnemental sur une période de 12 ans, entre novembre 1974 et octobre 1986. Le premier système est un pâturage alterné été/hiver où des bovins à viande sont d'abord maintenus sur quatre parcelles durant l'été pour des cycles de 6 à 7 jours de mai à octobre ; ils sont ensuite amenés sur quatre autres parcelles en hiver où ils sont nourris par deux lots de foin, l'un laissé en place à la fin de la bonne saison et l'autre récolté sur les mêmes parcelles à la mi-saison. Les pentes ont en moyenne 15%. L'occupation des parcelles est de 552 UGB*jour*ha⁻¹. Dans le deuxième système, à pâturage hivernal concentré, les bêtes sont maintenues sur quatre pâtures durant la bonne saison (comme pour le premier système), puis concentrées sur une seule parcelle durant l'hiver pour y être alimentées en foin importé. La moyenne des pentes est de 18%. L'occupation de la parcelle d'hiver est de 1.679 UGB.jour.ha⁻¹. La fertilité de toutes les parcelles est maintenue constante et identique par compensations en engrais inorganiques. Les mesures hydrauliques (événements de pluie naturels) sont effectuées régulièrement durant l'année sur de petits bassins versants installés sur les parcelles pâturées en hiver. En moyenne, le système de pâturage concentré et le système de pâturage alterné hiver/été ont des taux de ruissellement semblables durant l'hiver, soit de 11 à 14%¹¹⁹. En été par contre, le taux de ruissellement des parcelles alternées diminue jusqu'à 3%, tandis qu'il maintient les valeurs enregistrées en hiver sur la parcelle qui a subi le pâturage hivernal concentré. Il n'y a donc pas de récupération des parcelles fortement piétinées et cela, malgré le fait que la couverture herbeuse soit de 100% en été dans les deux systèmes. Sur les parcelles pâturées de manière excessive, la couverture chute à 20-60% en hiver¹²⁰.

Pour les pâturages, comme pour les cultures, la capacité d'infiltration du sol dépend de l'activité des communautés de lombrics.

¹¹⁶ Ludwig B. (INRA) in 'Activités Rurales et Inondations ; Aménagement du parcellaire et pratiques agricoles', CEMAGREF Ed.(1999)

¹¹⁷ UGB (ou LU, « livestock unit ») est une unité de besoin alimentaire animal avec 1 UGB défini par les besoins de la vache laitière ; exemples : 1 veau de boucherie = 0,45 UGB, 1 brebis mère nourrice = 0,18 UGB, 1 truie = 0,5 UGB (coefficients utilisés depuis 1995)

¹¹⁸ Kurz I., O'Reilly C. D., Tunney H.; *Agr. Ecosyst. Environ.* **113** (2006) 378-90

¹¹⁹ Un examen attentif des ruissellements mensuels en fonction des précipitations (*Agr. Ecosyst. Environ.* **129** (2009), p. 486, figure 4), montre que de janvier à mars, alors que les précipitations passent d'environ 58 à 83 mm.mois⁻¹, le taux de ruissellement diminue sur les prairies à pâturage d'hiver continu, donc à occupation intensive, tandis qu'il se maintient systématiquement au dessus de ces valeurs pour les pâturages hivernaux alternés. Cette contradiction apparente pourrait s'expliquer par le fait que sur un sol intensément foulé par le bétail, l'empreinte des sabots constitue autant de petites dépressions pouvant stocker l'eau en début de précipitation. Cette constatation est renforcée par le fait que, durant la même période, la masse de sédiments en suspension pour les pâturages hivernaux intensifs reste supérieure à celle de l'autre système, ce qui montre bien que la surface du sol est plus rugueuse pour le premier et que, une fois le ruissellement amorcé, la charge en sédiments en suspension est supérieure.

¹²⁰ Owens L.B., Shipitalo M.J.; *Agr. Ecosyst. Environ.* **129** (2009) 482-90

7.2.5. Fertilisants

Différentes fertilisations du sol ont été comparées au NPAREC à Orange VI (USA), dans le Piémont virginien, pour un itinéraire technique maïs grain / potirons / poivrons (2002-2004). Le terrain est un sol limoneux avec des pentes de 7 à 10%. Les engrais sont de la litière de volaille compostée [AC] (C:N = 19-20,3 ; C organique = 285-454 g.kg⁻¹ ; N-NH₄⁺ = +/- 0 g.kg⁻¹), de la litière de volaille non compostée [PL], (C:N = 9,9-10,5, C organique = 475-486 g.kg⁻¹, N-NH₄⁺ = 10-13,1 g.kg⁻¹) et des engrais minéraux [F]. Les teneurs en N, P et K sont celles recommandées par le « Virginia Cooperative Extension ». Les rendements et les impacts environnementaux sont évalués. La densité apparente des sols diminue et leur capacité de rétention en eau augmente avec l'utilisation du compost, mais seulement après trois ans de fertilisation. Pour évaluer le ruissellement, les parcelles sont arrosées artificiellement à raison de 70 mm.h⁻¹ jusqu'à 30 min après l'apparition du ruissellement. Le volume total d'eau de ruissellement est recueilli durant 30 min. On enregistre ce volume, le volume infiltré et le temps entre le début de la pluie et le début de ruissellement. Les résultats sont présentés dans le tableau 28¹²¹.

Tableau 28. Compost : infiltration et rétention d'eau dans le sol
(1)

	durée de la précipitation (min)	hauteur précipitée (mm)	hauteur équivalente du ruiss. (mm)	hauteur infiltrée (mm)	coefficient de ruissellement C_r	teneur en humidité du sol après arrosage (3) (g H ₂ O / kg matière sèche)
contrôle (CTL) (2)	35	41,7	14,0	27,7	0,334	274
compost de litière de volaille (AC)	781	91,1	2,9	88,3	0,031	370
litière de volaille non compostée (PL)	71,6	83,5	8,1	75,5	0,096	310
engrais minéral (F)	48,8	56,9	10,1	46,8	0,178	281

- (1) Evanylo G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K.; *Agr. Ecosyst. Environ.* **127** (2008) 50–8
 (2) sol non fertilisé
 (3) teneur au champ

Les fertilisants organique (lisier) et minéral sont comparés pour une monoculture de maïs. Des mesures effectuées sur les interlignes sans passage de roues montrent que la conductivité hydraulique est multipliée par 6,6 (mesure au niveau du sol, potentiel = - 0,05 kPa) pour une parcelle bénéficiant de la fumure organique. Ceci est la conséquence du travail des lombrics comme le montre la porosité. L'activité des lombrics dépend de la présence d'engrais organique. (Hallaire V., 2004)

7.2.6. Terrasses de diversion du flux hydrique et chenaux enherbés

Ce système est destiné à mitiger l'érosion. Il s'apparente aux bandes enherbées perpendiculaires à de fortes pentes couvertes par des cultures sarclées. Il est implanté au New-Brunswick (CAN) dans un bassin versant de 1.450 ha, avec des sols sablo-limoneux. La culture dominante est la pomme de terre cultivée en alternance avec l'orge. Le climat est subboréal avec 245 jours de gel. Sur un an l'érosion est réduite de 56%, soit 4 tonnes ha⁻¹an⁻¹, et le ruissellement de 20%.

¹²¹ Evanylo G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K.; *Agr. Ecosyst. Environ.* **127** (2008) 50–8

7.2.7. Drainage agricole

Le drainage est une technique qui, au moyen de drains enterrés, vise à désengorger des nappes perchées temporaires¹²². Les drains sont fréquents sur les plateaux et versants de la zone limoneuse. La particularité de ces sols fait que le lessivage des particules d'argile conduit à la réduction des pores en profondeur, ce qui réduit la conductivité hydraulique. Normalement les drains débouchent dans un réseau, dit d'assainissement, qui achemine les flux vers un émissaire du réseau hydrographique. L'efficacité du drainage est liée aux saisons. Il ne fonctionne de manière intense que pendant trois mois en l'hiver (décembre à mars). À ce moment, les variations de la teneur en eau des sols sont, de l'ordre de 2 à 3%, ce qui correspond à la porosité de drainage¹²³.

A l'échelle de la parcelle, les effets du drainage dépendent de l'intensité des précipitations. Pour les pluies de faible intensité, il augmente les volumes restitués. Pour les précipitations plus intenses, il induit une réduction des débits de pointe en permettant l'infiltration de l'eau et son stockage temporaire au niveau de la porosité de drainage. Au-delà d'une certaine intensité, les capacités de drainage sont dépassées et le ruissellement tend vers celui de parcelles non drainées.

A l'échelle du bassin versant, les drains enterrés sont reliés au réseau d'assainissement. Les fossés de ce dernier sont souvent surdimensionnés à cause de la profondeur des collecteurs de drainage, de l'ordre d'un mètre. L'effet peut être aggravant pour le transport de l'eau, car la capacité de stockage accrue n'est pas valorisée. Ainsi, le fait d'avoir surdimensionné les réseaux d'assainissement agricole contrebalance les effets modérateurs du drainage. Il peut même aggraver les crues.

7.2.8. Occupation du sol

Une étude sur le ruissellement est menée en août 1988 sur différentes parcelles du bassin versant associé de la Merrifield River ($A_{BV} = 18$ ha), un affluent de la Gara près de Slapton, entre Exeter et Plymouth dans le South-West (UK). Les sols sont des terres brunes acides bien drainées sur substrat de schistes ardoisiers ou argileux du Dévonien (« freely-drained acid brown earths overlying impermeable Devonian slates and shales »). Les essais en pluie artificielle ont une durée d de 4 heures et une intensité i de $12,5 \text{ mm.h}^{-1}$ (soit $P_T = 50 \text{ mm}$, $d = 4 \text{ h}$). Les occupations du sol suivantes sont étudiées : céréales, prairies temporaires, prairies permanentes, sols nus travaillés et roulés et pâtures piétinées avec destruction complète de la couverture herbeuse d'origine. Les simulations sont comparées à un événement orageux du 20 mars 1988 : $d = 9$ heures, $P_T = 34,3 \text{ mm}$; les temps caractéristiques de la crue sont : un temps de montée t_m de trois heures et un temps de réponse entre maxima de pluie et de crue t_p d'une heure. Les résultats sont présentés dans le tableau 29.

¹²² Zimmer D., Nedelec Y., 'Drainage et assainissement agricoles', in 'Activités rurales et Inondations', INRA, 1999. Il existe un autre type de drainage qui concerne les zones à nappes permanentes en fond de vallée. Il n'est pas abordé ici.

¹²³ Par exemple, dans un sol à porosité de drainage de 2%, une pluie de 10 mm peut faire remonter la nappe de 50 cm!

Tableau 29. Meryfield Steam, Slapton (UK). Coefficients de ruissellement de parcelles et pour le bassin versant associé (1)

Pluies simulées sur parcelles				
$d = 4\text{ h} ; P_T = 50\text{ mm} ; \text{août } 1988$				
Occupation du sol	débit de ruissellement (6) (mm.h ⁻¹)	C_r (4 h) (7)	vitesse d'infiltration (mm.h ⁻¹)	C_r instantané (8)
prairie permanente (2)	2,85	0,232	5,85	0,532
prairie temporaire (3)	0,58	0,046	12,33	0,014
céréales (4)	0,93	0,074	11,04	0,117
sol nu travaillé et roulé	2,65	0,212	4,0	0,680
pâturage piétinée (5)	6,62	0,530	0,1	0,992
				Bassin versant
				$A_{BV} = 18\text{ ha}$
				$d = 9\text{ h}$
				$P_T = 34,3\text{ mm}$ mars 1988
		C_r direct	C_r total	
		(9)	(10)	
		0,073	0,270	

- (1) Source : Heathwaite A.L., Burt T.P., Trudgill S.T., in 'Proceedings of the Baltimore Symposium', May 1989, IAHS Publ. N° 182 (1989)
- (2) prairies permanentes proprement dites et jachères de 7-10 ans
- (3) prairies temporaires de moins de 4 ans et jachères de moins de 7 ans
- (4) froment
- (5) pâtures nues dont la couverture herbeuse d'origine est entièrement détruite par le piétinement
- (6) moyenne du ruissellement sur 4 heures
- (7) lame précipitée et hauteur équivalente de du ruissellement total sur 4 heures
- (8) $C_r = (P_T / d - f) / (P_T / d)$, avec f = vitesse d'infiltration
- (9) estimé à partir ruissellement direct sur +/- 4 heures
- (10) estimé à partir de la somme du ruissellement direct et différé sur 120 heures

Le tableau montre une forte similitude pour les vitesses d'infiltration sur les parcelles de céréales et les prairies temporaires. Les prairies permanentes, moins perméables, se classent comme une terre fraîchement labourée et roulée. Une prairie complètement dégradée est pratiquement imperméable.

7.2.9. Synoptique des pratiques culturales

Le tableau 30 compare différentes pratiques culturales et occupations du sol en indiquant les effets de manière semi-quantitative.

Tableau 30. Synoptique des pratiques culturales. Bibliographie

Catégorie	pratique de référence	pratique culturale proposée	culture / prairie	particularités	type de mesure	conductivité hydraulique : multipliée par	Ruissellement divisé par	Saison	Références
travail du sol	travail superficiel	labour conventionnel	maïs	Interrang non compacté	conductivité hydraulique	x2(1)	--	été	Hallaire V. <i>et coll.</i> (2004)
	semis direct sans travail de la terre	labour conventionnel	maïs	Interrang non compacté	conductivité hydraulique	x5	--	été	Hallaire V. <i>et coll.</i> (2004)
	terre nue non travaillée	labour conventionnel	terre nue	pas de culture	conductivité hydraulique	x10	--	non précisé	CRA-W (BE) (2006)
	terre nue non travaillée	cultivateur rotatif	terre nue	pas de culture	conductivité hydraulique	x10	--	non précisé	CRA-W (BE) (2006)
	terre nue non travaillée	herse rotative	terre nue	pas de culture	conductivité hydraulique	x10	--	non précisé	CRA-W (BE) (2006)
couvertures hivernales	terre nue (travaillée?)	culture de couverture	couverture hivernale	--	ruissellement	--	÷2	hiver	H. Cordonnier (2007)
	terre nue (travaillée?)	culture de couverture	couverture hivernale	détruite tardivement	ruissellement	--	÷10	printemps	H. Cordonnier, CR (BE) (2007)
	terre nue (travaillée?)	culture de couverture	couverture hivernale	détruite précocement	ruissellement	--	÷2	printemps	H. Cordonnier, CR (BE) (2007)
prairies	prairie piétinée par le bétail	parcelle non piétinée par le bétail	prairie	2 UGB/ha	ruissellement	--	÷2	non précisé	Kurz I. <i>et coll.</i> (2006)
	prairie piétinée par le bétail, forte charge	prairie piétinée par le bétail, faible charge	prairie	forte charge : 1.679 UGB.j/ha faible charge : 552 UGB.j/ha	ruissellement	--	pas de variation	hiver	Owens L.B. <i>et coll.</i> (2009)
	prairie piétinée par le bétail, faible charge, ruissellement d'hiver	prairie piétinée par le bétail, faible charge, ruissellement d'été	prairie	alternance été / hiver	ruissellement	--	÷2-5	hiver	Owens L.B. <i>et coll.</i> (2009)
engrais	engrais minéral	engrais: compost de litière de volaille	rotation triennale grain/potirons/poivrons	--	ruissellement	--	÷5	été	Evanylo G. <i>et coll.</i> (2008)
	engrais minéral	engrais: litière de volaille non compostée	rotation triennale grain/potirons/poivrons	--	ruissellement	--	÷2	été	Evanylo G. <i>et coll.</i> (2008)
	engrais minéral	lisier	maïs	Interrang non compacté	conductivité hydraulique	x5		été	Hallaire V. <i>et coll.</i> (2004)
occupation du sol	sol déchaumé et labouré	semis de céréale d'hiver	céréale	--	ruissellement		défavorable	hiver	Ludwig B., INRA (FR) (1999)
	pâture piétinée sans couverture enherbée	prairie permanente couverte à 100%	prairie	--	conductivité hydraulique	x500	--	été	Heathwaite A.L. <i>et coll.</i> (1989)
	prairie permanente couverte à 100%	sol nu travaillé et roulé	terre nue	--	conductivité hydraulique	x1	--	été	Heathwaite A.L. <i>et coll.</i> (1989)
	prairie permanente couverte à 100%	culture de froment	céréale	--	conductivité hydraulique	x2	--	été	Heathwaite A.L. <i>et coll.</i> (1989)
drainage	sol non drainé	sol drainé	--	--	ruissellement	--	à étudier pour les grands bassins versants	non précisé	Ludwig B., INRA (FR) (1999)

(1) valeurs arrondies à : 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 5 ; 10 ; 20 ; 50 etc.

7.2.9.1. Engrais organiques

Ils augmentent la teneur en carbone organique total dans le sol et la capacité de rétention physico-chimique de l'eau. Ils ont une action au niveau des lombrics dont ils stimulent l'activité dès le début du printemps. La porosité que ces derniers développent durant la belle saison diminue cependant en hiver.

7.2.9.2. Prairies

Elles ont une bonne capacité d'infiltration qui se maintient tout au long de l'année, bien que d'une façon quelque peu réduite en hiver. Cependant, le piétinement peut provoquer des dégradations telles que même une bonne restitution de la couverture herbeuse en été ne parvient plus à restaurer la capacité de drainage initiale. La dégradation se reporte d'une année à l'autre.

7.2.9.3. Travail du sol

En ameublissant le sol, le labour favorise dans un premier temps l'infiltration de l'eau, mieux que les techniques de travail du sol sans labour. Ce fait est important, étant donné que le labour se situe avant ou pendant la mauvaise saison, quand le ressuyage le permet. Cependant, leur effet sur le ruissellement se résorbe progressivement au bout de quelques semaines. Un amenuisement trop fin du sol après labour, pour former un lit de semences, favorise le ruissellement. Si le labour augmente la capacité d'infiltration, les techniques de travail sans labour quant à elles favorisent la rétention de l'eau parce qu'elles permettent une meilleure fixation du carbone organique.

7.2.9.4. Couverture du sol hivernale

L'action des cultures dérobées sur le ruissellement est multiple. En interceptant les gouttes de pluie, elles ralentissent la formation d'une croûte de battance. Une fois l'eau arrivée au sol, ces cultures favorisent l'infiltration, ralentissent le ruissellement de surface, maintiennent la rugosité et inhibent le transport de sédiments en suspension et le glaçage.

7.2.9.5. Drainage

L'action du drainage est positive au niveau des petits bassins agricoles. Dans les bassins versants de plusieurs milliers d'hectares, cet effet peut être annulé du fait que le réseau d'assainissement est surdimensionné. Une évaluation de la situation dans le bassin de Tubize ville est donc nécessaire avant de se prononcer.

7.2.10. Autres pratiques^{124, 125}

Pour être complet, il reste à citer quelques pratiques qui n'ont pas été mentionnées ci-dessus.

7.2.10.1. Sens des sillons

La question du sens des sillons par rapport à la pente n'a pas été abordée, tout simplement parce que la littérature consultée n'en parle pas. Des sillons dans le sens de la pente permettent une évacuation plus rapide de l'eau dès le l'amorce du ruissellement diffus. Des sillons parallèles aux courbes de niveau offrent une certaine capacité de stockage, mais on peut craindre qu'une fois les premières brèches apparues dans les sillons, l'eau ne soit capable de provoquer d'autant plus de dégâts que sa masse accumulée est importante. Un compromis serait peut-être un labour dans le sens de la diagonale par rapport à la pente. La question reste ouverte.

7.2.10.2. Compaction des sols

En Wallonie, comme ailleurs en Europe, l'agriculture est une affaire familiale. L'accroissement de la surface des exploitations, véritable « course à la surface » rendue nécessaire pour maintenir la rentabilité de l'exploitation face à la baisse des prix mondiaux, oblige l'agriculteur à s'équiper de

¹²⁴ RW, 'Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007'

¹²⁵ INRA, 'Activités rurales et inondations' (1999)

tracteurs de plus en plus puissants et lourds¹²⁶. La conséquence en est un tassement du sol sous le passage des roues qui augmente avec la pression des pneumatiques et la fréquence des passages, surtout si le ressuyage n'est pas suffisant. Le tassement du sol réduit l'infiltration de l'eau.

7.2.10.3. Fourrières et dérayures

Lors de certaines opérations culturales, il y a deux zones où le tracteur fait demi-tour en relevant l'outil ou en interrompant leur fonctionnement. Ces deux zones sont appelées fourrières et sont travaillées perpendiculairement au reste de la parcelle en fin d'opération. La trace de roue de la fourrière aval constitue un collecteur efficace pour les eaux de ruissellement de l'ensemble de la parcelle. Un autre motif linéaire apparaît du fait que la charrue retourne et déplace latéralement la terre. Le dernier sillon en limite de parcelle ou de fourrière, qui ne peut être comblé, forme la dérayure. Elle peut, du point de vue hydrologique, être comparée à un fossé temporaire.

7.2.10.4. Trace de roues

Les récoltes constituent un moment critique à cause du passage des machines, surtout si celui-ci se fait tard dans la saison, comme c'est de plus en plus le cas pour la betterave, une conséquence de la fermeture de certaines raffineries locales (Brugelette...). Il ne s'agit pas seulement d'arracheuses-chargeuses, mais également des camions qui empiètent parfois sur les champs. Les traces de roues peuvent constituer des amorces de ruissellement. L'état dans lequel certaines entreprises commerciales laissent les champs après la récolte de légumineuses laisse parfois à désirer.

7.2.11. Commentaires

Les pratiques culturales et aménagements passés en revue ont permis d'apprécier de manière semi-quantitative leur impact hydrologique sur les inondations par débordement, distinct parfois de l'impact qu'elles peuvent avoir sur les inondations par ruissellement à flanc de pente. Certaines pratiques sont à recommander. D'autres offrent un bilan mitigé. D'autres enfin sont à proscrire.

L'usage d'engrais organique et le travail du sol sans labour ont un effet positif à long terme. La couverture du sol par une culture hivernale dérobée a un effet positif durant la saison hivernale, tout comme le maintien des prairies dans un bon état hydrologique. Le labour automnal favorise l'infiltration à court terme, plus que le travail du sol sans labour.

Les effets du drainage agricole à l'échelle du sous-bassin dépendent de la qualité du réseau d'assainissement. Le tassement du sol et le creusement d'ornières sont à surveiller. L'amenuisement trop poussé du sol lors de la préparation des lits de semences est à éviter.

Alors que les prairies ont un potentiel d'infiltration et de stockage d'eau élevé, le surpâturage et le manque de soins peuvent les dégrader de manière durable, à un point tel qu'elles peuvent rejoindre, du point de vue hydrologique, les surfaces construites imperméabilisées.

7.3. **Conditionnalité, bonnes pratiques environnementales, et mesures agri-environnementales**^{127, 128}

Si nous avons pu mettre en évidence certaines pratiques culturales intéressantes, il reste à voir comment elles s'intègrent dans le cadre des mesures existantes en Région wallonne, telles qu'instituées par la Politique agricole commune (PAC).

¹²⁶ C'est le tracteur de labour qui est en cause ici. Les autres outils nécessitent en général moins de puissances. Le tracteur de labour suit une règle simple : il faut environ un cheval-vapeur par hectare à labourer.

¹²⁷ SPW-DGO3-DGARNE

¹²⁸ Godden B., 'Agriculture, forêts et environnement' (2007), Ed. PUB/ULB

7.3.1. Conditionnalité (« cross compliance »)

Les aides directes aux agriculteurs sont soumises depuis 2005 aux nouvelles dispositions européennes de la conditionnalité. Elles découlent de la réforme PAC 2003 en vue d'inscrire l'agriculture dans l'évolution de la société et de l'économie. Elles visent des objectifs environnementaux et de conservation du potentiel agricole d'une part et des objectifs de santé d'autre part. Elles constituent le pilier 1 de la PAC¹²⁹.

Tout agriculteur percevant des aides de la Région est tenu de respecter de bonnes conditions agricoles et environnementales.

Le respect de la conditionnalité fait l'objet de contrôles annuels par l'Agence fédérale de la sécurité alimentaire (AFSCA), les services administratifs régionaux de l'agriculture (DGA) et des ressources naturelles et de l'environnement (DGRNE). En cas de non-conformité par rapport aux obligations soumises à la conditionnalité, une sanction peut être appliquée par l'organisme payeur¹³⁰. Les amendes appliquées sous forme de réduction des aides PAC vont en croissant selon la gravité de l'infraction.

La conditionnalité concerne 4 domaines :

1. D.1. Bonnes Conditions agricoles et environnementales (y compris des terres consacrées aux pâturages permanents) (5 thèmes)
2. D.2. Environnement (5 actes)
3. D.3. Santé publique, santé des animaux et des végétaux (9 actes)
4. D.4. Bien-être des animaux (3 actes)

Les cinq thèmes du premier domaine, les BCAE, sont détaillés ci-dessous. (Tableau 31)

¹²⁹ Pilier1 de la PAC. Le soutien de la PAC a été traditionnellement lié aux quantités produites par les exploitations. Elle était donc basée sur une logique productiviste. La réforme de la PAC de 2003 consiste à transformer la majeure partie des aides directes de marché, auparavant octroyées à l'hectare et/ou à la tête de bétail, en un paiement unique par exploitation (PU) défini sur une base historique (les montants reçus dans le passé par chaque produit) et découplé des choix de produits et des volumes offerts. Le PU a comme but principal d'assurer une plus grande stabilité de revenus aux agriculteurs. Il devient désormais le premier régime de soutien de la nouvelle PAC (29% du total des dépenses du FEOGA-Garantie en 2006). En plus du PU, des régimes de soutien particuliers, liés encore à la production, sont maintenus pour une série de produits.

¹³⁰ L'organisme payeur des aides du FEAGA (Fonds européen agricole de garantie) et du FEADER (Fonds européen agricole pour le développement rural) est le Département des aides du SPW-DGARNE

Tableau 31. Domaine D.1. : maintien des pâturages permanents et des bonnes conditions environnementales

Thème 01 : <u>Maintien des pâturages permanent en région wallonne</u>	
Réglementation	Lutte contre les inondations
La Région wallonne a calculé pour 2005 un « ratio de référence » de 40,55 qui correspond au rapport entre les superficies considérées en pâturages permanents et la superficie agricole totale déclarée. Si la diminution est entre 5 et 7,5%, il y a interdiction d'affecter les prairies permanentes à un autre usage. Au-delà de 7,5%, une superficie équivalente de terres cultivées doit être remise en prairie.	Mesure très favorable. Dans le sous-bassin versant de Tubize, ceci signifie le gel du capital prairie qui, autrement, pourrait passer en culture sarclée / non sarclée. Elles maintiennent de bonnes capacités d'infiltration, même en hiver. Il faut éviter le surpâturage.
Thème 02 : <u>Lutte contre l'érosion des sols</u>	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Une parcelle de culture est considérée à risque lorsque plus de 50% de sa superficie ou plus de 50 ares présentent une pente supérieure à 10%. Il y a interdiction de culture de plantes sarclées (maïs, betteraves fourragères, pommes de terre, betteraves sucrières, chicorée, cultures maraîchères de pleine terre), sauf si installation d'une bande enherbée en bordure de la pente et en bordure de la parcelle (6 m de large ; graminées de prairies et légumineuses). Elle ne peut pas être pâturée ni fauchée avant le 01.07.	Mesure favorable. Une bande enherbée a les mêmes caractéristiques qu'une prairie permanente du point de vue de sa capacité d'infiltration, mais les surfaces sont plus petites. La mesure concerne 12.000 ha en Région wallonne.
Thème 03 : <u>Lutte contre l'érosion des sols</u>	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Interdiction de brûlage des pailles, chaumes et autres résidus de récolte.	Mesure très favorable. Elle favorise l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol.
Thème 04 : <u>Maintien de la structure des sols</u>	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Concerne les cultures de légumes intensément irriguées	Non applicable
Thème 05 : <u>Maintien du niveau d'entretien minimal des terres</u>	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Concerne en particulier les parcelles qui ne sont plus exploitées. Elles doivent être maintenues dans de bonnes conditions agricoles et environnementales : lutte contre les adventices ; sur les terres de culture retirées de la production, implantation d'une prairie ; prairies retirées de la production, fauchage une fois par an ; interdiction de destruction d'alignements d'arbres et de haies indigènes ; interdiction de modification du relief du sol sans permis d'urbanisme	Mesures très favorables. Elles maintiennent les prairies en bon état.

7.3.2. Programme de gestion durable de l'azote (PGDA)

Dans le cadre de la protection des eaux de surface et souterraines, le gouvernement wallon transpose le 10 octobre 2002, la Directive Nitrate (91/676 CE) en droit wallon et initie le Programme de Gestion durable de l'Azote en Agriculture (PGDA).

Cette directive impose à chaque état membre les mesures suivantes¹³¹.

1. La désignation de zones vulnérables, surfaces de territoire qui contribuent à la contamination des eaux. Tous les quatre ans, chaque État membre doit, sur base de l'évolution de la qualité des eaux, soit proposer de nouvelles zones, soit réviser l'extension des zones déjà définies. Les zones en Wallonie couvrent aujourd'hui tout le territoire au nord du sillon Sambre et Meuse et le Sud namurois. Elle concerne pratiquement 50% du territoire wallon.
2. L'établissement de programmes d'action et de surveillance des zones vulnérables. Ces programmes doivent définir :
 - i) des restrictions quant aux périodes d'épandage d'effluents agricoles

¹³¹ Vandenberghe C., Jean Marie Marcoen J.M. ; *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 8(2) (2004) 111-8

- ii) des capacités de stockage suffisantes pour ces mêmes effluents
- iii) une limitation des apports de fertilisants et, en particulier pour les fertilisants organiques, une valeur plafond de 170 kg N/ha pour chaque exploitation agricole située en zone vulnérable.

En Wallonie, c'est l'ASBL « NITRAWAL » qui est chargée d'encadrer les agriculteurs, en partenariat avec la FWA¹³², AQUAWAL¹³³ et deux équipes de conseillers scientifiques venus de la FUSAGx et de l'UCL.

3. L'élaboration d'un code de bonnes pratiques agricoles.

Le non-respect des dispositions réglementaires du PGDA est sanctionné. Les aides reçues par l'agriculteur au titre du pilier 1 (conditionnalité) et 2 (MAE, primes bio, régions défavorisées) de la PAC dépendent du respect par l'agriculteur des exigences du PDGA. Des contrôles administratifs sont mis en place, notamment par l'intermédiaire du contrôle en zone vulnérable de l'azote potentiellement lessivable (APL).

Suite à une condamnation de la Région wallonne qui portait sur l'étendue des zones vulnérables et sur les règles de gestion des engrais de ferme, la Région a revu son programme de mesures. Parmi celles-ci, certaines peuvent concerner l'aléa d'inondation. (Tableaux 32 a,b,c)

¹³² FWA : Fédération wallonne de l'agriculture

¹³³ AQUAWAL : représente les producteurs, distributeurs et épurateurs d'eau wallons

Tableau 32a. PGDA ; programme de gestion durable de l'azote

■ Mesures qui s'appliquent à l'ensemble du territoire	
1. Taux de liaison au sol (LS)	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Les ne concernent que l'azote organique. Pour une exploitation, elles sont en moyenne de 230 kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹ pour les prairies et de 115 kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹ pour les cultures. Le taux de liaison au sol (LS) est le rapport entre la quantité d'azote organique accumulée durant un an au sein de l'exploitation et les capacités d'épandage définies par les normes sur la surface totale des cultures et prairies de l'exploitation. La quantité d'azote organique cumulée annuellement est la quantité produite par les animaux (tables : normes de production animalières), plus l'azote organique importé et moins l'azote organique exporté. Si LS < ou = 1, l'exploitation est dite en équilibre. Si LS > 1, l'agriculteur doit soit exporter une partie de l'azote organique, soit s'inscrire dans une démarche de qualité (DQ) qui, sous encadrement de la Région, lui permet d'augmenter les quantités épandues sur ses terres.	Non applicable
2. Périodes d'épandage	
Réglementation	Lutte contre les inondations
L'agriculteur doit respecter un calendrier d'épandage, distinct selon qu'il s'agit de cultures ou de prairies. Trois catégories de fumiers sont prises en compte : i) azote minéral ii) lisier, purin, effluent de volailles et fumier mou iii) fumier et compost Certains épandages sont interdits à certaines périodes. D'autres au contraire sont autorisés sans restriction, comme le compost ou le fumier en prairie. D'autres sont soumis à des conditions.	Mesures favorables. Le calendrier permet un épandage sans restriction du fumier et du compost sur les prairies, alors que pour l'azote minéral et le lisier, etc. il y a des restrictions de la mi-septembre au 1 ^{er} février selon le cas. L'apport d'azote organique sur les prairies est positif pour l'activité des lombrics.
3. Conditions d'épandage	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Des limites sont imposées par rapport à la proximité des cours d'eau, les périodes de gel, les sols inondés, la pente ou la culture des légumineuses.	Non applicable
4. Azote minéral	
Réglementation	Lutte contre les inondations
L'azote minéral livré à l'exploitation doit être documenté par l'archivage des factures.	Non applicable

Tableau 32b. PGDA ; programme de gestion durable de l'azote

■ Mesures qui ne s'appliquent qu'en zone vulnérable	
5. Normes d'épandage	
Réglementation	Lutte contre les inondations
En plus des normes d'épandage 115/230 appliquées partout en Région wallonne, il faut respecter en zone vulnérable une norme supplémentaire de 170 kilos d'azote organique en moyenne par ha par exploitation. La capacité d'épandage de l'exploitation sera la valeur la plus faible de deux : soit les normes d'épandage de 115 kg en cultures et 230 kg en prairies, soit 170 kg par ha.	Non applicable
6. Couvertures de sol	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Une des mesures les plus efficaces contre le lessivage des nitrates d'origine agricole est la couverture du sol après récolte. 75% des surfaces qui sont récoltées avant le 1 ^{er} septembre et qui seront suivies l'année suivante d'une culture de printemps devront être couvertes par des cultures piège à nitrate (CIPAN) implantées avant le 15 septembre, et détruites après le 30 novembre.	Mesure très favorable. La CIPAN protège le sol de la pluie et du ruissellement en hiver. Le sous-bassin versant de Tubize ville se trouve entièrement en zone vulnérable.
7. Labour des prairies permanentes	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Le labour d'une prairie permanente libère d'importantes quantités d'azote. Lorsque le retournement a lieu en automne, l'azote libéré par minéralisation risque d'être lessivé vers la nappe phréatique. L'implantation d'une CIPAN, même rapidement après le labour, ne réussit pas à piéger l'azote à cause de sa croissance insuffisante en hiver. Le labour des prairies permanentes n'est autorisé qu'entre le 1 ^{er} février et le 31 mai. Une fois retournée, il y a des restrictions pour l'épandage d'engrais et d'implantation de légumes et légumineuses. Les cultures de lin et de pois ne sont pas comptabilisées.	Mesure favorable. Le retournement de la prairie après l'hiver permet qu'elle continue, pendant cette ultime mauvaise saison, l'infiltration de l'eau bien mieux qu'une terre nue.
8. Conditions d'épandage	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Des limites sont imposées par rapport à la proximité des cours d'eau, des périodes de gel, des sols inondés, la pente ou la présence d'une légumineuse.	Non applicable
9. Conditions d'épandage supplémentaires sur sol gelé	
Réglementation	Lutte contre les inondations
L'épandage de fumier sur un sol dont la température en surface est négative pendant plus de 24 heures en continu ne pourra plus être effectué.	Non applicable
10. Les APL¹³⁴ : suivi des fertilisations par des analyses de sol.	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Si le taux de liaison au sol fixe le cadre d'une bonne gestion de l'azote organique, il ne permet pas de contrôler l'ensemble des intrants en fertilisants. C'est la raison pour laquelle un programme de contrôle de l'azote potentiellement lessivable a été mis en place. L'APL est déterminé sur trois parcelles de 300 exploitations wallonnes et comparé à des mesures faites sur 20 parcelles de référence distribuées dans toute la Wallonie et ayant porté la même classe de culture (betterave, céréales avec CIPAN, céréales sans CIPAN, maïs, pomme de terre, colza, légumes et prairies). Les prélèvements sont faits en novembre et en décembre. En cas de non-conformité, un suivi et de nouveaux contrôles sont organisés par la Région jusqu'à ce que deux années consécutives présentent une situation conforme. Des amendes sont prévues quand les contrôles sont négatifs durant trois années, consécutives ou non.	Non applicable

¹³⁴ APL : azote potentiellement lessivable

Tableau 32c. PGDA ; programme de gestion durable de l'azote

■ Mesures qui ne s'appliquent qu'en zone vulnérable (suite)	
11. Épandage d'azote minéral sur culture en pente	
Réglementation	Lutte contre les inondations
L'interdiction d'épandre de l'azote minérale s'applique dans les mêmes conditions que pour le thème 2 de la Conditionnalité, ainsi que quand une bande herbeuse a été implantée. Il y a une condition supplémentaire : aucun côté de la parcelle ne peut se trouver à moins de 30 m d'une eau de surface.	Mesure très favorable. Les fertilisants organiques sont favorisés, et donc le COT dans le sol. L'interdiction de cultiver une parcelle proche d'une rivière ralentit les transferts des cultures sarclées vers le réseau hydrographique.
12. La mise aux normes des infrastructures de stockage.	
Réglementation	Lutte contre les inondations
Des échéances sont fixées pour la mise aux normes en fonction de la quantité d'azote organique produite en 2005. La date de mise aux normes initie le calendrier des épandages (mesure 2)	Non applicable

7.3.3. Mesures agri-environnementales (MAE)

Les mesures agri-environnementales ont pour objectif d'encourager la mise en œuvre d'actions volontaires de conservation et d'aménagement de la qualité de l'environnement. Apparues à la fin des années '80, elles ont été généralisées avec la réforme de la PAC en 1992 (Règlement 2078/92/CE). Elles vont au-delà des critères de conditionnalité et de bonnes pratiques agricoles déjà évoquées. Les MAE sont encadrées au niveau de l'Union européenne par le règlement 1257/99/CE (modifié par le règlement 812/2004/CE) qui définit les mécanismes de compensation financière, c'est-à-dire les primes. Les MAE sont rattachées au pilier 2 de la PAC. Elles font partie du Plan de développement rural wallon.

Les MAE comprennent 10 mesures réparties en deux grandes catégories : les mesures de base (1 à 7) et les mesures ciblées (8 à 10). Ces dernières, à plus fort potentiel environnemental, incluent la possibilité pour l'exploitant agricole de définir un plan d'action environnemental. Excepté pour les animaux (actions 6 et 7), les primes destinées aux mesures de base peuvent être majorées en fonction de leur pertinence environnementale, par exemple en site Natura 2000. L'accès aux actions ciblées est conditionné à un avis technique favorable de la Direction de l'espace rural.

Les MAE n'ayant pas de caractère contraignant, leur bilan doit être apprécié en fonction de ce qui a été réalisé depuis 1995. À titre d'exemple, en 2005, 16,8% de la SAU totale des cultures de printemps ont bénéficié d'une couverture du sol en hiver dans le cadre des MAE.

Le bilan de l'application des MAE utiles à la lutte contre les inondations dans le sous-bassin versant de Tubize ville reste à faire.

Tableau 33. MAE, mesures agri-environnementales

N°	Méthode	Objectif environnemental	% atteint	Lutte contre les inondations
Méthodes de base				
1	<u>Éléments du réseau écologique et du paysage</u>			
1a	Haies et bandes boisées	Protection de la biodiversité (hors milieux humides)	6,5 (2005) (1)	oui
1b	Arbres, arbustes ou buissons isolés, arbres fruitiers isolés, arbres fruitiers à haute tige et bosquets	Protection de la biodiversité (hors milieux humides)		oui
1c	Mares	Protection de la biodiversité (milieux humides)		non (6)
2	<u>Prairie naturelle</u>	Protection de la biodiversité (hors milieux humides)		oui
3	<u>Bordures herbeuses extensives</u>			
3a	Tournière enherbée en bordure de culture	Lutte contre l'érosion		oui
3b	Bande de prairie extensive le long de cours d'eau, plan d'eau, réserve naturelle et Z.H.I.B. (5)	Lutte contre l'érosion	5,5+16,0 (2006) (2)	oui
4	<u>Couverture hivernale du sol</u>	Lutte contre la contamination diffuse	16,8 (2005) (3)	oui
5	<u>Culture extensive de céréales</u>	Lutte contre la contamination diffuse	1,8 (2005) (4)	n.a.
6	<u>Animaux de races locales menacées</u>	Protection de la biodiversité		n.a.
7	<u>Faible charge en bétail</u>	Lutte contre la contamination diffuse		oui
Méthodes ciblées				
8	<u>Prairie de haute valeur biologique</u>	Lutte contre la contamination diffuse		oui
9	<u>Bandes de parcelles aménagées</u>	Lutte contre l'érosion		oui
10	<u>Plan d'action agro-environnemental</u>			oui

(1) limites cumulées des parcelles agricoles

(2) longueur des berges des cours d'eau situés en zone agricole

(3) SAU totale des cultures de printemps

(4) SAU totale des céréales

(5) ZIHB : zone humide d'intérêt biologique

(6) Une mare, comme tout corps d'eau de surface, peut être assimilée à une surface imperméable d'un point de vue hydraulique.

7.3.4. Commentaires

Les différents programmes agricoles et environnementaux mis en place dans le cadre des directives européennes et retranscrites en droit wallon contiennent des éléments qui contribuent à limiter l'aléa d'inondation. Certaines mesures sont sans intérêt, mais aucune n'a d'effet négatif parce que tant au niveau de la conditionnalité que du PGDA, ces programmes visent à contrôler les flux hydriques (infiltration et ruissellement) et à empêcher le transport de charges inertes (les sédiments) ou de composés chimiques (ici, l'azote lessivable).

La Conditionnalité et le PGDA ont un caractère contraignant, ce qui garantit leurs effets. Mais les MAE ne sont pas à négliger pour autant comme le montrent les progrès faits dans leur mise en œuvre en Wallonie depuis 1995.

Les possibilités de l'agriculture biologique n'ont pas été abordées. C'est un travail qui reste à faire, car ce mode de production est porteur du point de vue des bonnes pratiques agricoles, et

donc hydrologiques. Nous pensons par exemple à la plus faible charge en bétail et à la restitution du carbone organique au sol par l'usage d'engrais organique.

7.4. Conclusion

Par rapport à l'aléa d'inondation hivernal à Tubize, les pratiques agricoles passées en revue confortent les conclusions de l'étude du ruissellement diffus mis en évidence avec la méthode SCS.

Les pratiques intéressantes sont celles qui ont une influence en hiver, durant la période défavorable en ce qui concerne l'hydrologie qui va de la fin décembre à la fin mars. Parmi les plus prometteuses, on peut citer le maintien de prairies de qualité et les cultures dérobées avant les cultures de printemps. Ensuite viennent les méthodes de travail du sol et, sur le long terme, la teneur en carbone organique total dans le sol.

Les bonnes pratiques agricoles susceptibles de diminuer la fréquence des inondations à Tubize en hiver sont

- **la couverture du sol après la récolte** (mesure à court terme),
- **l'extension des prairies et/ou l'amélioration de leur qualité** (court et moyen terme) et
- **l'augmentation du carbone organique total dans le sol par un apport d'engrais organique et un travail du sol approprié** (long terme).

8. Perspectives

Le sous-bassin amont de la Senne à Tubize n'a plus rien de naturel.

À l'époque lointaine où la Senne et ses affluents sont nés, le plateau limoneux était une toundra qui s'est progressivement couverte de forêts. D'abord est venue la taïga de conifères et de bouleaux et plus tard, une forêt dense peuplée de chênes dont la Gaule semble avoir tiré son surnom de « chevelue »¹³⁵. Les plus grands bouleversements touchant aux inondations ne sont pas d'époque récente, ni même le fait des derniers siècles. Ils sont le résultat de milliers d'années de défrichements qui, surtout à partir du XI^e siècle, ont vu disparaître la forêt au profit de pâturages et de cultures. L'énorme éponge forestière, au pouvoir d'absorption inégalable, a progressivement fait place à des surfaces agricoles, non bâties certes, mais moins perméables à l'eau.

Les inondations ont une origine diffuse et dispersée. C'est ce qui rend leur étude difficile. L'eau provient de partout. Contrairement à certaines pollutions industrielles qui ont une origine ponctuelle et qui se dispersent ensuite, l'eau suit le chemin inverse. En dévalant nos pentes, elle se concentre de plus en plus. Pas définitivement bien sûr, car au bout du voyage il y a l'Escaut, son embouchure et la Mer du Nord où l'eau de notre Senne finit par se perdre dans les immenses masses salées.

Cette concentration passagère nous a amenés à lutter contre les inondations là où elles nous semblaient moins difficiles à dompter, dans et autour du lit mineur des rivières. Partout où c'était possible, on a voûté, canalisé, renforcé les berges et coupé les méandres. Tout était bon pour évacuer les crues le plus rapidement possible. Ces aménagements offrent certes des solutions et ils remportent généralement l'adhésion des riverains, mais n'aggravent-ils pas les soucis des populations de l'aval ?

Notre travail a choisi une démarche inverse. Au lieu d'intervenir sur les conséquences, pourquoi ne pas s'attaquer aux sources ?

L'agriculture est, comme toutes nos activités, une source potentielle de pollution, avec une particularité importante : les pollutions agricoles sont de nature diffuse et donc elles sont difficiles à maîtriser. Et, sauf pour le protoxyde d'azote qui est un puissant gaz à effet de serre, c'est l'eau qui sert de vecteur. Le monde agricole en est conscient. Depuis que l'Union européenne a, dans le cadre de la Politique agricole commune, mis en place son second pilier, les agriculteurs participent pleinement à la lutte contre les pollutions en adaptant leurs pratiques culturelles.

Le Contrat de rivière se veut être un organe de concertation. Il vise la participation active de toutes les personnes qui se sentent concernées par l'eau et désireuses d'unir leurs forces pour la gestion intégrée et durable du bassin hydrographique.

Pour que le dialogue soit possible, il faut savoir de quoi on parle. Les faits doivent être solidement étayés et connus de tous. Le présent mémoire n'innove en rien. Il rassemble simplement un savoir déjà détenu par différents secteurs de notre entourage : « SOS – Inondations Senne » et le Corps des pompiers de Tubize pour le vécu des habitants et les efforts des autorités communales de Tubize pour leur venir en aide, la Direction des cours d'eau non navigables pour l'étude de l'hydrologie du sous-bassin et la DGARNE, avec le Département d'Hydrologie et d'hydraulique agricole de la FUSAGx, pour les données sur le ruissellement diffus.

Au terme de ce travail, nous nous en remettons à l'appréciation du lecteur attentif en lui demandant son indulgence : ce n'est qu'une ébauche. Nous serions reconnaissants à toutes celles et à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation, et aux autres, de nous faire partager leurs remarques, suggestions et critiques. Elles seront les bienvenues.

Nous aimerions mettre ce travail au service des différents acteurs du sous-bassin de la Senne: riverains, autorités communales, entreprises et, bien sûr, nos agriculteurs. Le groupe de travail « agriculture » du Contrat de rivière Senne est un lieu privilégié pour amorcer le dialogue avec les agriculteurs de notre sous-bassin. Nous serons à leur écoute.

¹³⁵ « A. Vitellio L. Vipstano consulibus cum de supplendo senatu agigaretur primoresque Galliae, quae Comata appellatur, foedera et civitatem Romanam pridem adsecuti, ius adipiscendorum in urbe honorum expeterent, multus ea super re variusque rumor » Tacitus G.C., in « *AnnAlia* », XI(23) (56-117)

Dans la mesure où notre modeste travail aura intéressé quelques-uns de ceux qui, comme moi, aiment notre rivière, la Senne, il aura été utile.



ANNEXE I

Réponse hydrologique d'un bassin versant

1.	Bassin versant, événement de pluie et réponse hydrologique: notions de base	100
1.1.	<u>Bassin versant</u>	100
1.2.	<u>Événement de pluie</u>	100
1.3.	<u>Réponse hydrologique</u>	101
2.	Caractéristiques de base de la réponse hydrologique	102
3.	Paramètres du bassin versant	103
3.1.	<u>Paramètres géométriques</u>	103
3.2.	<u>Paramètres hydrographiques</u>	103
3.3.	<u>Paramètres géologiques</u>	104
3.4.	<u>Occupation du sol et coefficient de ruissellement</u>	104
3.5.	<u>Caractéristiques agropédologiques</u>	104
4.	Précipitations	105
4.1.	<u>Hyétogramme et caractéristiques</u>	105
4.2.	<u>Averse et débit de pointe à l'exutoire</u>	106
4.3.	<u>Détermination de la moyenne des précipitations sur une superficie donnée</u>	106
4.4.	<u>Courbes IDF</u>	106
5.	Écoulements	107
5.1.	<u>Infiltration</u>	107
5.2.	<u>Écoulements vers le réseau hydrographique</u>	108
5.2.1.	Ruissellement de surface	109
5.2.2.	Ruissellement hypodermique	109
5.2.3.	Écoulement souterrain	109
6.	Fonctions de production et de transfert	109
7.	Interprétation de l'hydrogramme	110

Réponse hydrologique d'un bassin versant ^{136, 137, 138}

1. Bassin versant, événement de pluie et réponse hydrologique: notions de base

1.1. Bassin versant

Définitions

- Le bassin versant est la zone géographique qui possède un exutoire commun pour les eaux de surface.

Corollaire : **un bassin versant est entièrement défini par son exutoire.**

Le bassin versant topographique est défini par la topographie. Il s'inscrit à l'intérieure de la ligne de partage des eaux déterminée par les courbes de niveau.

Le bassin versant hydrogéologique. Le soubassement géologique peut transférer des masses d'eau entre bassins topographiques adjacents. C'est le cas lorsque, à la limite de deux bassins topographiques adjacents, l'eau infiltrée dans un sol perméable glisse sur un substrat imperméable (marne, schiste...) et est dirigée vers le bassin versant voisin. Les masses d'eau ainsi déviées doivent être comptabilisées par rapport aux eaux provenant du bassin topographique.

Le bassin versant réel. Les activités humaines peuvent, à leur tour, modifier le bassin versant hydrogéologique. En effet, les routes, les réseaux de distribution d'eau potable, l'égouttage, les canaux ou l'aménagement et le travail des surfaces agricoles sont des éléments susceptibles de dévier des masses d'eau d'un bassin versant vers un autre. Ces transferts définissent le bassin versant réel.

1.2. Événement de pluie

L'événement de pluie est à la base de la réponse hydrologique et se caractérise par une intensité et une durée.

Définitions

- La pluie totale P_T est la hauteur moyenne de la lame d'eau reçue par le bassin versant pendant une durée considérée¹³⁹.

Elles sont équivalentes aux précipitations, c'est-à-dire à la somme de toutes les eaux météoriques qui tombent sur le bassin versant, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle), ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).

- La pluie effective ou pluie brute P_B est la hauteur de pluie qui arrive effectivement au sol. C'est la pluie totale moins l'interception I , la partie restée accrochée aux plantes après l'averse.

$$P_B = P_T - I$$

L'interception I par la végétation est difficile à évaluer, mais elle peut être supérieure à 50 % pour certains couverts forestiers sur base annuelle !

¹³⁶ A. Musy, 'Hydrologie générale', EPFL, 2005

¹³⁷ A. Degré, 'Hydrologie Générale', 2009

¹³⁸ G. Bertrand, TFE : 'La gestion des risques liés aux inondations. Quelle politique en Région wallonne ?', ULB/IGEAT, 2004

¹³⁹ Précipitations, évaporation, évapotranspiration, interception, stockage, infiltration, percolation et écoulements de surface et hypodermique font référence à la hauteur d'eau et s'expriment généralement en volume/surface/temps ou $L^3.L^{-2}.t^{-1}$ ou $L.t^{-1}$ ($l.ha^{-1}.s^{-1}$, mm/jour ...). Les écoulements souterrains des nappes vers le réseau hydrographique et dans ce réseau lui-même font référence au débit et s'expriment en volume/temps ou $L^3.t^{-1}$ ($m^3.s^{-1}$). Les enregistrements pluviographiques du réseau de mesure des DGO2 et DGO3 de la Région wallonne sont des mesures de la pluie totale ou précipitations, P_T .

- L'infiltration F désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement vertical de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et des effets de pression. L'infiltration est nécessaire pour renouveler le stock d'eau du sol, alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves aquifères. En absorbant une partie des eaux de précipitation, elle réduit les débits de ruissellement. La percolation représente l'infiltration profonde, l'écoulement de l'eau dans le sol en direction de la nappe phréatique, sous la seule influence de la gravité. Ce processus fait suite à l'infiltration.
- Le stockage St est l'eau retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant et après une averse.
- La pluie nette R ou ruissellement représente la quantité de pluie qui ruisselle sur la surface du terrain. Elle est équivalente à la pluie effective moins les pertes, c'est-à-dire la fraction infiltrée dans le sol F et moins la fraction stockée St . On considère comme négligeable l'évapotranspiration ETR pendant l'événement de pluie.

$$R = P_B - F - St [- ETR]$$

Le ruissellement R comprend d'une part le ruissellement de surface qui est le mouvement de l'eau sur la surface du sol, et d'autre part le ruissellement hypodermique qui est un mouvement de l'eau selon la pente du terrain dans les premières couches du sol. Pour ce dernier, on fait la distinction entre un ruissellement hypodermique rapide et lent. Dans le modèle SCS¹⁴⁰, appliqué en hydrologie agricole au niveau des bassins versants de la Région wallonne, le ruissellement considéré n'est pas le ruissellement pur de surface, mais le ruissellement direct (ou pluie efficace) P_E qui engendre les crues, c'est-à-dire l'écoulement de surface plus le ruissellement hypodermique rapide.

- L'évaporation E est le passage de l'eau liquide à la phase vapeur. Il s'agit de l'évaporation physique à partir des plans d'eau, du sol, de diverses surfaces construites et de l'eau déposée à la surface du couvert végétal.
- L'évapotranspiration ET est la transpiration suivie de l'évaporation de l'eau par les plantes. C'est, pour une part importante, un processus physiologique. On distingue l'évapotranspiration réelle et l'évapotranspiration de référence.
- L'évapotranspiration réelle ETR est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées à partir du sol, doté d'une certaine humidité, et transpirées par les plantes qui le couvrent, à leur stade de développement physiologique et dans des conditions sanitaires spécifiques. Elle traduit la réalité de terrain.
- L'évapotranspiration de référence ou potentielle ET_o ou ETP est une valeur de référence qui correspond à la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un gazon (fétuque manade) de 7 cm de hauteur, couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et au sein d'une parcelle suffisamment grande.

Si le rôle de l'évaporation et de l'évapotranspiration peut être négligé durant l'averse, ces dernières constituent néanmoins une des composantes fondamentales du cycle hydrologique dont les bilans sont établis sur des périodes plus longues, par exemple un an. Le terme évaporation désigne parfois abusivement la somme de l'évaporation stricto sensu et de l'évapotranspiration.

1.3. Réponse hydrologique

Définition

¹⁴⁰ Nous ajoutons l'écoulement hypodermique rapide à la fraction qui ruisselle 'strictement' en surface ; c'est l'approche adoptée dans le modèle CSC du US Soil Conservation Service, actuellement USDA Natural Resources Conservation Service.

- La réponse hydrologique est la manière dont réagit le bassin versant lorsqu'il est soumis à une sollicitation.

La réponse hydrologique est décrite par la variation dans le temps du débit Q_{tot-BV} à l'exutoire du bassin versant associé BV suite à un ou plusieurs événements météorologiques sur ce même bassin.

Pour la mesurer, on dispose de deux types d'enregistrements :

- l'hyétogramme, qui est l'enregistrement des hauteurs P_T de pluie incidente, mesurées durant des intervalles (pas) de temps t définis, sur la durée d de l'événement, obtenu à partir d'un pluviomètre ou d'un pluviographe automatique et
- l'hydrogramme, qui est l'enregistrement des débits Q_{tot-BV} d'un cours d'eau à l'exutoire mesurés durant des intervalles de temps t définis, sur la durée d de l'événement, obtenu à partir d'un limnimètre ou limnigraphe automatique¹⁴¹.

2. Caractéristiques de base de la réponse hydrologique

La caractérisation complète de la réponse hydrologique est fournie par l'hydrogramme. Il existe des outils mathématiques qui permettent de calculer la courbe des débits pour des événements de pluie caractérisés par leur hyétogramme, une fois définis les paramètres significatifs du bassin versant.

Nous nous bornerons ci-dessous à définir certaines caractéristiques élémentaires, les débits et les temps caractéristiques, permettant de faire apparaître certaines constantes fondamentales entre, d'une part, les caractéristiques de la crue et, d'autre part, celles de la pluie et du bassin versant.

Définitions

- Le temps de temps t_m est le temps qui s'écoule entre l'arrivée à l'exutoire des premières fractions de l'écoulement de surface (décelable au limnigraphe) et le maximum de l'hydrogramme.
- Le temps de réponse du bassin t_p (ou "lag" en anglais) est l'intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de la crue (ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface).
- Le temps de base, t_b , est la durée du ruissellement direct, c'est-à-dire la longueur sur l'abscisse des temps de la base de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- Le débit total Q_{tot} est constitué de la somme du débit de base Q_o qui provient des nappes phréatiques et du ruissellement : ruissellement de surface, ruissellement hypodermique rapide et ruissellement hypodermique lent ou différé.
- Le débit de pointe $Q_{tot-max}$ est le maximum instantané atteint par le flux total au cours de la crue. En cas d'inondation on fait référence à la hauteur maximale de crue $H_{tot-max}$ qui est le niveau maximum atteint par les eaux.
- Le temps de concentration $t_{c,i}$ à partir d'un point i du bassin est la durée maximale mise par une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre ce point et l'exutoire.

La courbe isochrone est le lieu des points de temps de concentration identique. L'isochrone la plus éloignée de l'exutoire représente le temps mis pour que toute la surface du bassin versant contribue au flux à l'exutoire après une averse uniforme. Le tracé du réseau des isochrones permet de comprendre en partie le comportement hydrologique d'un bassin versant et l'importance relative de chacun de ses sous-bassins.

¹⁴¹ La limnimétrie mesure la hauteur de l'eau. Une courbe de calibration, basée sur des mesures de débit indépendantes et rapportées aux mesures de hauteur du limnimètre, permet, après saisie de la « courbe de calibration » par l'instrument, de calculer les débits de manière automatique.

Le temps de concentration $t_{c, BV}$ à l'échelle du bassin versant est le temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin pour lequel la durée de parcours est la plus longue. Pratiquement, on estime que t_c est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (c-a-d. la fin de l'écoulement de surface).

$$t_{c, BV} = \max(\sum(t_h + t_r + t_a))$$

où

- t_h : temps d'humidification
- t_r : temps de ruissellement ou d'écoulement du ruissellement de surface et hypodermique rapide jusqu'au système de collecte
- t_a : temps d'acheminement à travers le système de collecte en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement

Il est important de noter que si la réponse hydrologique dépend en même temps de l'averse et du bassin versant, certaines de ses caractéristiques sont seulement liées au bassin versant et sont indépendantes de l'averse.

- Les temps t_m , t_p , t_b de montée, de réponse et de base, et le débit de pointe $Q_{tot-max}$ ou la hauteur d'eau maximale $H_{tot-max}$ dépendent des précipitations et du bassin versant.
- Les temps de concentration $t_{c,i}$ et $t_{c, BV}$ sont des caractéristiques propres du bassin versant.

3. Paramètres du bassin versant

Paramètres géométriques

- La surface. Lors d'une précipitation uniformément répartie sur un bassin versant, la quantité d'eau drainée vers l'exutoire varie, abstraction faite du débit de base, directement en fonction de la surface du bassin. Le débit maximum et la durée des crues varient en raison directe de la surface.
- La forme. Elle influence l'allure de l'hydrogramme. Les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront de plus forts débits de pointe. Le contraire est vrai pour les bassins de forme allongée, à cause des temps de concentration plus longs. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser la forme du bassin. Parmi ceux-ci, citons l'indice de compacité de Gravelius ($K_G \geq 1$) qui se définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface. Plus K_G est élevé, plus le bassin est allongé. Le temps de concentration $t_{c, BV}$ varie en raison directe de K_G , tandis que le débit maximum $Q_{tot-max}$ varie en raison inverse.
- Le relief. Il détermine les pentes qui, pour le ruissellement de surface, sont un facteur important pour les temps de concentration. Deux approches sont pertinentes.

L'allure générale de la pente, de la façon dont elle est rendue par la courbe hypsométrique¹⁴² permet de rendre compte de la dynamique d'ensemble de l'écoulement vers l'exutoire.

La pente joue également un rôle très important à l'échelle locale, au niveau des petits bassins agricoles d'ordre 0 (Strahler) par exemple. Le territoire est divisé en éléments (pixels ?) de 1x1 km, 10x10 m, On détermine pour chaque élément une pente moyenne qui contribuera localement à la hauteur et à la vitesse de ruissellement avant que les flux ne se concentrent dans le réseau hydrographique. Les pentes élémentaires permettent de calculer la moyenne pondérée des pentes pour l'ensemble du bassin versant. Le temps de concentration du bassin versant $t_{c, BV}$ et le débit de pointe $Q_{tot-max}$ à l'exutoire varient en raison directe de la pente. Les pentes des parcelles élémentaires sont utilisées en hydrologie agricole pour déterminer les taux de ruissellement diffus.

Paramètres hydrographiques

¹⁴² Courbe synthétique du relief qui exprime la fraction de la superficie d'un bassin situé au-dessus d'une altitude donnée.

Définition

Le réseau hydrographique est l'ensemble des masses d'eau, naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, qui participe à l'écoulement concentré ; lacs et réservoirs en font partie.

Ce réseau a été façonné par la géologie, le climat et l'intervention humaine. Avec le ruissellement concentré non permanent des 'thalwegs', il constitue le vecteur de la phase rapide de l'acheminement des eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. Le ruissellement diffus, superficiel ou hypodermique, constitue, avec l'écoulement de base à partir des aquifères, une phase d'écoulement plus lente.

Citons en quelques caractéristiques importantes de l'hydrographie du bassin versant.

- La topologie. Elle fait appel à une classification des tronçons d'écoulement par ordre de drainage, comme dans la classification de Strahler (1957).
- Les longueurs et les pentés caractéristiques comme la longueur du bassin versant, la longueur du cours d'eau principal, le profil longitudinal du cours d'eau et de ses affluents, leurs pentes moyennes...
- Le degré développement du réseau avec
 - la densité de drainage ou la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant
 - la densité hydrographique ou le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface
 - le rapport de confluence ou le rapport du nombre de segments de cours d'eau d'un ordre de Strahler donné au nombre de segments d'un ordre immédiatement supérieur ; ce rapport influence directement la forme de l'hydrogramme à l'exutoire et est lié à la forme du bassin lui même.

Paramètres géologiques

Nous avons vu que les formations géologiques influencent le ruissellement de surface et souterrain. Elles jouent un rôle important au niveau des aquifères qui alimentent le flux de base du réseau hydrographique.

En résumé, on peut dire que dans une approche globale de la réponse hydrologique du bassin versant, la géologie, et plus particulièrement l'hydrogéologie, déterminer les flux souterrains et les débits de base des cours d'eau ; l'hydraulique détermine tous les flux dans le réseau hydrographique. Avec l'hydrologie agricole, qui fera l'objet d'un traitement plus détaillé dans la suite, ils constituent les trois piliers des modèles mathématiques d'étude des crues en temps réel à l'échelle du bassin versant.

Occupation du sol et coefficient de ruissellement

L'occupation du sol est une des caractéristiques les plus importantes du bassin versant. On y associe souvent un indice synthétique, le coefficient de ruissellement C_r .

Définition

- Le coefficient de ruissellement C_r est le rapport du volume d'eau du ruissellement R au volume d'eau précipitée P_T .

$$C_r = R / P_T$$

Il peut être utilisé pour évaluer le ruissellement sur une parcelle agricole comme à l'échelle de bassins versants entiers.

Le coefficient de ruissellement dépend d'une part de l'événement de pluie, de son intensité et de sa durée, et d'autre part des caractéristiques du sol : nature, occupation, humidité et pente. Une zone artificialisée - ville, zone industrielle ou voies de communication avec ses toitures et surfaces goudronnées - possède un coefficient de ruissellement élevé, c'est-à-dire proche de 1. Par contre, il est faible pour une surface forestière. Les terres agricoles ont des valeurs intermédiaires.

Caractéristiques agropédologiques

Elles sont importantes dans les bassins versants à caractère rural, dont celui de la Senne à Tubize-ville. Les principaux facteurs qui agissent sur le ruissellement¹⁴³ d'origine agricole sont la nature du sol, le taux d'humidité, la pente et l'état du sol et de la couverture végétale.

- La nature des sols : composition, substrat, état du drainage, etc. Un sol limoneux profond bien drainé et en pente aura une capacité d'infiltration meilleure qu'un sol argileux mal drainé en fond de vallée. Les sols sont classés par groupe hydrologique en fonction de leur infiltrabilité.
- Le taux d'humidité. Plus il est élevé, plus important est le ruissellement. Il dépend de l'historique des précipitations précédentes et du drainage. Il évolue au cours de l'événement de pluie considéré.
- La pente. Le ruissellement augmente en raison directe de la pente.
- L'état du sol et la couverture végétale.

L'état du sol est caractérisé par sa structure, sa texture, son degré de compaction, la microfaune, la présence de chaumes, la teneur en matière organique, etc.... Il est le résultat de facteurs naturels (saisons, climat, nature du sol, intempéries ...) et des pratiques culturales (labour, passage d'engins, présence de chaumes, type d'engrais, présence d'ornières et de traces de roues...).

En ce qui concerne la couverture végétale, l'hydrologie agricole fait la distinction entre cultures de type sarclée, non sarclée ou prairies. Elle tient compte des saisons, du stade de développement végétatif, de la densité de la couverture végétale.

4. Précipitations

4.1. Hyétoqramme et caractéristiques

Du point de vue hydrologique, une averse est localement entièrement caractérisée par son hyétoqramme (fig. 32).

- La hauteur des précipitations $P_{T, n-1, n}$ exprimé en mm ou en pouces, est enregistrée par pas de temps $t_{n-1, n}$ choisis les plus courts possible, mais dépendant en réalité du type d'équipement de mesure utilisé.
- Le temps t_o de commencement et t_f de fin d'averse. En cas d'averses successives, il y a lieu, afin de déterminer s'il s'agit d'averses séparées ou d'un seul tenant, de faire des hypothèses sur les valeurs seuils pour la durée des intervalles et les hauteurs précipitées durant ces intervalles.
- La durée de l'averse $d = t_f - t_o$ est constitué de la somme des pas de temps $t_{n-1, n}$.

$$d = \sum_{n=1}^f (t_{n-1, n})$$

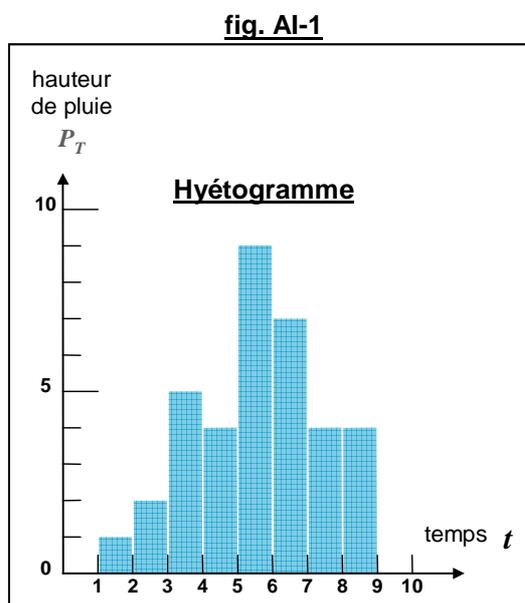
- L'intensité de la précipitation $i_{n-1, n}$ est définie par la hauteur d'eau précipitée $P_{T, n-1, n}$ durant le pas de temps $t_{n-1, n}$ multipliée par la surface arrosée A , généralement celle du bassin versant, et divisée par le temps $t_{n-1, n}$.

$$i_{n-1, n} = P_{T, n-1, n} * A / t_{n-1, n}$$

¹⁴³ Le **ruissellement diffus d'origine agricole** se situe, par essence, en amont du ruissellement concentré, avant qu'il ne se concentre dans les talwegs, drains, fossés ou cours d'eau. Nous avons relevé plusieurs définitions.

- Écoulement de l'eau à la surface du sol sous forme de filets anastomosés ou d'une pellicule d'eau, à la suite d'averses violentes (Dictionnaire Larousse).
- Ruissellement partagé en multiples filets divagants, sur des surfaces légèrement convexes ou peu inclinées sur lesquels des obstacles mineurs (petits fragments rocheux, pousses végétales) suffisent à diviser l'écoulement ; si le volume est important, une véritable pellicule peut couvrir le versant (C. Le Cœur, J.P. Amat, L. Dorize, E. Gautier, 'Éléments de géographie physique', Ed. Bréal)

L'intensité maximale précipitée durant un événement de pluie de durée d dépend du pas de temps $t_{n-1, n}$ choisi. Dans notre exemple présenté ci-dessous, on peut aisément vérifier que pour des temps $t_{n-1, n}$ de 1, 4 ou 8 (unités arbitraires), l'intensité i_{max} vaut successivement 9, 6 ou 4,5 (unités arbitraires) (fig. A1-1).



4.2. Averse et débit de pointe à l'exutoire

L'hydrogramme à l'exutoire dépend de la répartition spatiale de l'averse, de ses variations d'intensité et surtout de sa durée totale.

Pour des averses de durée différente, mais ayant chacune précipité le même volume d'eau, celle qui produira le débit de pointe $Q_{tot-max}$ le plus élevé sera celle dont la durée aura une valeur égale ou supérieure au temps de concentration t_c du bassin versant.

4.3. Détermination de la moyenne des précipitations sur une superficie donnée

Les précipitations moyennes sur la surface d'un bassin sont estimées en combinant les mesures provenant de plusieurs stations météorologiques. Une méthode courante est celle des polygones de Thiessen. À chaque station est attribuée une surface A_s délimitée par les médiatrices des droites joignant deux stations pluviométriques adjacentes, s et $s+1$, et par la ligne de partage des eaux du bassin versant topographique. La précipitation moyenne pondérée est calculée comme suit :

$$P_{T,moy} = (\sum P_{T,s} * A_s) / A$$

où $P_{T,s}$ est la lame précipitée à la station s et A est la surface du bassin versant

4.4. Courbes IDF

Pour dimensionner des ouvrages ou des aménagements hydrauliques, il est indispensable de disposer de débits de référence. Ce sont les débits de projet qui sont eux-mêmes liés à des pluies de projet.

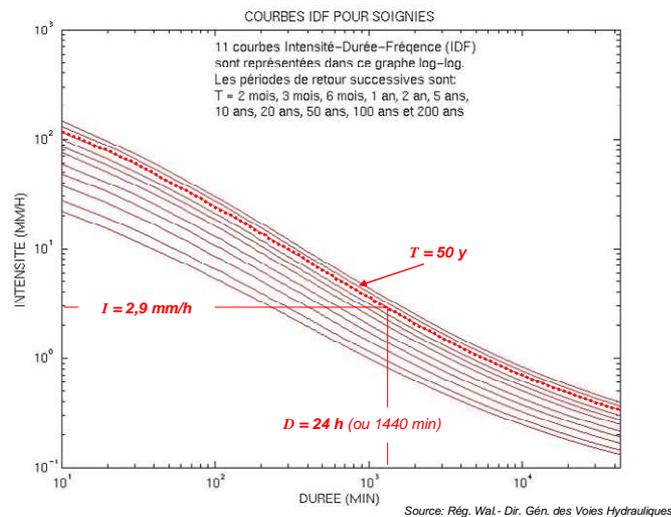
Les caractéristiques d'une pluie de projet, quand on en a fixé la durée d et la fréquence Fr (ou la période de retour T , avec $T=1/Fr$), sont obtenue à partir de courbes intensité-durée-fréquence ou IDF. Il est important de noter que la durée désigne la longueur de la fenêtre temporelle fixée par l'utilisateur et non de la durée réelle de la pluie. Pour la détermination des courbes IDF, la durée d est équivalent à un pas de temps t .

Définitions

- La période de retour d'un événement météorologique extrême est l'intervalle de temps moyen qu'il faut attendre avant de connaître un événement météorologique d'intensité égale ou supérieure.

Les courbes IDF s'obtiennent à partir de l'enregistrement d'événements de pluie extrêmes à une station météorologique de référence, sur une période suffisamment longue. Les données recueillies sont alors ajustées à un pas de temps choisi d et à une loi statistique qui doit décrire relativement bien la répartition des extrêmes, comme la loi de Gumbel par exemple. Si l'opération est répétée pour des pas de temps d différents, on obtient la variation de l'intensité i avec la durée de la pluie d pour différents temps de retour T . Les courbes IDF sont classiquement représentées dans un système d'axes doublement logarithmique (fig. AI-2)¹⁴⁴. En Région wallonne, des courbes IDF ont été établies pour chaque station pluviométrique, dont celles de Soignies, de Seneffe, d'Enghien et de Wauthier-Braine.

fig. AI-2



L'analyse des pluies a permis de dégager deux lois générales. Pour une même fréquence d'apparition, donc un même temps de retour, l'intensité i d'une pluie sera d'autant plus forte que sa durée d sera courte. Ou encore, à durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (cf. 4.1.4.1.).

5. Écoulements

5.1. Infiltration

L'estimation du processus d'infiltration permet de déterminer la fraction de la pluie totale qui participera à l'écoulement de surface, et celle qui alimentera les écoulements souterrains et participera à la recharge des aquifères.

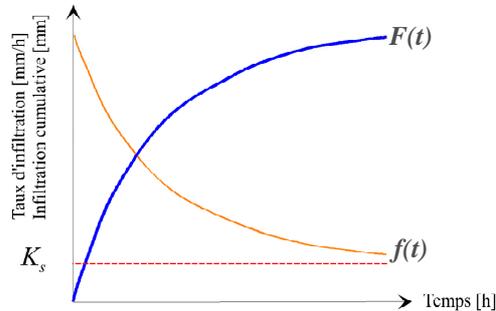
Définitions

- Le taux d'infiltration (régime d'infiltration ou conductivité hydraulique) $f(t)$ est le flux d'eau pénétrant dans le sol en surface. Il est généralement exprimé en mm/h. Le taux d'infiltration dépend du régime d'alimentation (irrigation, pluie), de la nature du sol, de son humidité, de sa pente et de son occupation.

¹⁴⁴ RW-SPW-DGO2-DGMVH - Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques, portail Internet

- La conductivité hydraulique à saturation K_{sat} ¹⁴⁵ est la valeur limite du taux d'infiltration si le sol est saturé et homogène.
- L'infiltration cumulative, $F(t)$, est le volume total d'eau infiltrée pendant une période donnée. Elle est égale à l'intégrale dans le temps du taux d'infiltration (fig. AI-3).

fig. AI-3



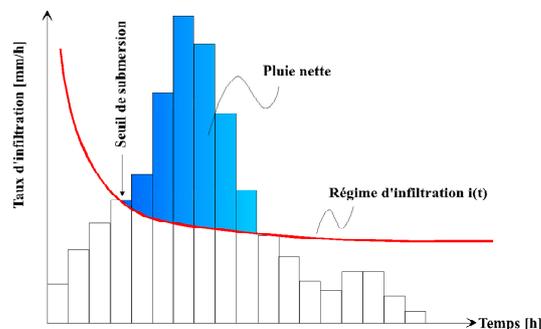
Source: A. Musy, 'Hydrologie générale', 2005

- La capacité d'infiltration (capacité d'absorption ou infiltrabilité) est le flux d'eau maximal que le sol soit capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou lorsqu'il est recouvert d'eau. Elle dépend, par le biais du taux d'infiltration, de la texture et de la structure du sol, mais également des conditions aux limites, c'est à dire, la teneur en eau initiale du profil et la teneur en eau imposée en surface.

L'évolution de l'infiltration en cours d'averse

La capacité d'infiltration du sol décroît dès le début de l'averse jusqu'à une valeur limite proche de la conductivité hydraulique à saturation K_{sat} . (fig. AI-4).

fig. AI-4



Source: A. Musy, 'Hydrologie générale', 2005

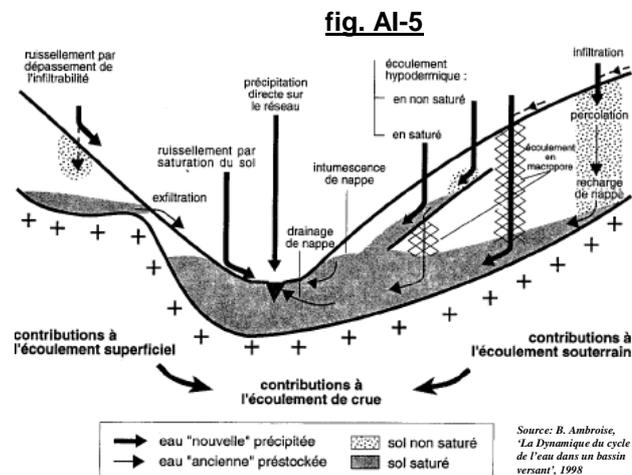
Au début, l'intensité de la pluie est inférieure à la capacité d'infiltration et le régime d'infiltration est limité par le régime d'alimentation (l'averse). Le temps nécessaire pour égaler la capacité d'infiltration est variable. Il dépend des conditions antécédentes d'humidité du sol et de l'averse en cours.

Lorsque l'intensité des précipitations devient supérieure à la capacité d'infiltration, l'excédent s'accumule en surface dans les dépressions (flaques) d'où il s'écoule en surface. Dès que le point de submersion est atteint, le régime d'infiltration sera limité par la capacité d'infiltration du sol. C'est l'infiltration à capacité. Le seuil de submersion définit le début de l'écoulement superficiel et on en déduit le volume du ruissellement R .

¹⁴⁵ Dans la méthode SCS, le terme S désigne l'infiltration potentielle ; S est la valeur vers laquelle tend l'infiltration cumulée $F+I_a$, où F représente l'infiltration cumulée après le commencement du ruissellement et I_a l'abstraction ou la hauteur cumulée d'eau infiltrée dans le sol avant le début du ruissellement

5.2. Écoulements vers le réseau hydrographique

Trois types de ruissellements participent à la formation de la crue qui suit immédiatement l'événement de pluie : le ruissellement de surface, le ruissellement hypodermique rapide et hypodermique différé. Ils sont considérés comme « rapides », car ils alimentent la crue qui répond à l'averse en cours. L'écoulement à partir des nappes phréatiques Q_0 est considéré comme « lent », car il provient de l'accumulation sur le long terme des pluies stockées dans les aquifères (fig. AI-5).



5.2.1. Ruissellement de surface

Il peut avoir deux origines.

- α Le ruissellement de dépassement de la capacité d'infiltration du sol (ou écoulement Hortonien). Il est à l'origine des inondations dans des conditions de fortes intensités pluviométriques lorsque les sols naturels, même ceux présentant une conductivité hydraulique élevée, atteignent une capacité d'infiltration inférieure aux intensités maximales des précipitations. Ce ruissellement est le résultat d'une saturation « par le haut »
- β Le ruissellement sur des surfaces saturées en eau. C'est le cas quand les capacités de stockage du sol sont épuisées ou que les capacités de transmission latérale de l'eau sont dépassées. De telles surfaces saturées peuvent se développer au voisinage de cours d'eau ou lors de ruptures de pente. On parle d'une saturation « par le bas »¹⁴⁶.

5.2.2. Ruissellement hypodermique

C'est la partie des précipitations infiltrées qui chemine quasi horizontalement dans les couches supérieures du sol pour réapparaître à l'air libre, à la rencontre d'un chenal d'écoulement. Le ruissellement hypodermique tend à ralentir le cheminement de l'eau et à allonger la durée des crues. Le ruissellement hypodermique domine dans les régions aux sols bien drainés avec un couvert végétal (macroporosité) important.

5.2.3. Écoulement souterrain

La fraction des précipitations infiltrées va transiter par percolation à travers l'aquifère à une vitesse de quelques mètres par jour, à quelques millimètres par an, avant de rejoindre le cours d'eau pour former l'écoulement de base Q_0 . Celui-ci base n'intervient que pour une faible part dans l'écoulement de crue. Il n'est pratiquement jamais lié à un événement pluvieux particulier, sauf pour l'écoulement souterrain accéléré en région karstique. L'écoulement de base assure le débit des rivières en l'absence de précipitations et soutient les débits d'étiage.

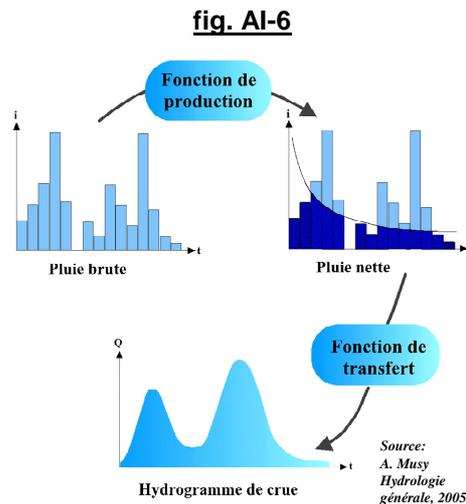
6. Fonctions de production et de transfert

¹⁴⁶ L. Neppel, « Cours d'hydrologie générale », Université Montpellier II (2005)

La transformation de la pluie en hydrogramme de crue se traduit par l'application successive de deux fonctions, la fonction de production et la fonction de transfert.

Définitions.

- La fonction de production est la transformation de l'hyétogramme de pluie brute P_B en hyétogramme de pluie nette R c'est-à-dire la fraction de pluie brute qui va ruisseler vers les cours d'eau.
- La fonction de transfert est la transformation de l'hyétogramme de pluie nette R en hydrogramme de crue (fig. AI-6).



7. Interprétation de l'hydrogramme

Une averse, définie dans le temps et dans l'espace, tombant sur un bassin versant de caractéristiques connues, et dans des conditions initiales données, provoque à l'exutoire du bassin considéré un hydrogramme défini. Celui-ci présente la forme générale d'une courbe en cloche dissymétrique que l'on divise en 4 périodes :

- tarissement (avant la pluie nette),
- crue,
- décrue et à nouveau
- tarissement (fig. AI-7).

En principe le volume du ruissellement de surface est représenté par l'aire comprise entre la courbe des débits Q_{tot} de l'hydrogramme de crue/décrue et celle des débits du ruissellement hypodermique retardé.

Cependant, il est difficile, en pratique, de distinguer entre ruissellement de surface et ruissellement hypodermique retardé. Il est donc usuel de remplacer le volume du ruissellement de surface par le volume du ruissellement direct V_r représenté dans l'hydrogramme par la surface comprise entre la courbe des débits Q_{tot} de crue/décrue et celle de l'écoulement de base Q_o .

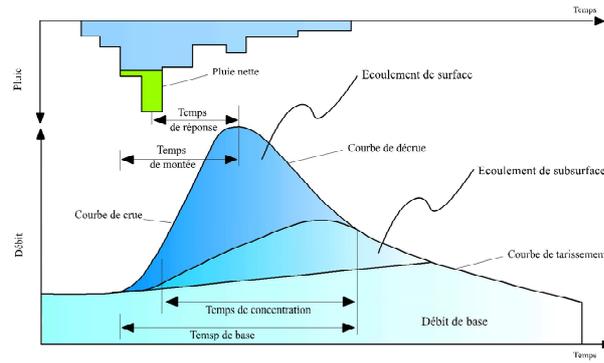
Pour la totalité de la crue,

$$V_r = V_{tot} - V_o$$

Avec

- V_r , le volume cumulé du ruissellement direct
- V_{tot} , le volume cumulé enregistré au limnimètre et
- V_o l'écoulement de base cumulé sur le temps de la crue.

fig. A1-7



Source: A. Musy, 'Hydrologie', 2005