

ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES
COLLEGE ECONOMIE RESEAUX AMENAGEMENT
PROJET DE FIN D'ETUDE
PROMOTION 1998

ESPARSA

Michel

Officier stagiaire de l'Ecole Militaire Supérieure Scientifique et Technique

EVOLUTION DU COMPORTEMENT D'UN BASSIN
VERSANT URBANISE
LE CAS DU BASSIN DE LIVRY GARGAN

**Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et
de l'Environnement**

Direction de l'Eau et de l'Assainissement de Seine-Saint-Denis

Composition du Jury

Président: Mr Bruno TASSIN

Directeur de projet: Mr Jean-Claude DEUTSCH

Conseiller d'étude: Mr Eric GAUME

Bordereau d'identification

AU teur	ESPARSA Michel
PRO motion	1998
TI tre	EVOLUTION DU COMPORTEMENT D'UN BASSIN VERSANT URBANISE: LE CAS DU BASSIN DE LIVRY GARGAN
EN cadrement	CERGRENE
ACC ueil	Direction de l'eau et de l'assainissement de Seine-Saint-Denis, VIOLAT(A.)
DF	09/06/1998
SO urce	Paris, ENPC, Collège ERA, année 1998, nombre de pages 51, nombre d'annexes 10, figures 21, bibliographie 11
AB stract	Etude de l'évolution du coefficient d'apport du bassin versant de Livry Gargan à partir de données pluviométriques et débitométriques collectées entre 1976 et 1996 à son exutoire. Cette évolution est comparée aux modifications du paysage urbain.
DL (descripteur)	HYDROLOGIE URBAINE BASSIN VERSANT EAU PLUVIALE EAU USEE DEBIT COLLECTEUR
GEO graphie	SEINE-SAINT-DENIS, LIVRY-GARGAN
LA ngue	FRE

Avant propos

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

Ce rapport est l'aboutissement du projet de fin d'étude du commandant ESPARSA Michel stagiaire de L'Ecole Militaire Supérieure Scientifique et Technique à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Le sujet à été proposé par la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de Seine-Saint-Denis. Le stage s'est principalement déroulé dans les laboratoires du Centre d'Etude et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement de mars à juin 1998. Les données relatives à l'urbanisation ont été réunies auprès des services techniques municipaux de LIVRY GARGAN.

Je tiens ici à remercier l'ensemble des personnels, chercheurs, étudiants du CERGRENE pour l'aide qu'ils m'ont apporté dans la réalisation de cette étude Je remercie plus particulièrement Mr Jean-Claude DEUTSCH, directeur du CERGRENE, qui a bien voulu m'accueillir dans son service durant ces trois mois et Mr Eric GAUME mon conseiller d'étude, pour sa disponibilité et ses nombreux conseils.

Sommaire

HYDROLOGIE

1. PRESENTATION DU SITE	7
1.1. LE BASSIN VERSANT DE LIVRY GARGAN	7
1.1.1. Situation géographique et topographie	7
1.1.2. Occupation des sols	7
1.1.3. Coefficient d'imperméabilisation	7
1.1.4. Le réseau d'assainissement	8
1.1.5. Le temps de concentration	8
2. LES STATIONS DE MESURE	8
2.1. LES MESURE PLUVIOMETRIQUES	8
2.2. LES MESURES LIMNIMETRIQUES	8
2.2.1. Les données graphiques de débit (1976-1989)	9
2.2.2. Les données digitales de débit (1990-1997)	9
2.3. COMPORTEMENT HYDRAULIQUE DU RESEAU	12
2.3.1. Définition de la loi hauteur débit	12
2.3.2. Le débit de temps sec	15
2.4. LE COLLECTEUR DE LA MARE AU CHANVRE	18
3. CRITIQUE DES DONNEES	19
3.1.1. Les données pluviométriques	19
3.1.2. Les données limnimétriques	19
3.1.3. Principes d'exploitation des données digitales	20
4. SELECTION DES EVENEMENTS	23
4.1. PRINCIPE DE SELECTION DES EVENEMENTS	23
4.2. LES RESULTATS DE LA SELECTION	24
4.3. HOMOGENEITE DES DONNEES DE PLUIE	24
5. PRINCIPES DE CALCUL ET D'ETUDE DES COEFFICIENTS D'APPORT	30
5.1.1. Généralités	30
5.1.2. Définition des coefficients d'apport	30
5.1.3. Etude de la variation du coefficient d'apport Capp3 sans perte initiale	32
5.1.4. Etude du coefficient d'apport Capp3 avec pertes initiales	33
5.1.5. Etude du coefficient d'apport Capp2	36
6. VARIATION DU COEFFICIENT D'APPORT SUR LA PERIODE 1976-1996	38
6.1. CRITIQUE DES DONNEES ANTERIEURES A 1990	38
6.2. CHOIX ET CALCUL DU COEFFICIENT D'APPORT	38
6.3. LES RESULTATS	42
6.3.1. Résultats sur la période globale 1976-1996	42
6.3.2. Résultat par période de développement	44
7. CONCLUSION DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE	46

URBANISME

8.	EVOLUTION DE LA POPULATION	47
9.	OPERATIONS D'URBANISME.....	48
9.1.	OPERATIONS DE VOIRIE.....	48
9.2.	OPERATIONS SUR IMMEUBLES	49
9.3.	OPERATIONS D'URBANISATION DIFFUSE	50
9.4.	EVOLUTION DE L'IMPERMEABILISATION GLOBALE DU BASIN VERSANT.....	52
10.	CONCLUSION DE L'ETUDE URBANISTIQUE.....	53

CONCLUSION

Objectif et principe de l'étude

La longueur et la qualité des séries de mesures pluviométriques et débitométriques disponibles sur le bassin versant de Livry Gargan, en font un site privilégié pour l'étude de l'influence du développement urbain sur la réponse hydrologique des bassins versants.

Cette étude vise à caractériser l'évolution du comportement hydrologique de ce bassin en regard de l'évolution de l'occupation des sols.

La démarche adoptée pour réaliser cette étude consiste à étudier l'évolution du coefficient d'apport à partir des données pluviométriques et limnimétriques collectées entre 1976 et 1996 à l'exutoire du bassin versant de Livry Gargan.

Cette évolution sera comparée aux modifications du paysage urbain et notamment du coefficient d'imperméabilisation des sols résultant des opérations d'urbanisme.

On distinguera deux grands domaines d'étude ayant respectivement trait à l'hydrologie et à l'urbanisme.

Méthodologie et choix des paramètres de l'étude

HYDROLOGIE

Organisation

Pour des raisons essentiellement liées à la disponibilité des données débitométriques, l'étude hydrologique a été scindée en trois parties: la première consiste en une étude hydraulique sommaire du réseau et une description du site expérimental. Elle vise principalement à déterminer les méthodes de calcul des débits et à évaluer les paramètres d'influence sur les données. La seconde porte sur l'étude de la période 1990 à 1996 où les données pluviométriques et débitométriques étaient déjà disponibles. Cette partie nous a permis de développer les outils et les méthodes de sélection et de traitement des données. Enfin la dernière partie porte sur l'ensemble de la période 1976-1996.

Choix du paramètre d'étude

Parmi les différents paramètres caractérisant la réponse d'un bassin versant, le temps de concentration, le temps de réponse du bassin¹ ou le coefficient d'apport sont les mieux adaptés à l'étude de son évolution sur une longue période. Nos travaux se sont restreints à l'étude de l'évolution de ce dernier paramètre. Ce choix a été dicté par les incertitudes sur les données et le manque de fiabilité dans la synchronisation des systèmes d'enregistrement de pluie et de débit. Le coefficient d'apport reste pour nous, le plus accessible et le moins sensible des paramètres caractérisant le bassin versant.

Sélection des données

Notre étude porte sur l'évolution d'un bassin initialement déjà fortement urbanisé; le niveau de précision requis pour dégager des tendances significatives impose des contraintes sur le choix des données en réduisant la quantité d'information disponible. A contrario un nombre d'événement insuffisant ôterait toute signification aux résultats obtenus. C'est pourquoi nous avons attaché une importance primordiale à la sélection des événements et

¹ temps de réponse: intervalle de temps entre les centroïdes des pics de pluie et de débit

au traitement des données. Nous avons dans un premier temps restreint notre étude à la période où les données étaient suffisamment fiables. Nous avons ensuite sélectionné les événements pluvieux en respectant des critères de qualité et d'homogénéité des mesures. Les critères de choix de ces événements ont porté sur les intensités minimales, sur l'homogénéité spatiale et temporelle des pluies. Ce processus de sélection des événements, la définition des paramètres d'étude, ont permis de mettre en évidence les tendances qualitatives et quantitatives de l'évolution du comportement de ce bassin versant entre 1976 et 1996.

URBANISME

Principe d'étude

Le principe d'étude de l'urbanisation du bassin versant retenu a consisté à rassembler les données relatives à l'imperméabilisation des surfaces en considérant d'une part les opérations immobilières sur l'ensemble du bassin et d'autre part les travaux d'urbanisation diffuse sur un secteur délimité sur la période 1976 - 1996. L'extension des résultats obtenus sur ce secteur à l'ensemble du bassin s'effectue ensuite à partir du Plan d'Occupation des Sols.

Recherche et exploitation des données

Les données utilisées ont été réunies à partir des documents d'urbanisme détenus et exploités en mairie. Les principaux documents sont les dossiers de permis de construire et les autorisations de travaux. La qualité des données ainsi obtenues reste variable et dépend de la précision des pièces disponibles. La recherche des données et l'étude des documents d'urbanisme se sont heurtées à trois difficultés; L'absence de tout support informatique relatif à l'urbanisation de la commune, les problèmes liés à l'estimation des surfaces imperméabilisées et de leur raccordement au réseau, la validité de l'extension des résultats locaux à la globalité du bassin.

SYNTHESE

Les résultats de l'étude hydrologique ont été confrontés à ceux obtenus sur l'étude de l'urbanisme du bassin afin de vérifier la relation entre la variation du coefficient d'apport et du coefficient d'imperméabilisation.

1.

Présentation du site

La morphologie du bassin versant de Livry Gargan, son exutoire unique et bien équipé en appareils de mesure en font un site expérimental privilégié. Plusieurs études hydrologiques ont déjà été réalisées sur ce site. Ces études font appel à une même série pluviométrique et limnimétrique collectée et critiquée entre 1983 et 1984. La relation hauteur débit utilisée jusqu'à présent avait été établie en 1977 par Coyne et Bellier.

Or, la mise en place de systèmes d'enregistrement numériques depuis 1989, la digitalisation des mesures antérieures et les modifications apportées au réseau, imposent la vérification des principes de calcul des débits.

Nous avons donc choisi dans un premier temps d'étudier le comportement hydraulique du collecteur départemental avant de critiquer les mesures graphiques de débit enregistrées ou digitalisées sur la station de mesure TURGOT.

1.1. Le bassin versant de LIVRY GARGAN

1.1.1. Situation géographique et topographie

Le bassin versant de Livry Gargan est un bassin urbanisé situé dans le département de Seine Saint Denis. Il couvre une superficie de 331 ha dont 81 ha en zone naturelle de carrière. Des études précédentes ont montré que 250 hectares étaient effectivement reliés au réseau communal et départemental. La pente du bassin est faible; elle est en moyenne de 0,3% dans le sens de l'écoulement et de 1,1% dans le sens perpendiculaire.

1.1.2. Occupation des sols

Occupé dans sa majeure partie par des zones pavillonnaires, le tissu urbain possède les caractéristiques suivantes:

- Zone urbaine homogène: 78,3% dont
 - 15,1 % zone d'équipements
 - 63,7 % zone urbaine industrielle ou pavillonnaire
- Zones naturelles libres ou affectées: 21,2% dont
 - 8,6 % zone réservée au projet d'autoroute
 - 10 % Parcs et équipements sportifs
 - 2,6 % Zones non affectées

1.1.3. Coefficient d'imperméabilisation

Le coefficient d'imperméabilisation moyen du bassin, déterminé par étude statistique sur photographies aériennes, était de 31 % en 1980. Le rapport de Prolog ingénierie (1985) confirme cette valeur en estimant l'écart probable à plus ou moins 4%.

Nous considérerons dans cette étude que le coefficient d'imperméabilisation initial du bassin correspondait à 30 % des surfaces actives (250 ha) en 1976.

1.1.4. Le réseau d'assainissement

Le bassin versant est drainé par le réseau communal vers un ovoïde départemental situé sur sa bordure nord. Ce réseau est de type unitaire, il dessert une population estimée à 16500 habitants d'après le recensement de 1990.

Les dimensions de ce collecteur varient de 150/75 à 180/100 au niveau de la station de mesure des débits. Sa pente moyenne est de 0,15% sur 800 mètres linéaires.

1.1.5. Le temps de concentration

Le temps de concentration d'un bassin versant est par définition la durée que mettrait une goutte de pluie tombée en limite amont du bassin pour arriver à son exutoire.

Le temps de concentration a été calculé dans l'hypothèse où les vitesses dans les égouts, suivaient une loi de Manning Strickler avec un coefficient de rugosité K de 70 estimé à partir de mesures sur le collecteur terminal effectuées en 1977.

Ce temps de concentration est de l'ordre de 70 à 76 minutes.

2. Les stations de mesure

2.1. Les mesure pluviométriques

Les mesures de pluie ont été réalisées par deux pluviographes repérés par les codes LIV02 et LIV13. Ces deux pluviographes sont du type à augets basculeurs à impulsion Précis Mécanique R05 - 3020 munis d'un cône de réception de 1000 cm² avec une précision de $\pm 3\%$ à 4,5 mm/minute d'intensité. Le basculement des augets à lieu pour 0,1 mm de pluie.

- Le pluviographe LIV02 a été mis en service le 25 avril 1972 à l'angle de la rue Salengro, puis déménagé une première fois le 8/03/1980 et une deuxième fois le 10/05/1984 au 38 rue Edouard Herriot dans un site protégé. Les études précédentes ont montré que ces déménagements successifs n'avaient pas entraîné de modification sur la qualité des enregistrements. Les données pluviométriques critiquées ont été regroupées sur la période janvier 1976 à décembre 1997 dans le fichier LIV2.
- Le pluviographe LIV13 a été installé le 14/06/1976 dans le cimetière de Vaujourns. Ce site n'est pas à l'abri du vandalisme. Les données de pluie critiquées sont disponibles de mars 1979 à janvier 1997 dans le fichier LIV13.

Ces deux pluviographes sont installés en partie sud du bassin versant et sont distants d'environ 1500 mètres.

2.2. Les mesures limnimétriques

Les mesures de débit sont collectées au niveau de la station TURGOT placée dans le collecteur départemental, exutoire des eaux unitaires du bassin versant. Cette station de mesure est située à l'intersection de l'avenue Montesquieu et du boulevard Jean Jaurès.

Elle enregistre le niveau des eaux dans le collecteur depuis 1976 et est équipée 1990 d'un système d'acquisition des vitesses.

2.2.1. Les données graphiques de débit (1976-1989)

Le système de mesure utilisé entre 1976 et 1989 présente les caractéristiques techniques suivantes:

- Système mécanique d'enregistrement des hauteurs: capteur à membrane de type RICHARD-PEKLY.
- Enregistrement graphique.
- Hauteur minimale d'acquisition des hauteurs: 17 , 30 et 38 cm

Les données de hauteur dans le collecteur fournies par ce système ont été digitalisées sur la période 1976 - 1990. 458 événements dont la hauteur d'eau a dépassé 2,5 mm avec une intensité moyenne maximale de 2,5 mm/h sur le pluviomètre LIV02 ont été sélectionnés. Ces deux limites ont été fixées en accord avec les conclusions de l'étude de Brunelle(1991) sur la distribution des coefficients d'apport en fonction des hauteurs de pluie et des intensités moyennes maximales.

Outre les erreurs dues au système d'acquisition, la précision des données graphiques est conditionnée par:

- Les problèmes d'ensablement du collecteur et de colmatage de la cloche.
- L'incertitude sur les dates et horaires de passage aux heures d'été et d'hiver sur le limnigraphe et la dérive des horloges et des systèmes mécaniques d'enregistrement. Ces incertitudes ne pourront être levées que par la visualisation de la concomitance des caractéristiques de l'événement pluvieux (temps de réponse, intervalle de temps entre pics d'intensité et variation de hauteur dans le collecteur).
- L'absence de mesure de hauteur d'eau en dessous de 39 cm dans le collecteur et donc la perte d'une partie de l'information sur la variation du débit au cours des événements. Cette contrainte nous amènera à définir un coefficient d'apport particulier qui sera calculé à partir des hauteurs supérieures à ce seuil.
- Une digitalisation effectuée au pas de temps variable (jusqu'à 15 minutes). Des pas de discrétisation trop élevés sont susceptibles d'entraîner des incertitudes sur l'intégration des courbes de débit et le calcul des temps de réponse du bassin.

2.2.2. Les données digitales de débit (1990-1997)

Les caractéristiques principales des acqui-siteurs et enregistreurs utilisés sur la période 1990-1997 sont les suivants:

- Systèmes électroniques d'acquisition des données: Capteur de niveau par pression VEGA pour les hauteurs et capteurs ultrason à deux cordes pour les vitesses.
- Intégration automatique des débits à partir des vitesses et de la hauteur d'eau dans le collecteur par calculateur ULTRAFLUX UF2100 et UNIDATA.
- Enregistrement sous format numérique et graphique (enregistreur 6 voies Pointées Chessell 306)
- Transfert des fichiers de données regroupant hauteur, vitesse et débit sur micro-ordinateur.
- Hauteur minimale d'acquisition des vitesses: 31 cm

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

- Hauteur maximale d'acquisition des hauteurs: 4 m

Les données disponibles se présentent sous deux formats de fichiers correspondant aux deux systèmes d'acquisition des mesures. L'acquisition et le calcul des débits s'effectuent à partir de 31 cm (hauteur de la première corde).

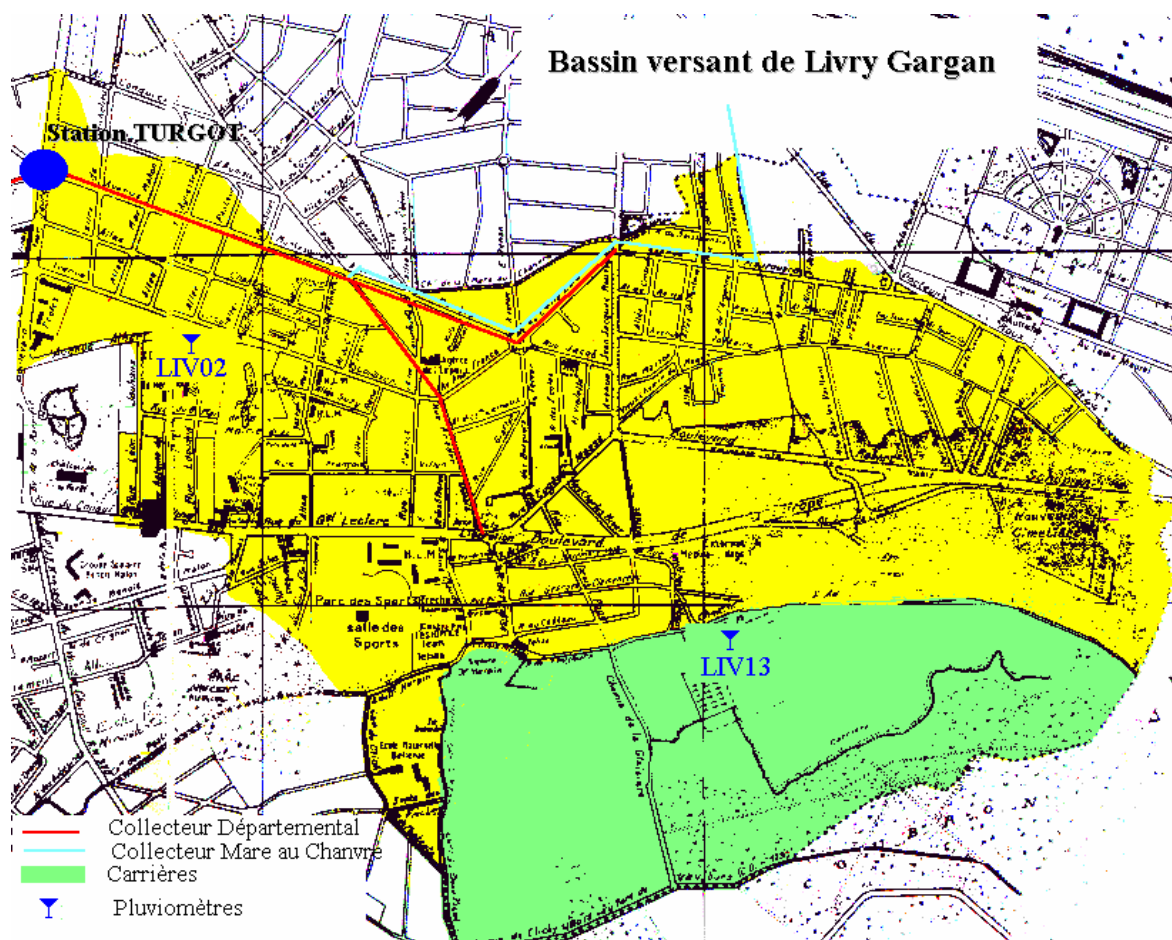


Figure 1: Carte du bassin versant de Livry Gargan

2.3.

Comportement hydraulique du réseau

2.3.1. Définition de la loi hauteur débit

Le type de loi hauteur débit est une loi de Manning Strickler à partir de 40 cm de hauteur d'eau dans le collecteur:

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

Q: Débit S: surface mouillée I: Pente R: Rayon hydraulique

L'étude de Coyne et Bellier de 1977² avait calé les paramètres de cette loi à K=70 et I=0.001 ‰ d'après une mesure effectuée à 39 cm de hauteur d'eau.

Les études suivantes ont montré que cette loi avait tendance à surestimer les débits³. En effet, la pente moyenne calculée sur 100 mètres de part et d'autre du point de mesure est vraisemblablement plus faible (environ 0.0007 ‰). On a donc recherché à partir des débits mesurés et intégrés par le système ULTRAFLUX à redéfinir le coefficient K pour I=0.001 ‰. Pour cela nous avons utilisé une longue série d'événements et nous avons minimisé la différence relative entre les débits calculés par Manning Stickler et ceux obtenus directement par le calculateur. La valeur optimale obtenue est K=60 pour une pente de 0.001 ‰. On retiendra donc ces deux dernières valeurs pour la relation hauteur débit au-dessus de 39 cm d'eau.

Figure 2: Détermination du paramètre K

² Etude d'un bassin versant *Coyne et Bellier mai 1977*

³ Etude de l'influence de l'hétérogénéité spatiale de la pluie sur le comportement hydrologique du bassin versant de Livry Gargan. *Brunelle 1991*

L'acquisition des vitesses et leur transformation en débit ne s'effectue qu'à partir de 31 au-dessus du radier. En deçà de cette limite nous avons repris la courbe des valeurs de débit établie expérimentalement dans l'étude de 1977.

Figure 3: Courbe hauteur débit

Les différences observées sur les débits fournis par l'instrumentation et les débits calculés par la loi de Manning Strickler proviennent des influences en amont et en aval de la station de mesure.

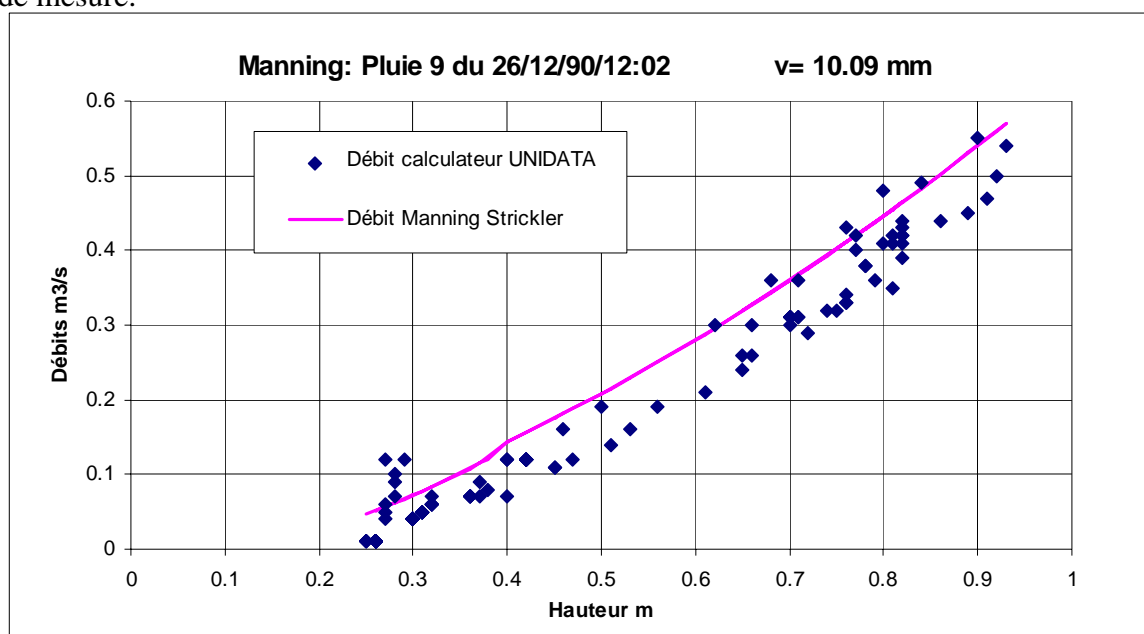


Figure 4: Ajustement de la courbe hauteur débit

La loi hauteur - débit n'est valable qu'en régime permanent pour des écoulements à surface libre; l'effet d'hystérisis important entre la montée et la descente de crue introduit une incertitude supplémentaire sur le calcul des débits.

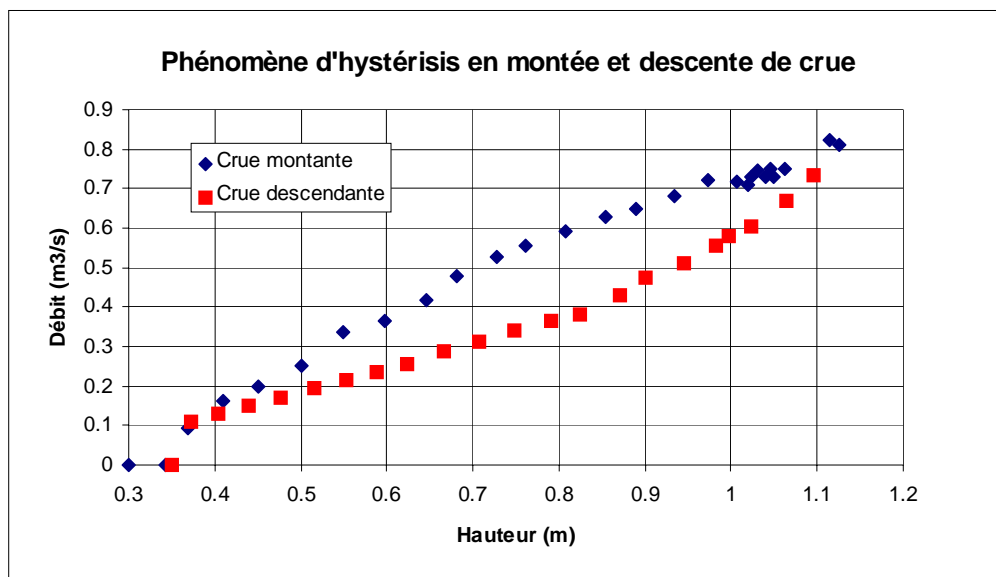


Figure 5: Phénomène d'hystérisis

2.3.2.

Le débit de temps sec

Le réseau est de type unitaire; les pluies et les effluents résultant de l'utilisation domestique et industrielle d'eau transitent par le même réseau. Or pour des pluies suffisamment longues (6 heures), la variation de débit de temps sec au cours de l'événement peut entraîner une erreur de 10 % sur le coefficient d'apport. Il est donc nécessaire de séparer les deux sources de variation des débits en retranchant les valeurs de la courbe de temps sec journalière.

Cette courbe journalière avait été déterminée à partir de deux mesures de mélange effectuées en 1977 . L'accroissement de la population sur le bassin ou un changement de comportement des consommations étaient susceptibles d'avoir modifié cette courbe. Nous avons donc recherché redéfinir les valeurs moyennes de débit de temps et à les comparer à ceux obtenues précédemment

Nous avons utilisé pour cela deux méthodes d'investigation:

La première a consisté à réunir les données de hauteur collectées durant les périodes de temps sec sur 4 années (1992 -1996). Elle a permis de tracer une courbe de débit différente de celle établie 15 ans auparavant.

Les différences portent principalement sur deux points:

- La courbe récente présente un pic de débit à partir de 5 heures du matin (heure locale). Ce pic est vraisemblablement dû au fonctionnement de la pompe de relevage semi-automatique placée du collecteur de la Mare au Chanvre utilisé en réservoir de stockage. Cette pompe est activée en fonction de la hauteur d'eau. Elle fonctionne durant près d'une heure à partir de 5 heures du matin. On tiendra compte au cours de cette étude du fonctionnement du réservoir de la Mare au Chanvre sur le calcul du coefficient d'apport.
- La courbe est plus marquée aux heures d'utilisation d'eau pour les usages domestiques que celle de 1977 (+10 à 15 l/s). En outre on constate un léger accroissement du débit de temps sec en dehors de ces périodes de pointe.

Figure 6: Statistiques de débits de temps sec (Horaire GMT)

La seconde a consisté à utiliser des mesures de hauteur réunies lors d'une expérimentation menée sur la station de mesure de la Mare au Chanvre⁴ en 1990. Des observations recoupées sur plusieurs journées d'enregistrement de hauteur de temps sec a permis de confirmer la forme générale de la courbe trouvée précédemment. La figure 7 montre que l'évaluation du débit de temps sec peut dépendre de la journée considérée (jours fériés, week-end) des saisons ou de conditions particulières (chantiers, inondations, remontée de nappe..). Pour définir une courbe moyenne, nous avons sélectionné une série de dix enregistrements en semaine et un week end durant l'hiver 1990 (figure 8).

Figure 7: Recouplement d'observation de débit de temps sec

L'augmentation de la consommation d'eau depuis 1977, combinée à l'accroissement de la population et de l'urbanisation sur ce secteur expliquent les différences sur les débits moyens observées qui passent de 35 à 42 l/s.

Compte tenu de la précision des mesures, l'accroissement du débit de temps sec entre 1977 et 1990 n'aura pas d'incidence significative sur le calcul des coefficients d'apport.

⁴ Station de mesure TURGOT et la Mare au Chanvre - Rapport d'expérimentation *décembre 1990*

Figure 8: Comparaison débits de temps sec 1977-1990

2.3.3.

Le collecteur de la Mare au Chanvre

2.3.3.1. Principe et fonctionnement

Le collecteur de la Mare au Chanvre relie le réseau unitaire ovoïde départemental et le bassin de la Poudrerie. Il est destiné à recevoir les eaux de surverse du collecteur départemental et à les déverser dans un bassin de stockage.

Avant la mise en service de ce bassin, le collecteur a été utilisé comme réservoir de stockage. Durant la période allant du 25/04/1990 au 19/06/1996, 4 surverses ont été placées sur le réseau communal. Elles permettaient alors de l'alimenter ponctuellement en écrêtant les pointes de débits. Ces surverses ont été dimensionnées pour fonctionner pour des événements de période de retour annuel. Une pompe de relevage télécommandée depuis les services techniques de la DEA permettait de restituer le volume stocké dans le collecteur départemental à la fin de chaque événement. Une station de mesure de hauteur située en fond de collecteur permettait de vérifier son niveau de remplissage et donc d'estimer le volume d'eau stockée.

Les infiltrations de la nappe dans le collecteur de la Mare au Chanvre ont nécessité la mise en place d'un système de vidange automatique. Cette vidange s'effectue en moyenne tous les 5 ou 7 jours entre 5 heures et 6 heures du matin. On peut estimer à moins de 200 m³ le volume restitué à chaque vidange automatique. Ce volume correspond à environ 0,8 mm de hauteur de pluie.

2.3.3.2. Influence sur les coefficients d'apport

L'étude de l'utilisation du collecteur de la Mare au Chanvre en ouvrage de stockage provisoire a été réalisée en 1990⁵. Il nous appartenait de vérifier l'influence hydraulique de ce système de stockage sur le calcul des coefficients d'apport. Nous avons pour cela sélectionné une vingtaine d'événements ayant donné effectivement lieu au stockage d'un certain volume de pluie. (voir en annexe la description détaillée du fonctionnement pour l'événement du 30/06/92).

Les conclusions de cette étude sont les suivantes:

Le stockage

- Les surverses ont été calées pour des événements importants (> 10 mm) présentant de forts pics d'intensité (10 à 15 mm/h en 5 minutes) ce qui explique le faible retour d'utilisation du collecteur en réservoir de stockage (20 événements sur 4 ans).
- Le fonctionnement de la Mare au Chanvre pour ces événements intenses entraîne une sous estimation de 1 à 5 % sur les coefficients d'apport.

Le stockage provisoire d'une fraction de la pluie dans le collecteur de la mare au Chanvre n'entraîne donc pas de distorsion significative sur le calcul des coefficients d'apport de l'échantillon de pluies sélectionnées. Pour les événements les plus intenses nous prendrons cependant en compte cette portion de pluie stockée.

La vidange

⁵ Etude de faisabilité pour l'utilisation du collecteur de la Mare au Chanvre en ouvrage de stockage provisoire DEA 93 Perez Isabelle

Aucun événement de l'échantillon sélectionné n'a été influencé par la vidange automatique ou télécommandée du collecteur de la Mare aux Chanvre.

3. Critique des données

3.1.1. Les données pluviométriques

Les données pluviométriques ont été regroupées et critiquées pour la réalisation d'une étude précédente sur la pluviométrie en Seine-Saint-Denis. Ces données sont donc fiables et les fichiers possèdent un champ de code de qualité de la mesure.

L'absence de recoupement des données de pluie entre LIV2 et LIV13 sur la période 1976-1979 ne permettra pas de rendre compte de l'homogénéité des pluies sélectionnées sur ces trois années.

3.1.2. Les données limnimétriques

- **UNIDATA**

Les premières données ont été enregistrées par le système d'acquisition UNIDATA.

Les données de hauteur, débit et vitesses mesurées par ce système ont été regroupées au sein du fichier DAT sur la période du **21/05/1990 au 31/12/1996**.

Ces données présentent des erreurs (valeurs négatives ou nulles en débit et hauteur) dues essentiellement au calage des paramètres du système et à la sensibilité de l'appareil aux influences électriques extérieures.

Le système UNIDATA présente l'avantage sur le système ULTRAFLUX de pouvoir fournir des données plus précises dans l'étude des variations de régime (échantillonnage au pas de 15 secondes).

- **ULTRAFLUX**

Les données de hauteur, débit, vitesses fournies par le système ULTRAFLUX UF 2100 couvrent la période du **5/08/1992 au 31/12/1997** et sont regroupées au sein du fichier WKS.

Ces données semblent au premier abord plus fiables par le faible taux d'erreur enregistré et leur niveau de précision (traitement interne des données). Le système électronique de traitement des données, très élaboré, a subi plusieurs modifications depuis son installation⁶.

La comparaison des deux fichiers a fourni les résultats suivants:

- Les écarts relatifs sur les hauteurs enregistrées sur ces deux types de fichiers à partir des mêmes événements peuvent atteindre 40%. C'est particulièrement le cas pour la majeure partie des données de 1994 (janvier à septembre 1994) où un écart relatif systématique de 20 à 30% semble avoir été introduit dans les paramétrages de l'étalonnage de hauteur des équipements de l'ULTRAFLUX. Cette erreur de paramétrage se répercute donc sur le calcul des coefficients d'apport effectué à partir des deux types de données .

⁶ Rapport technique ULTRAFLUX UF 2100 Calculateur de débit par canaux ouverts *MrCrea DEA octobre 1993*

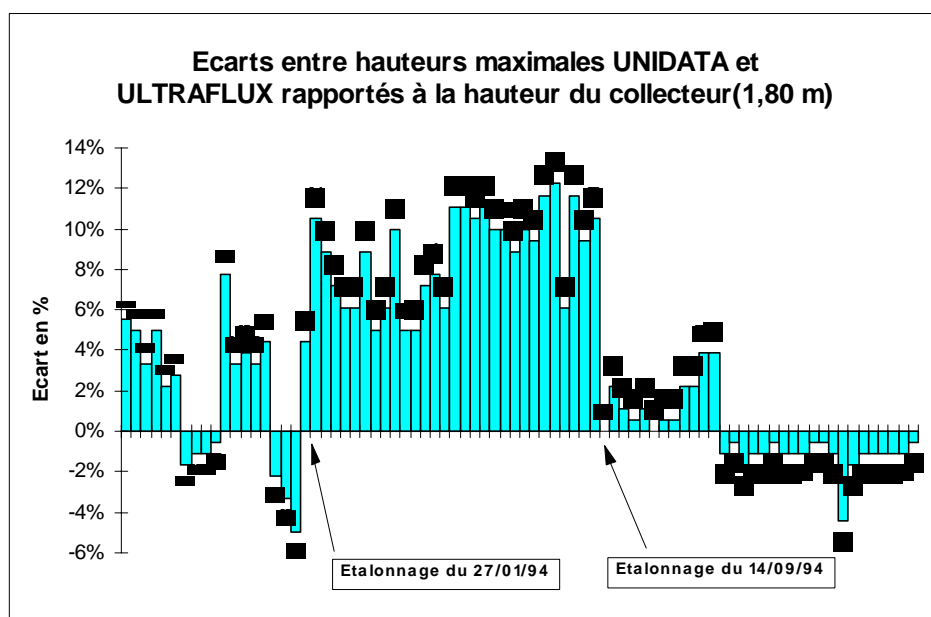


Figure 9: Problème de paramétrage en 1994

- En dehors de cette période, les écarts relatifs sur les débits calculés par UNIDATA et ULTRAFLUX sont en moyenne de 4% mais ne semblent pas dépasser 15% .

3.1.3. Principes d'exploitation des données digitales

Choix des données

Les données de débit directement fournies par les calculateurs ne peuvent être exploitées en l'état, du fait du grand nombre d'erreurs sur les enregistrements, de l'incertitude sur le paramétrage des vitesses, de la variabilité des mesures enregistrées par les deux systèmes. En outre il est indispensable de préserver une certaine homogénéité des systèmes de référence sur la période considérée. Nous utiliserons donc les données de hauteur et la transformation hauteur - débit pour l'évaluation des coefficients d'apport. Les données de débit calculées par les systèmes permettront de vérifier les résultats obtenus à partir des hauteurs.

Les enregistrements du système UNIDATA couvrent la plus longue période et ne semblent souffrir d'aucun problème de paramétrage; ces enregistrements de hauteur seront systématiquement utilisés. Nous compléterons ces données par celle fournies par l'ULTRAFLUX après vérification de leur compatibilité.

Choix du pas de discrétisation

Le choix d'un pas de temps d'intégration des courbes de débit en volume trouve sa justification dans les possibilités d'exploitation des fichiers numériques, des enregistrements graphiques et dans la précision nécessaire à l'obtention des tendances.

Les fichiers pluviométriques et débitométriques autorisent un pas de discrétisation d'une minute. En revanche, les problèmes rencontrés au cours des premiers essais de digitalisation des graphiques au pas de temps de 5 minutes (coûts, épaisseur des traits...) nous ont amené à un choix plus restrictif de 15 minutes..

Des essais menés au pas de 5 et 15 minutes sur les fichiers numériques ont montré que l'intégration sur les volumes n'affectait pas le coefficient d'apport au delà de quelques pour-cent. En particulier, l'étude sur les écarts relatifs entre les coefficients d'apport calculés à partir des hauteurs au pas de temps de 5 minutes et de 15 minutes a donné les résultats suivants:

Coefficient d'apport	Capp1	Capp2	Capp3	Capp4
écart relatif > 0 (%)	2,5	1,2	1,5	1,8
écart relatif < 0 (%)	2,3	1,2	1	2
écart maximum observé	12,6	5,0	6,3	7,9

Ces résultats ont été obtenus à partir de l'étude de 180 événements pluvieux choisis sur la période 1990-1996 dans le fichier UNIDATA.

On peut noter que 7 événements dont les écarts relatifs sur le coefficient d'apport Capp3 étaient supérieurs à 10 % ont été éliminés. Ces événements présentaient tous un pic d'intensité très élevé dès le début de l'averse et le temps de réponse du bassin devenait alors inférieur au pas de discrétisation faussant les calculs d'intégration sur les débits.

Figure 10: Influence du pas de discrétisation

On retiendra donc que la moyenne des écarts relatifs sur les coefficients d'apport entre les deux modes de discrétisation est faible ($< 2\%$) mais peut localement atteindre 8% et que le calcul sur les pluies présentant de fortes intensités ponctuelles peut être sensiblement affecté. En conséquence, les fichiers numériques seront utilisés avec un pas de calcul de 5 minutes, les données digitalisées à partir des enregistrements graphiques le seront jusqu'au pas de 15 minutes.

4.

Sélection des événements

4.1. Principe de sélection des événements

Les fichiers de données de pluie et de débit ont été regroupés par événement afin de rendre compte de l'évolution des coefficients d'apport sur la période 1990-1996. Les principes de sélection des événements sont les suivants:

Critères de sélection pour les pluies

- Chaque événement est séparé du suivant par une période de temps sec (hauteur de pluie inférieure à 0,1 mm) d'au moins **120 minutes**. Cette valeur a été optimisée afin de prendre en compte la totalité du volume d'eau généré par le bassin versant (sans perturbation par une pluie ultérieure) et d'assurer une certaine homogénéité des conditions initiales de chaque événement (purge complète du bassin).
- La hauteur de pluie devra être supérieure à **2,5 mm**.
- L'intensité moyenne maximale sur une heure sera supérieure à **2 mm/h**.
- Seules les pluies homogènes sur l'ensemble du bassin ont alors été retenues. Pour cela nous avons utilisé les données de pluies enregistrées simultanément par LIV02 et LIV13.
- Nous avons utilisé un critère permettant de rendre compte de l'homogénéité spatiale des pluies. Ce critère est défini par la relation.

$$\text{crit} = \frac{\text{MIN}(\text{LIV2}, \text{LIV13}) - \text{MAX}(\text{LIV2}, \text{LIV13})}{\text{MIN}(\text{LIV2}, \text{LIV13})}$$

où MIN et MAX désignent les hauteurs de lame d'eau maximale et minimales enregistrées sur chacun des pluviomètres.

La limite de sélection des événements selon ce critère est de **20%**. Elle correspond à l'incertitude de mesure entre les données fournies par le pluviomètre et la pluie réellement tombée au sol⁷.

Critères de sélection pour les débits

- Les données de débit ont été sélectionnées sur la période allant de **mai 1990 à juin 1996**. Au delà de cette date, le réseau a été modifié par le raccordement du bassin de la Poudrerie et ne sont plus exploitables.
- Les enregistrements présentant des erreurs sur les hauteurs (valeurs négatives ou nulles) ou les événements ayant donné lieu à la mise en charge du collecteur (**h > 1,80m**) ont été éliminés (loi hauteur débit valide pour les écoulements à surface libre).
- L'étude systématique et conjointe des hyétogrammes et hydrogrammes a permis une ultime vérification de la similitude de la forme des courbes et de la synchronisation des horloges des systèmes d'enregistrement.

⁷ Les incertitudes associées à la méthode en Hydrologie Urbaine *LHM Desbordes Michel 1985*

4.2. Les résultats de la sélection

Le tableau ci-dessous regroupe par chaque phase de sélection sur les critères pluviométriques le nombre d'événements retenus.

Fichiers	Nombre d'événements Intervalle > 130 mn	Nombre d'événements hauteur > 2.5 mm	Nombre d'événements ImoyMax > 2 mm/h
LWKS	1172	293	221
LDAT	1757	447	331
(1)/(2)	0,66	0,65	0,66

Les périodes d'enregistrement sur les deux fichiers vont respectivement du 7/8/92 au 30/06/96 (3,89 ans) et du 21/05/90 au 30/06/96 (6,11ans); le rapport des périodes est de 0,63; le rapport sur le nombre d'événements observé est du même ordre pour chaque étape de sélection sur les pluies. Le nombre moyen d'observation retenu est donc respectivement de 56 et 54 événements par année; la sélection des événements est homogène sur l'ensemble de la période.

Les critères débitométriques définis précédemment permettent d'affiner la sélection des événements:

Fichiers	Nombre d'événements exempts d'erreur et h < 1,80m	Nombre d'événements crit < 20%	Nombre d'événements fiables retenus
LWKS	156	109	(108-25*) 83
LDAT	216	145	144
(1)/(2)	0,72	0,75	0,75

On constate que sur les événements retenus précédemment, les données fournies par ULTRAFLUX semblent plus fiables que celles enregistrées par le système UNIDATA. Il faut cependant relativiser cette remarque du fait de l'introduction d'une erreur de paramétrage sur l'ULTRAFLUX en 1994. Nous avons donc par la suite éliminé les 25* mesures relevées cette année. En revanche la sélection sur le critère d'homogénéité n'apporte aucun biais significatif entre les deux périodes.

La dernière étape de vérification s'est effectuée de manière visuelle à partir des graphes de pluie et de débits. Cette vérification nous a amené à éliminer les événements enregistrés durant le mois de juin 1992 où une influence hydraulique a entraîné une surestimation des hauteurs.

L'échantillon de mesures total disponible sur le fichier de synthèse des deux enregistreurs est finalement de **174 événements**.

4.3. Homogénéité des données de pluie

L'étude de la variation du coefficient d'apport impose la vérification de l'homogénéité de la série de pluies sélectionnée sur l'ensemble de la période.

Nous avons donc recherché l'existence de tendances sur les volumes et les intensités des événements ainsi que sur les différences enregistrées entre les pluviomètres LIV02 et LIV13.

- **Tests d'homogénéité**

Nous avons utilisé un test paramétrique d'égalité des moyennes sur l'échantillon des hauteurs de pluie scindé en deux sous - échantillons correspondant aux deux demi périodes d'observation. Les résultats montrent qu'on ne peut rejeter l'hypothèse d'égalité des variances et des moyennes sur ces deux échantillons:

Test d'égalité des variances (F-Test)		
Echantillon de pluies 1990-1996		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	8.22	7.43
Variance	27.68	22.26
Observations	105.00	69.00
Degré de liberté	104.00	68.00
F	1.24	
P(F<=f) unilatéral	0.17	
Valeur critique pour F (unilatéral)	1.45	v1=v2

Test sur les hauteurs de pluie sur l'échantillon sélectionné

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	8.22	7.43
Variance	27.68	22.26
Observations	105.00	69.00
Variance pondérée	25.54	
Différence hypothétique des moyennes	-	
Degré de liberté	172.00	
Statistique t	1.01	
P(T<=t) unilatéral	0.16	
Valeur critique de t (unilatéral)	1.65	
P(T<=t) bilatéral	0.31	
Valeur critique de t (bilatéral)	1.97	m1=m2

*Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93*

Test sur les intensités moyennes sur une heure

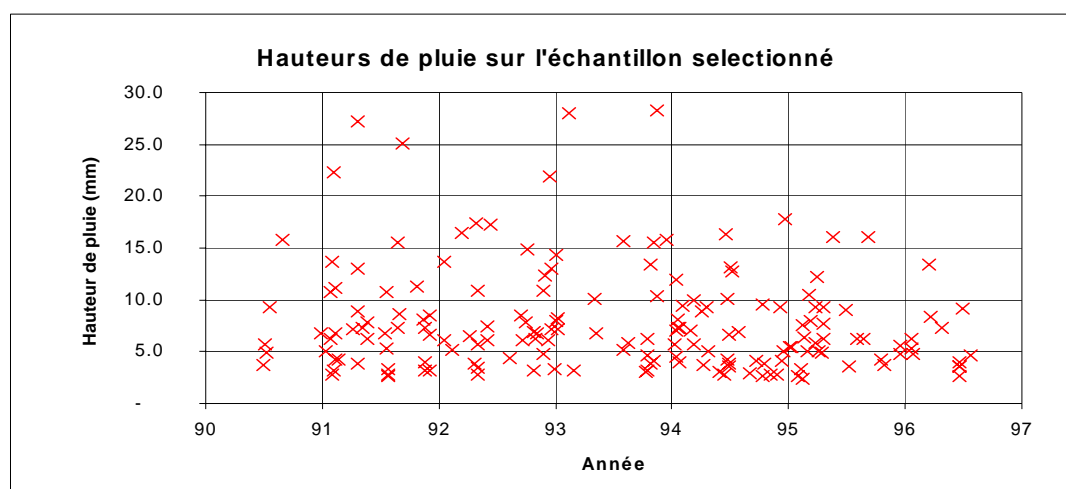
	Variable 1	Variable 2
Moyenne	3.72	3.71
Variance	2.20	1.85
Observations	105.00	69.00
Variance pondérée	2.06	
Différence hypothétique des moyennes	-	
Degré de liberté	172.00	
Statistique t	0.03	
P(T<=t) unilatéral	0.49	
Valeur critique de t (unilatéral)	1.65	
P(T<=t) bilatéral	0.98	
Valeur critique de t (bilatéral)	1.97	m1=m2

Test sur les intensités moyennes sur 15 minutes

	Variable 1	Variable 2
Moyenne	6.84	7.21
Variance	13.07	16.41
Observations	105.00	69.00
Variance pondérée	14.39	
Différence hypothétique des moyennes	-	
Degré de liberté	172.00	
Statistique t	- 0.63	
P(T<=t) unilatéral	0.26	
Valeur critique de t (unilatéral)	1.65	
P(T<=t) bilatéral	0.53	
Valeur critique de t (bilatéral)	1.97	m1=m2

- **Vérification de la dispersion**

Les graphes donnant les hauteurs de pluie et les intensités moyennes des événements sur une heure et 15 minutes ne présentent pas de tendance particulière.



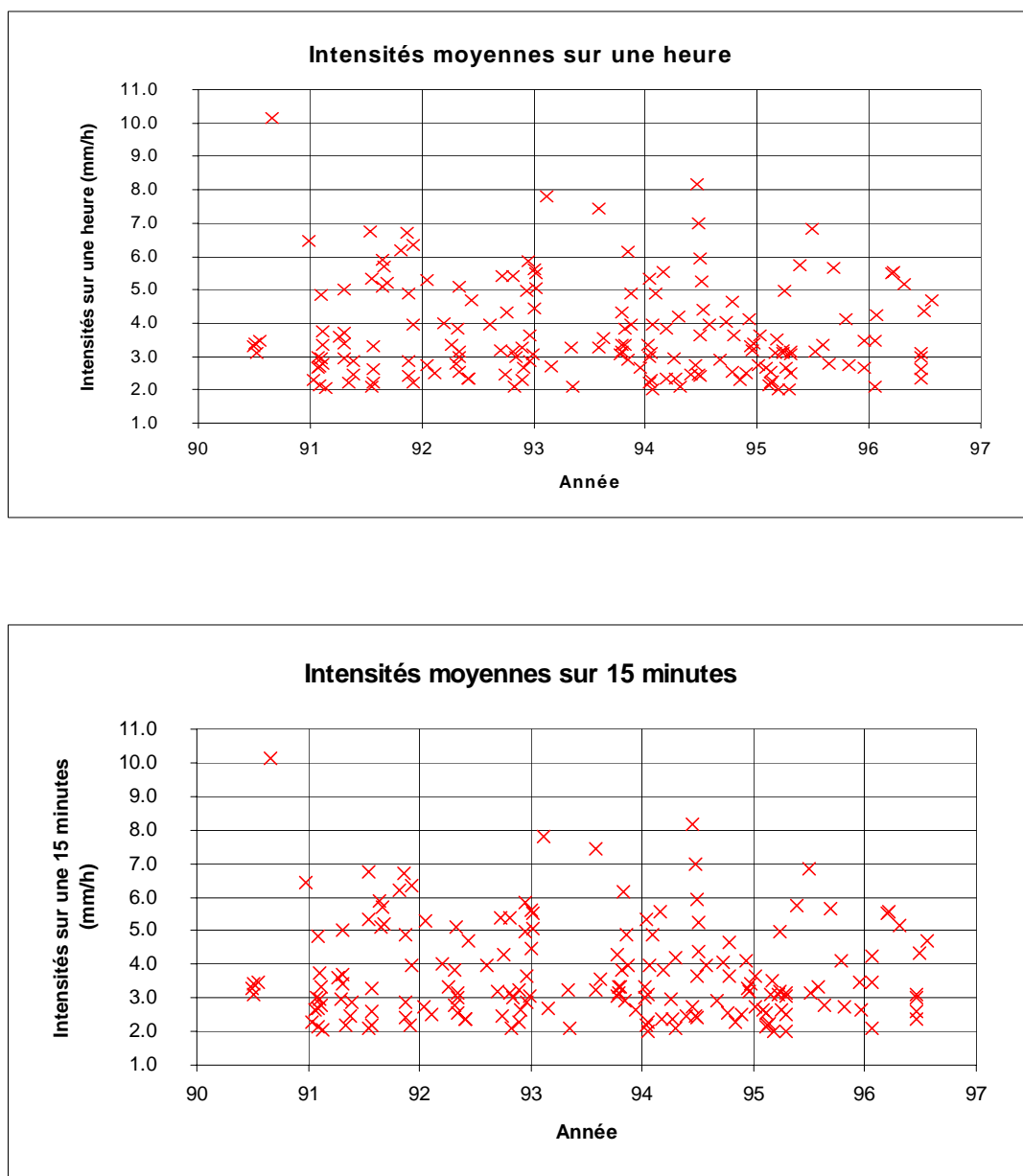
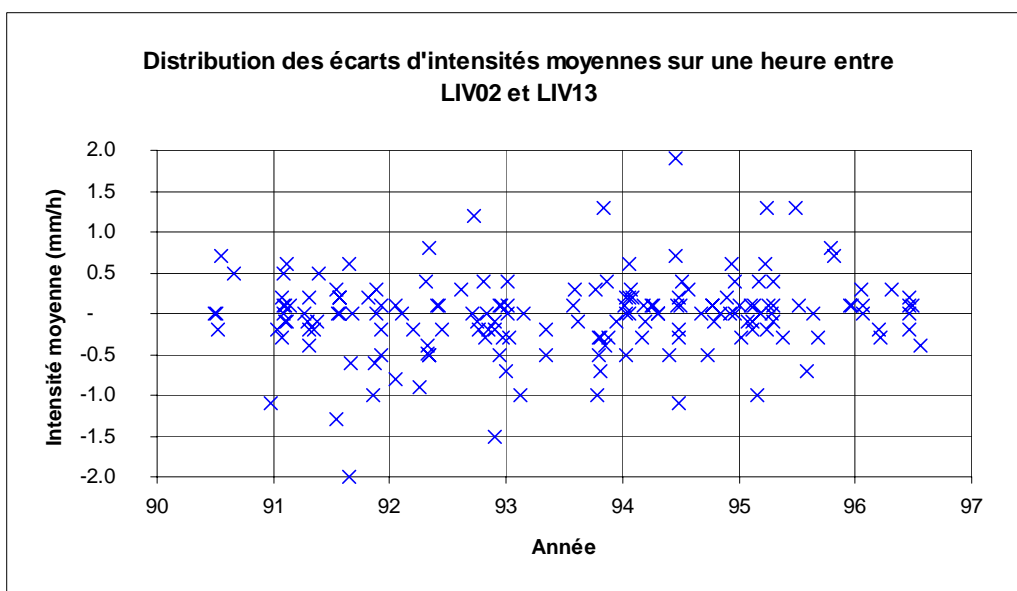
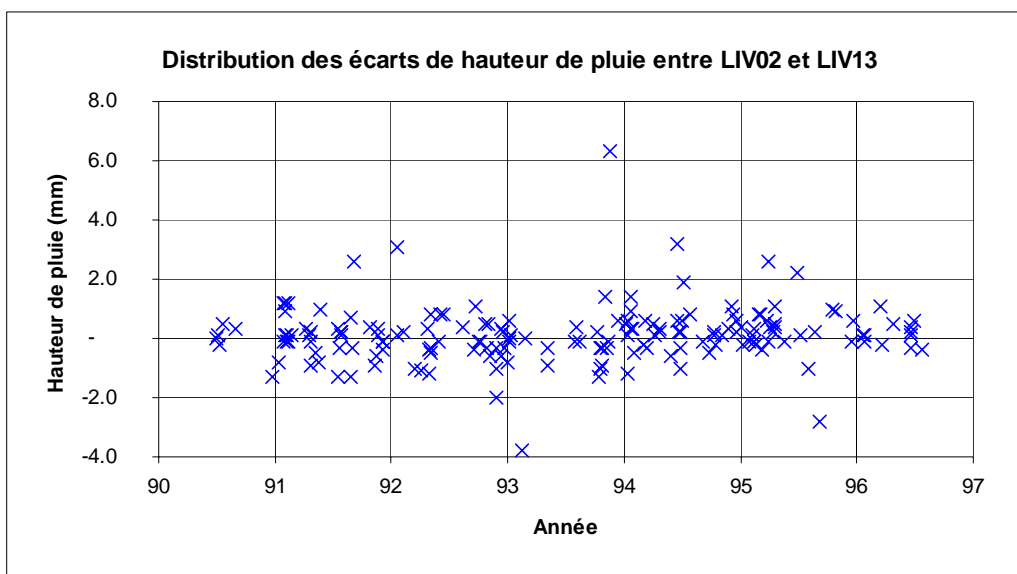


Figure 11: Répartition de événements sur la période

- **Vérification des enregistrements simultanés**

La moyenne des différences des hauteurs de pluie enregistrées par les pluviomètres LIV02 et LIV13 pour les événements sélectionnés est de 0,083 mm, son écart type est de 1,056 mm. Le graphe donnant la répartition de cette différence ne présente pas de tendance particulière.

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93



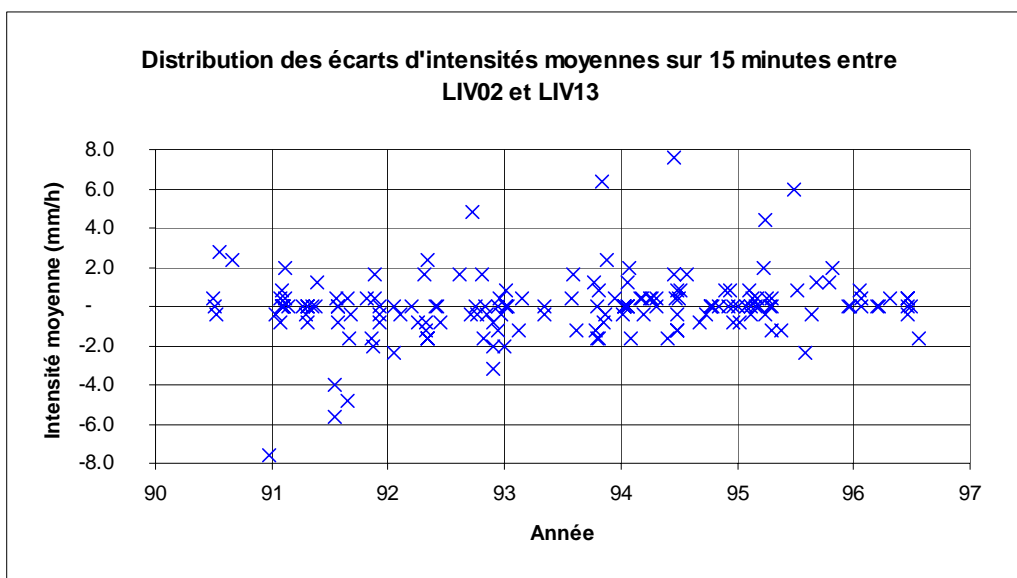


Figure 12 Distributions sur les écarts entre LIV02 et LIV13

On peut donc estimer que l'échantillon des 174 pluies sélectionnées est bien homogène sur la période 1990-1996.

5.

Principes de calcul et d'étude des coefficients d'apport

5.1.1. Généralités

Le coefficient d'apport est défini pour chaque événement par la relation:

$$C_{app} = \frac{V_{ruisselé}}{V_{pluie}}$$

Des études précédentes ont montré une grande variabilité du coefficient d'apport selon l'intensité de l'événement, les caractéristiques de la précipitation ou les conditions ayant précédé cet événement.

Sur un bassin déjà urbanisé, on considère que le volume des pertes est le principal facteur d'incertitude sur le calcul du coefficient d'apport. L'influence des pertes initiales est d'autant plus importante que la hauteur de pluie est faible.

Ces pertes dépendent à la fois des caractéristiques propres à chaque événement mais aussi des conditions précédentes (mouillage des sols, remplissage des dépressions...). La topographie du bassin (pente, rugosité du sol, végétation) et les formes d'urbanisme (toitures, aménagements hydrauliques) sont les facteurs qui déterminent le volume des pertes et leur nature (pertes initiales, continues constantes, proportionnelles ou dégressives).

Sur des bassins fortement urbanisés, relativement plans tels que celui de Livry Gargan, les pertes sont essentiellement des pertes initiales et des infiltrations sur les surfaces perméables qui peuvent atteindre 2 mm de hauteur de pluie.

Dans notre étude nous considérerons deux approches. La première consiste à n'effectuer aucune hypothèse quantitative sur les pertes. En considérant que le coefficient d'apport augmente avec l'intensité des pluies, on regroupera les événements par classe d'intensité.

La seconde sera basée sur une régression linéaire à partir des hauteurs de pluie auxquelles on aura retranché 1 mm de perte considérée essentiellement comme des pertes initiales.

5.1.2. Définition des coefficients d'apport

Les données disponibles permettent de calculer les volumes ruisselés de 4 manières différentes. Les coefficients obtenus sont les suivants:

1. **C_{app1}**: Ce coefficient d'apport est obtenu à partir des débits calculés par les systèmes UNIDATA et ULTRAFLUX. Les limites d'intégration des débits sont définies par le début et la fin de la variation de hauteur d'eau dans le collecteur. Nous n'avons pas basé notre étude sur ce coefficient; il ne nous a servi que comme moyen de contrôle des dérives sur le paramétrage et la mise en évidence des phénomènes hydrauliques d'ensablement du réseau ou d'influences en amonts et en aval de la station de mesure.
2. **C_{app2}**: Ce coefficient d'apport est calculé par la loi hauteur débit de Manning Strickler (K=60 et I=0.001) entre le début et la fin de la variation de hauteur dans le collecteur. Le débit de temps sec est retranché du débit observé à chaque pas de temps. Ce calcul

du coefficient d'apport est biaisé par l'incertitude associée aux variations de débit de temps sec.

3. **Capp3**: Ce coefficient d'apport fait aussi appel à la loi hauteur débit de Manning Strickler. Il se distingue du précédent par l'utilisation d'une interpolation linéaire entre le début et la fin de l'événement comme approximation du débit de temps sec. Ce coefficient présente l'avantage d'être représentatif des événements courts en s'affranchissant des problèmes liés à la synchronisation et au volume de débit de temps sec. En revanche les résultats risquent d'être biaisés par l'influence des eaux résiduelles d'infiltration ou de vidange des bassins naturels ou artificiels. En effet, on observe, le plus souvent, que la hauteur d'eau dans le collecteur ne retourne pas à la fin de l'évènement pluvieux à son niveau de départ.
4. **Capp4**: Le principe de calcul retenu pour ce coefficient d'apport consiste à éliminer de l'événement brut la partie de pluie qui n'a pas contribué au volume ruisselé enregistré au dessus de 39 cm. Cette hauteur correspond à la position maximale de la cloche PEKLY durant la période d'enregistrement. Pour reconstituer des hydrogrammes comparables sur toute la période, nous utiliserons un modèle simple de réservoir linéaire.

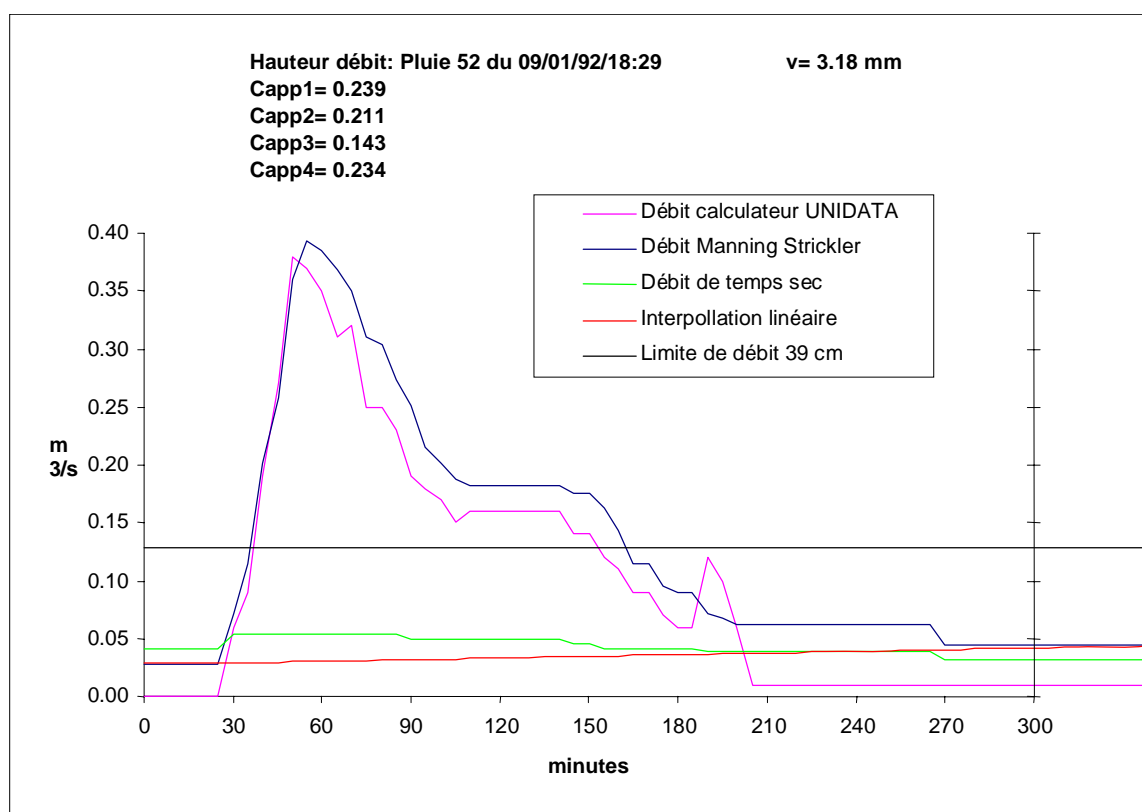


Figure 13 Définition des coefficients d'apport

5.1.3.

Etude de la variation du coefficient d'apport Capp3 sans perte initiale

Des études précédentes comme celle de Brunelle (1991) ont montré que la valeur du coefficient d'apport pouvait dépendre de nombreux facteurs liés notamment aux caractéristiques de la précipitation (intensité, durée) et des conditions qui l'ont précédée (mouillage du sol, remplissage des dépressions). Ces études ont montré que le coefficient d'apport augmentait en fonction de la hauteur de pluie et de son intensité.

Le graphe donnant le coefficient d'apport en fonction de la hauteur de pluie présente ces deux phénomènes. On observe une assez forte dispersion pour des événements de même intensité et un accroissement avec la hauteur de pluie.

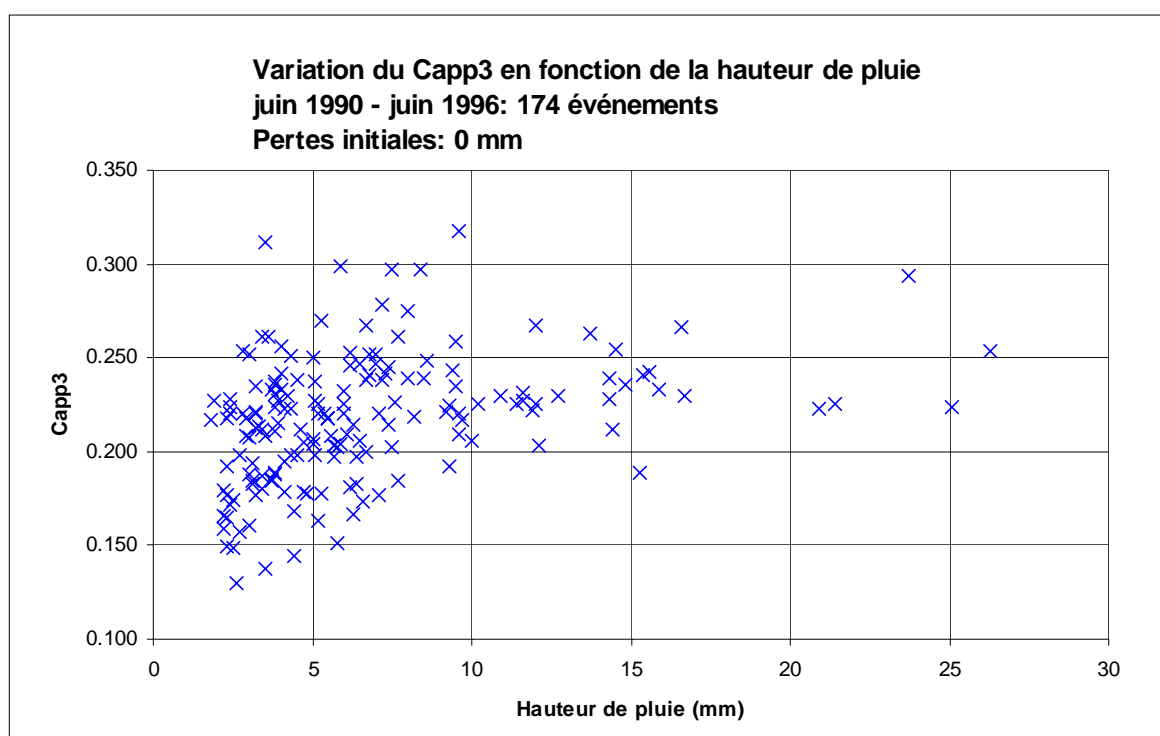


Figure 14: Variation du Capp3

Nous avons donc cherché à regrouper les événements par classe de hauteur pour homogénéiser les données avant de les comparer. Le choix des limites de classes a été effectué de manière à disposer d'un nombre minimal de pluies (> 40) par classe.

Nous avons réparti les événements en 3 classes:

< 4 mm	4 mm < < 7 mm	8 mm <
Classe 1	Classe 2	Classe 3

Nous avons effectué des régressions linéaires sur chacune des classes afin d'évaluer l'évolution du coefficient d'apport sur la période 90-96.

- La première conclusion que l'on peut tirer de l'étude du graphe des coefficients d'apport de la classe 1 est que les événements trop peu intenses ne permettent pas d'obtenir de résultats statistiquement significatifs par leur trop grande variabilité.

- Les régressions linéaires effectuées sur les deux autres classes ont donné les résultats suivants:

Classe	n	Pente de régression	α	Test F seuil	Statistique F	H ₀
2	75	0.0045 < 0.0079 < 0.0113	90%	2e-4	15.30	oui
3	62	0.0053 < 0.0088 < 0.0123	90%	8.24e-5	17,85	oui

Les tests de signification de la régression linéaire et l'analyse de la normalité des résidus permettent de rejeter l'hypothèse d'une pente nulle.

Le coefficient directeur de la pente de régression correspond dans le cas de la classe 2 à une imperméabilisation moyenne annuelle de moins de 2 hectares, soit 12 hectares sur la période. Au seuil de confiance de 90% la limite inférieure se situe à 6 hectares et la limite supérieure 18 hectares.

Pour la classe 3, on obtient un rythme d'imperméabilisation moyen de 2,2 hectares donc plus de 13 hectares.

Au seuil de confiance de 90% la limite inférieure se situe à 8 hectares et la limite supérieure à plus de 18 hectares

5.1.4. Etude du coefficient d'apport Capp3 avec pertes initiales

L'accroissement du coefficient d'apport étant essentiellement dû à l'influence des pertes initiales, nous avons appliqué à l'ensemble de l'échantillon de pluie un abattement systématique de 1 mm. Cette valeur de hauteur de perte correspond à l'ordonnée à l'origine de la régression linéaire donnant la hauteur de pluie brute en fonction de la hauteur de pluie ruisselée sur l'ensemble des événements constituant l'échantillon .

Figure 15: Estimation des pertes initiales

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

Nous avons ensuite effectué une régression linéaire sur le coefficient d'apport Capp3.
 Le graphe donnant le coefficient d'apport Capp3 en fonction des dates montre une dispersion plus faible que pour le calcul sans perte initiale.

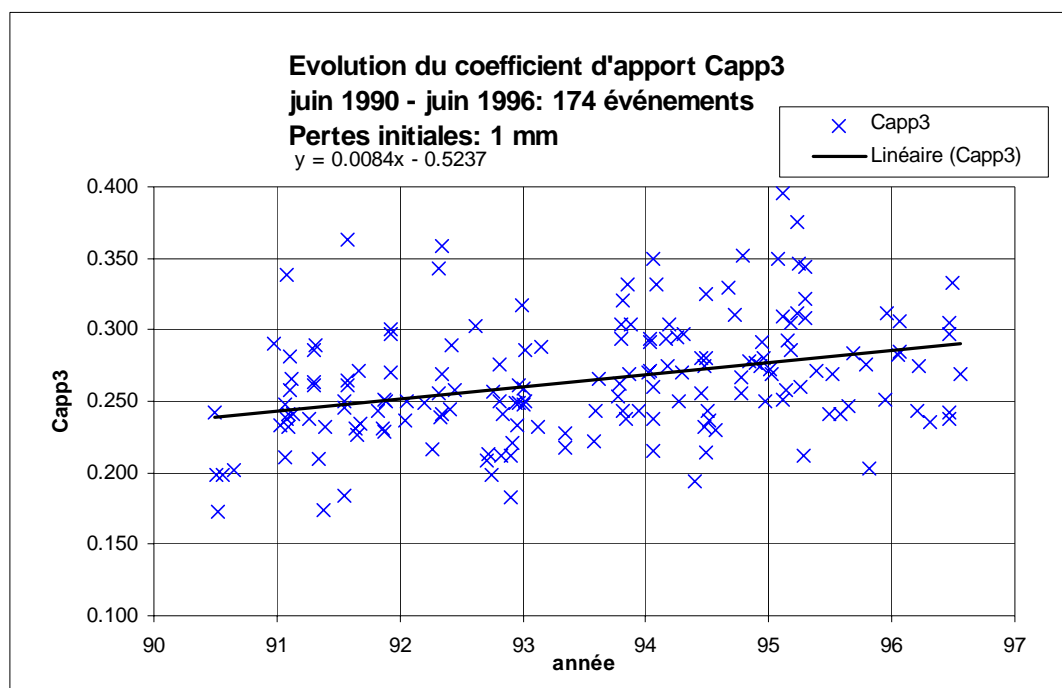


Figure 16: Evolution du Capp3 1990-1996

Les tests d'ajustement de cette régression permettent de rejeter significativement l'hypothèse d'une valeur de pente nulle:

	Degré de liberté	S des carrés	M des carrés	F
Régression	1	0.03337	0.03337	22.53546043
Résidus	171	0.25325	0.00148	<u>Valeur critique de F</u> 4.34078E-06
Total	172	0.28662		

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
Constante	0.2393	0.0061	39.2208	2.10474E-87
Variable X 1	0.0084	0.0018	4.7472	4.34078E-06

Evolution 82-89 **12.75**
Evolution annuelle (ha) **2.11**

	Limite inf 95%	Limite sup 95%	Limite inf 90%	Limite sup 90%
Constante	0.2272	0.2513	0.2292	0.2494
Variable X 1	0.0049	0.0119	0.0055	0.0114
Evolution 82-89	7.45	18.05	8.31	17.19
Evolution annuelle (ha)	1.23	2.98	1.37	2.84

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

Les résultats de la régression linéaire sur les coefficients d'apport montrent un accroissement moyen de 0,0084 par an avec un intervalle à 90 % compris entre 0,0055 et 0,0114.

En terme de surface imperméabilisée on obtient donc sur la période 1990-1996 au seuil de 90%:

$$8,3 \text{ ha} < S_{\text{imper}} = 12,7 \text{ ha} < 17,2 \text{ ha}$$

5.1.5.

Etude du coefficient d'apport Capp2

La démarche précédente, appliquée au coefficient d'apport Capp2 donne les résultats suivants:

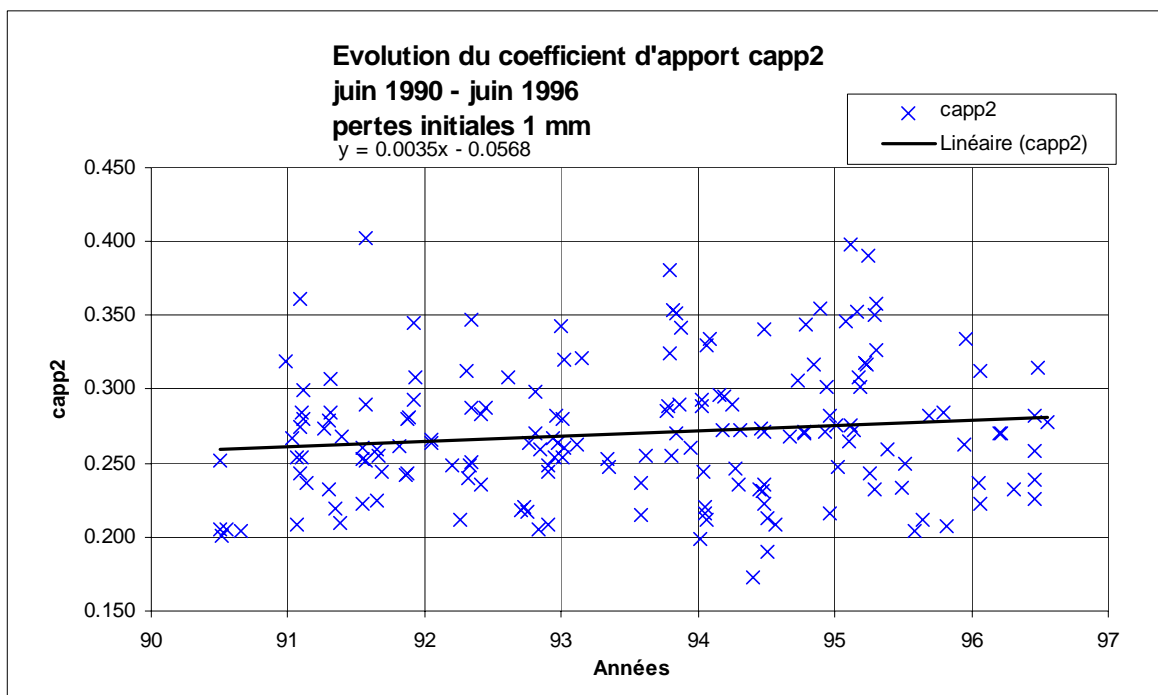


Figure 17: Evolution du Capp2 1990-1996

	Degré de liberté	S des carrés	M des carrés	F
Régression	1	0.005751494	0.005751494	2.887615327
Résidus	171	0.340594323	0.00199178	<u>Valeur critique de F</u>
Total	172	0.346345817		0.091081378

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
Constante	0.25988	0.00707	36.73296	4.74635E-83
Variable X 1	0.00350	0.00206	1.69930	0.0911

Evolution 90-96	5.29			
Evolution annuelle (ha)	0.87			
	Limite inf 95%	Limite sup 95%	Limite inf 90%	Limite sup 90%
Constante	0.245918	0.273849	0.248183	0.271584
Variable X 1	-0.000566	0.007565	0.000094	0.006906
Evolution 90-96	-0.86	11.44	0.14	10.44
Evolution annuelle (ha)	-0.14	1.89	0.02	1.73

La tendance à augmentation est moins marquée; elle est aussi beaucoup moins significative que celle obtenue avec le Capp3.

Pourtant la pente de régression obtenue: 0,0035(comprise entre 0 et 0,0069 au seuil de 90 %) équivalent à 5,3 hectares de surface imperméabilisée supplémentaire.

6.

Variation du coefficient d'apport sur la période 1976-1996

6.1. Critique des données antérieures à 1990

Les enregistreurs numériques n'ont été installés qu'à partir de 1989 et ne sont pleinement opérationnels qu'à partir de juin 1990. Les données antérieures sont enregistrées sur graphiques. Les événements répondant aux critères de volume et d'intensité définis précédemment ont été digitalisés entre le 13/04/76 et le 04/06/76:

Année	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Nombre d'événements	20	33	20	23	18	35	32	33	23	30	29	25	35	20	11

L'exploitation des données de débit ainsi digitalisées a rencontré des problèmes dus à la précision et à la fiabilité des systèmes d'enregistrement.

- Ainsi, le décalage de synchronisation des horloges des enregistreurs de pluie et de débit ne permet pas toujours de retrouver le débit correspondant à la pluie qui l'a généré. Ce décalage est généralement supérieur à une heure et peut dans certains cas atteindre plusieurs heures. L'étude des cahiers d'entretien des enregistreurs du point de mesure TURGOT montrent des dérives qui ne sont pas seulement dues aux changements d'horaire été-hiver (batteries d'alimentation usées, vitesses d'enregistrement variables...); seul un recalage sur chaque événement aurait permis d'étudier des paramètres comme le temps de réponse du bassin. Il est donc apparu indispensable d'effectuer un contrôle visuel de la similitude d'aspect des hydrogrammes et hyétogrammes sélectionnés.
- Les données couvrant la période 1976 à 1979 ont été enregistrées à des vitesses de déroulement très faibles ne permettant pas une bonne précision de digitalisation.
- Les données couvrant les périodes 1986-1987 sont inexploitable du fait d'un ensablement probable de la cloche PEKLY.
- Le critère d'homogénéité des pluies entre les deux pluviomètres est de 20 % à partir de 1979; l'homogénéité des pluies n'a pu être testée avant cette année.

Le processus de sélection des événements a finalement permis de définir un échantillon de 165 événements fiables sur la période 1976-1990. 138 événements ont été sélectionnés sur les données enregistrées par UNIDATA sur la période suivante.

Nous avons donc utilisé **301 événements sur 20 années** de mesure pour étudier l'évolution du coefficient d'apport.

6.2. Choix et calcul du coefficient d'apport

Les données de débit antérieure à 1990 ont été enregistrées sur graphique à partir d'un capteur pression RICHARD PEKLY. Pour des raison d'entretien, la base de la cloche de cet appareil a été déplacé sur la période 1976 - 1990.

Le seuil maximal d'acquisition a été fixé à 38 cm à partir du radier. Cette limite nous impose de définir une méthode particulière de calcul du volume de pluie afin de ne retenir que la partie de l'événement ayant généré un débit mesurable. Nous avons utilisé pour cela le modèle simple du réservoir linéaire à la pluie après avoir estimé le temps de réponse du

bassin à 50 minutes. On constate que le modèle et les résultats restent peu sensible à des variations d'une dizaine de minutes sur ce paramètre. Compte tenu des résultats établis sur la période 1990-1996, nous avons considéré des pertes initiales équivalentes à 1 mm de pluie.

Application du modèle de réservoir linéaire

L'équation de stockage s'écrit:

$$S(t) = K Q(t)$$

Combinée à l'équation de continuité, elle amène à l'équation différentielle:

$$K dQ(t)/dt + Q(t) = i(t)$$

Cette équation a pour solution générale (si on considère K indépendant de Q et i):

$$Q(t) = Q(0) e^{-t/K} + 1/K \int_0^t i(t_0) e^{-(t-t_0)/K} dt_0 + Q_b$$

Ce modèle ne comprend qu'un paramètre: K qui correspond physiquement au temps de réponse du bassin (défini comme le décalage entre les centres de gravité de la pluie nette et du débit ruisselé).

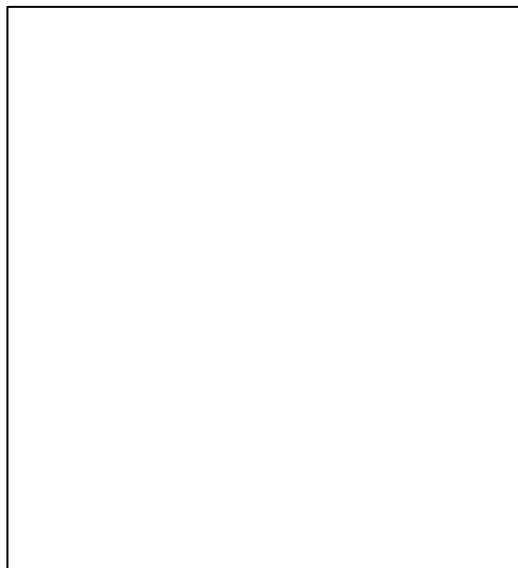
Cette équation discrétisée au pas de temps dt pour $Q(0)=0$ à l'instant initial conduit à la forme explicite:

$$Q(t+dt) = e^{-dt/K} Q(t) + (1-e^{-dt/K}) i(t) dt$$

avec $i(t) = i_{\text{nette}}(t) \times C \times A$ et $i_{\text{nette}}(t)$: intensité de pluie nette sur dt, C coefficient d'apport et A: surface du bassin versant, on obtient finalement:

$$Q(t+dt) = e^{-dt/K} Q(t) + (1-e^{-dt/K}) i_{\text{nette}}(t) \times C \times A$$

Nous avons utilisé cette équation pour tracer un hydrogramme à partir de chaque événement. Nous avons fixé un seuil de débit de 130 l/s correspondant à 38 cm de hauteur d'eau. Nous avons tenu compte du débit moyen de temps sec sur l'événement, de l'abattement des pertes initiales de 1 mm et nous avons optimisé la valeur de coefficient d'apport C obtenu en fonction de ce seuil selon l'algorithme suivant:



Le coefficient d'apport finalement obtenu (Capp4) est le paramètre qui caractérisera l'évolution de la réponse hydrologique du bassin sur la période 1976 - 1996.

*Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93*

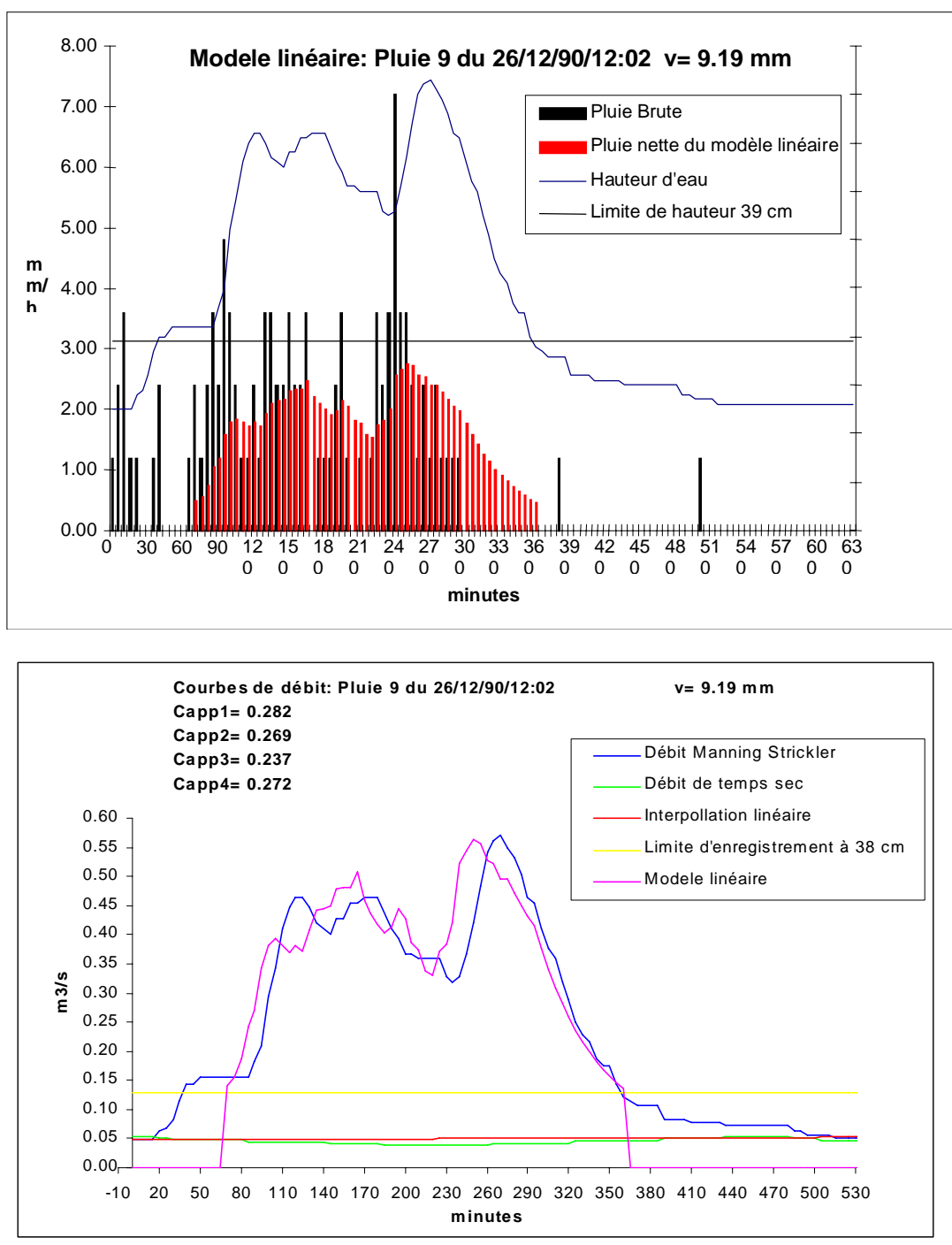


Figure 18: Hyétochrome et hydrogramme du modèle linéaire

Sensibilité du modèle à la variation du paramètre K

Le temps de réponse du bassin a tendance à croître avec la durée de l'événement.

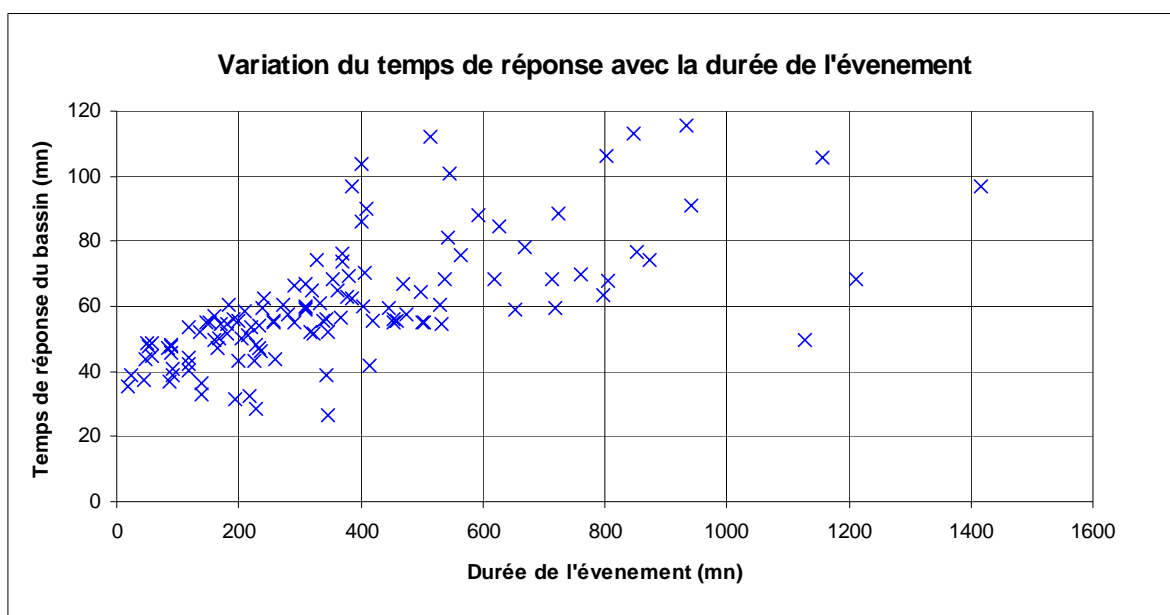


Figure 19 Variation du temps de réponse avec la durée de l'événement

Nous avons considéré que pour des événements d'une durée supérieure à 300 minutes, les incertitudes sur les calculs des centroïdes des débits et des pluies devenaient trop importants.

Le temps de réponse calculé sur l'échantillon de pluie entre 1990 et 1996 est de 50 minutes. Ce temps ne varie pas significativement sur la période; on le considérera de même constant entre 1976 et 1996.

Notre modèle est peu sensible à des variations de plus ou moins 10 minutes sur K.

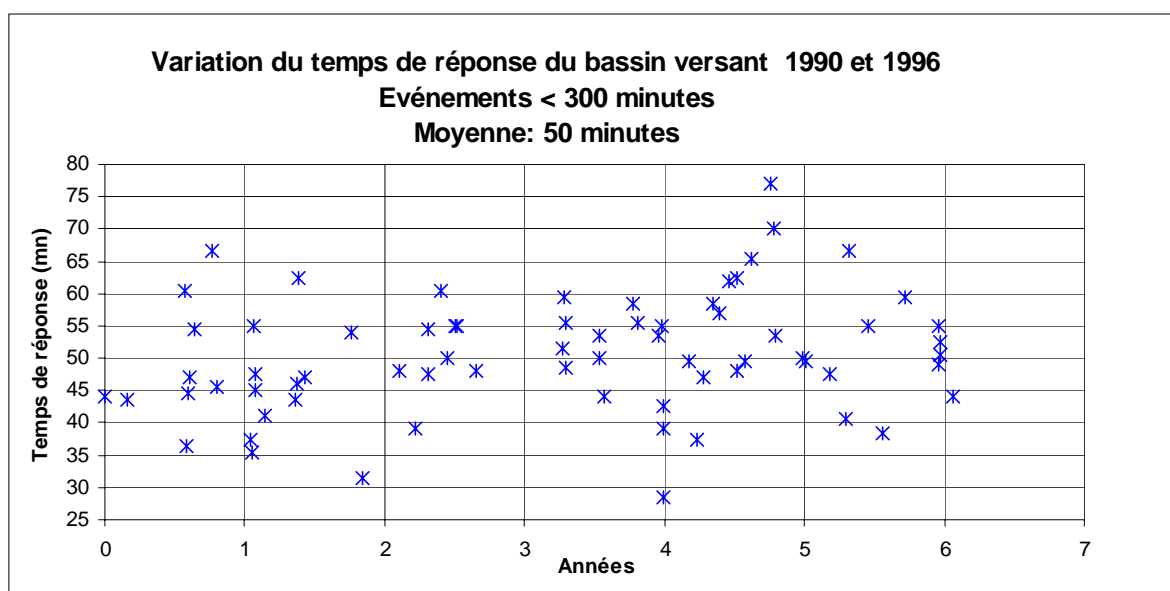


Figure 20 Evolution du temps de réponse entre 1990 et 1996

6.3.

Les résultats

6.3.1. Résultats sur la période globale 1976-1996

Nous avons effectué une régression linéaire sur l'échantillon des 301 valeurs de Capp4 entre 1976 et 1996:

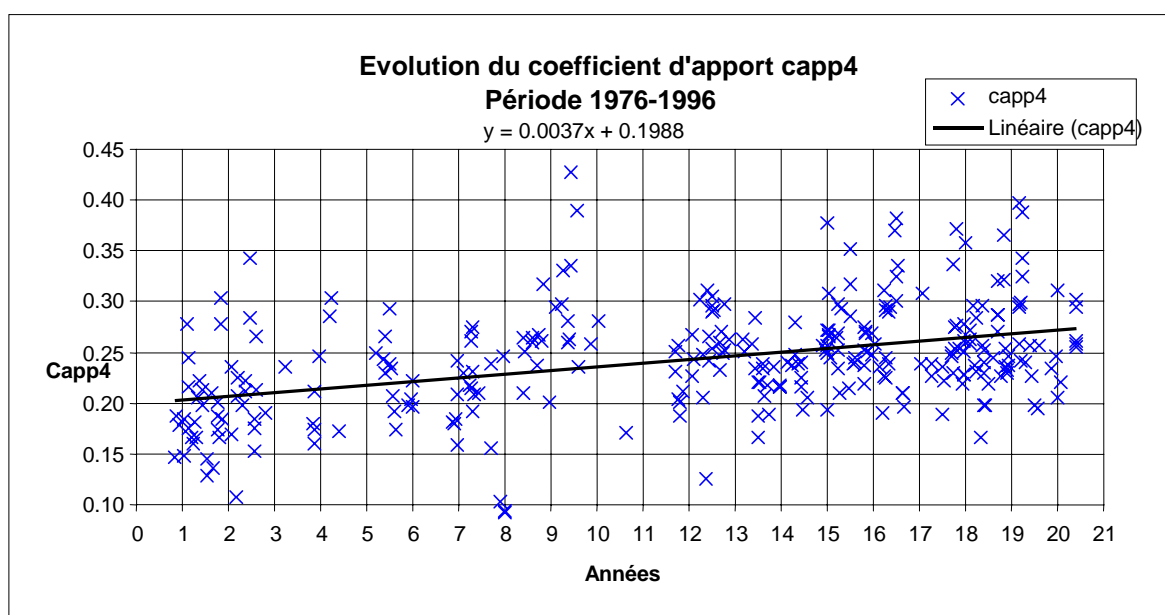


Figure 21: Evolution du coefficient d'apport 1976-1996

L'analyse de la variance donne les résultats suivants:

	Degré de liberté	S des carrés	M des carrés	F
Régression	1	0.14610	0.14610	64.11577
Résidus	300	0.68362	0.00228	
Total	301	0.82973		2.60574E-14

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
Constante	0.19883	0.00615	32.32006	9.9382E-100
Variable X 1	0.00367	0.00046	8.00723	2.60574E-14
Evolution 76-96 (ha)	17.98			
Evolution annuelle (ha)	0.92			

	Limite inf 95%	Limite sup 95%	Limite inf 90%	Limite sup 90%
Constante	0.18672	0.21094	0.18868	0.20898
Variable X 1	0.00277	0.00457	0.00291	0.00442
Evolution 76-96 (ha)	13.56	22.39	14.27	21.68
Evolution annuelle (ha)	0.69	1.14	0.73	1.11

La régression linéaire est statistiquement significative; la variable de Snedecor est de 64. Les résultats montrent un accroissement moyen de 0,0037 du coefficient d'apport par an avec un intervalle à 90 % compris entre 0,0029 et 0,0044.

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

En terme de surface imperméabilisée on obtient donc sur la période 1976-1996 au seuil de 90 % :

$$14,3 \text{ ha} < S_{\text{imper}} = 18 \text{ ha} < 21,7 \text{ ha}$$

L'ordonnée à l'origine de la courbe de régression fournit une valeur du coefficient d'apport de 0,198 en 1977. Ce coefficient est proche de 0,270 en 1996. On obtient donc un accroissement du ruissellement moyen de 1,8 % par an et donc de 36 % sur 20 ans.

6.3.2.

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

Résultat par période de développement

Nous avons procédé à des régressions linéaires sur des sous périodes mises en évidence par l'étude de l'évolution de l'urbanisation du bassin versant; on distinguera ainsi trois périodes: 1976-1981, 1982-1989, 1990-1996.

Période 1976-1981:

	<i>Degré de liberté</i>	<i>S des carrés</i>	<i>M des carrés</i>	<i>F</i>
Régression	1	0.0119	0.0119	5.7721
Résidus	63	0.1302	0.0021	
Total	64	0.1421		

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>
Constante	0.184	0.011	16.343	2.44071E-24
Variable X 1	0.0085	0.004	2.403	0.0192
Evolution 76-81 (ha)	10.89			
Evolution annuelle (ha)	2.12			

	<i>Limite inf 95%</i>	<i>Limite sup 95%</i>	<i>Limite inf 90%</i>	<i>Limite sup 90%</i>
Constante	0.1614	0.2063	0.1651	0.2026
Variable X 1	0.0014	0.0155	0.0026	0.0144
Evolution 76-81 (ha)	1.83	19.95	3.32	18.46
Evolution annuelle (ha)	0.36	3.89	0.65	3.60

L'intervalle de confiance est très large; la régression est peu significative et semble marquée par le poids relatif des mesures des premières années. On sait que sur cette période, les débits ont été enregistrés avec une vitesse de déroulement très faible; la digitalisation a sans doute masqué un accroissement qui, si on se réfère à l'étude urbanistique n'a pas été très conséquent durant cette période.

Période 1982-1989:

	<i>Degré de liberté</i>	<i>S des carrés</i>	<i>M des carrés</i>	<i>F</i>
Régression	1	0.0046	0.0046	1.6076
Résidus	92	0.2620	0.0028	<i>Valeur critique de F</i>
Total	93	0.2665		0.2080

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>
Constante	0.2097	0.0239	8.7831	0.0000
Variable X 1	0.0028	0.0022	1.2679	0.2080
Evolution 82-89 (ha)	5.60			
Evolution annuelle (ha)	0.70			

	<i>Limite inf 95%</i>	<i>Limite sup 95%</i>	<i>Limite inf 90%</i>	<i>Limite sup 90%</i>
Constante	0.16225	0.25706	0.16999	0.24932
Variable X 1	-0.00159	0.00721	-0.00087	0.00649
Evolution 82-89 (ha)	-3.17	14.37	-1.74	12.93
Evolution annuelle (ha)	-0.40	1.80	-0.22	1.62

Evolution du comportement d'un bassin versant urbanisé
CERGRENE - DEA93

Période 1990-1996:

	<i>Degré de liberté</i>	<i>S des carrés</i>	<i>M des carrés</i>	<i>F</i>
Régression	1	0.0015	0.0015	0.7412
Résidus	141	0.2853	0.0020	<i>Valeur critique de F</i>
Total	142	0.2868		0.3907

	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>
Constante	0.2097	0.0239	8.7831	0.0000
Variable X 1	0.0028	0.0022	1.2679	0.2080
Evolution 90-96 (ha)	5.09			
Evolution annuelle (ha)	0.70			

	<i>Limite inf 95%</i>	<i>Limite sup 95%</i>	<i>Limite inf 90%</i>	<i>Limite sup 90%</i>
Constante	0.16225	0.25706	0.16999	0.24932
Variable X 1	-0.00159	0.00721	-0.00087	0.00649
Evolution 90-96 (ha)	-2.88	13.06	-1.58	11.76
Evolution annuelle (ha)	-0.40	1.80	-0.22	1.62

Sur les trois périodes les régressions linéaires ne sont pas statistiquement significatives. Les valeurs de Capp4 présentent un trop grande dispersion qui rend les tendances illisibles et nous empêchent de mettre en évidence les différentes périodes d'urbanisation.

7.

Conclusion de l'étude hydrologique

Pour être suffisamment fiable, l'étude de l'évolution du coefficient d'apport sur le bassin versant de LIVRY GARGAN entre 1976 et 1996 a imposé une sélection drastique de événements pluvieux.

Le soin apporté à ces opérations préliminaires nous a permis de déterminer les tendances sur les variations du coefficient d'apport Capp3 entre 1990 et 1996. Nous avons montré que le coefficient d'apport s'est significativement accru sur cette période. Les régressions linéaires pratiquées sur Capp3 semblent montrer un accroissement moyen de surface imperméabilisée de 13 hectares sur cette période avec un intervalle à 90 % compris entre 8 et 17 hectares. Le principe de calcul de ce coefficient d'apport semble influencer sur la pente de régression en accentuant la tendance à augmentation. Nous avons comparé Capp2 et Capp3 en imposant un seuil d'intensité pour éliminer les événements les plus sensibles au débit de temps sec et aux eaux résiduaires. Ces essais se sont révélés infructueux (pas de convergence des deux coefficients d'apport). La stabilisation du débit en fin d'événement à un niveau supérieur au débit initial et au débit de temps sec pourrait expliquer les différences observées entre les deux méthodes de calcul.

Nous avons ensuite déterminé la tendance d'évolution du coefficient d'apport Capp4 sur la globalité de la période 1976-1996. Le calcul du Capp4 est basé sur l'utilisation d'un modèle de réservoir linéaire. La tendance à augmentation du coefficient d'apport est de 0,0036 par an, soit un accroissement moyen de surface imperméabilisée compris entre 14 et 22 hectares (18 ha avec seuil de confiance à 90%) sur 20 ans.

Nous nous sommes trouvés dans l'impossibilité de dégager des tendances significatives en scindant notre échantillon en périodes correspondant aux phases de développement de l'urbanisme.

Urbanisation

L'étude de l'urbanisation du bassin versant entre 1976 et 1996 a été menée en trois temps:

1. Etude de l'évolution de la population par les statistiques de recensement.
2. Etude de l'imperméabilisation du bassin versant par opérations de construction d'immeubles comportant plus de 2 logements: lotissements, immeubles > R+1, hôtels, zones commerciales et industrielles.
3. Etude de l'imperméabilisation par opérations d'urbanisme diffuses: construction de pavillons individuels, extension de pavillon, garages, terrasses, abris de jardin, raccordement au réseau.

Ces différentes opérations de recherche ont été menées à partir des documents d'urbanisme disponible en mairie de Livry Gargan. Elles doivent permettre de vérifier les résultats obtenus sur l'évolution du coefficient d'apport.

8. Evolution de la population

L'étude de l'évolution de la population sur le bassin versant est un indicateur supplémentaire permettant de jauger la pertinence des résultats obtenus sur l'évolution de l'imperméabilisation du bassin versant.

Les recensements de 1975, 1982 et 1990 permettent d'évaluer l'évolution de la population globale sur Livry Gargan:

Date	Population	Evolution	Evolution %
1975	32765		
1982	32895	130	0,4%
1990	35378	2483	7 %
1997	37000	1622	4,5 %

On peut donc distinguer trois grandes périodes dans cette évolution: La période 1976 - 1982 caractérisée par une faible progression de la population, la période des années 80 qui a vu une forte augmentation de l'effectif et la dernière décennie où on constate un ralentissement de l'accroissement.

La population globale de Livry Gargan s'est donc accrue de près de 12 % depuis 1976.

Compte tenu de la répartition du développement urbain de la commune, on peut estimer que cette évolution s'est principalement réalisée sur le bassin versant étudié.

D'autre part si on tient compte des réalisations d'ensembles bâtis sur la partie du bassin versant, le parc locatif s'est accru d'une capacité de plus de 1600 logements collectifs et de 77 pavillons indépendants.

Les seules opérations sur immeubles de plus de 2 logements ont donc permis d'accroître la capacité de logement d'environ 4000 personnes.

La consommation d'eau qui peut être estimée à 200 l/j par personne serait donc susceptible d'entraîner une augmentation du débit de temps sec de pointe d'environ 15 l/s.

Ce résultat vient confirmer celui obtenu par la statistique sur les mesures de temps sec sur la station TURGOT, il permet de mettre en évidence l'existence de 3 périodes de développement de la commune de Livry Gargan.

9. Opérations d'urbanisme

9.1. Opérations de voirie

- **Le raccordement des parcelles**

La majeure partie des parcelles a été raccordée au réseau communal et départemental bien avant 1976. Les opérations d'urbanisme ultérieures ont permis le raccordement progressif du reste des surfaces au réseau d'égout.

- **Les modifications sur les réseaux**

L'architecture du réseau unitaire communal a très peu évolué depuis 1976. On peut considérer que sur cette période, les travaux de rénovation n'ont pas affecté son comportement hydraulique.

- **Les modifications sur la voirie**

La morphologie de la voirie et son raccordement au réseau n'a pas subi d'importantes modifications durant ces vingt dernières années. Les opérations de réfection des trottoirs et des chaussées ne sont répertoriées que depuis 1992. Réalisées sur des surfaces déjà imperméabilisées et raccordées au réseau, elles n'ont pas entraîné un accroissement significatif du coefficient d'imperméabilisation.

En revanche, la réalisation de nouvelles voie a été pris en compte dans l'étude des dossiers d'urbanisme. Les principales créations de voie ont été celles desservant la ZAC (Allée Jean Coulon) et l'accès à la résidence Jean Monnet.

- **Les bassins de retenue**

Ouvrages communaux

La commune de Livry Gargan s'est dotée d'un bassin d'orage en 1985. Ce bassin, situé au droit du nouveau cimetière, était destiné à réduire les risques d'inondation dans le secteur amont du bassin versant. Son implantation ne devrait pas modifier sensiblement les débits à l'exutoire.

Ouvrages privés

Le bassin d'orage de la zone commerciale RADAR a été réalisé avant 1976. Le lotissement CORA (Mac Donald's, Maxauto...) a été raccordé à ce bassin entre 1996 et 1997.

La réalisation de la zone commerciale Leroy Merlin et Gémo d'une superficie de plus de 3,9 ha a nécessité la construction d'un bassin d'orage d'une capacité de 750 m³ avec un débit en charge de 40 l/s. Le raccordement de cet ouvrage au réseau s'est effectué à la période où le bassin de retenue de la Poudrerie est devenu opérationnel(juin 1996); son influence sur les débits à l'exutoire du bassin versant ne pourra donc pas être étudié.

9.2.

Opérations sur immeubles

La première partie de cette étude a porté sur les opérations immobilières de plus de deux logements ou les implantations industrielles sur les ZAC entre 1976 et 1996. Les données concernant l'imperméabilisation des sols ont été estimées à partir des documents d'urbanisme (plans, permis de construire) lorsque ceux ci étaient disponibles.

88 opérations de ce type ont été recensées par les services techniques de la commune de Livry Gargan; 80 dossiers de permis de construire ont été consultés. Cet échantillon nous a permis d'évaluer l'accroissement de la surface imperméabilisée au cours de la période 1976-1996. L'influence des 8 opérations restantes a été extrapolées sur la base du nombre de logements construits.

Les résultats fournis par l'étude des documents d'urbanisme sur la période 1976 -1997 sont les suivants:

- Les opérations de construction d'immeubles ont porté sur près de 13 % de la surface du bassin versant. Ces opérations ont entraîné une imperméabilisation de plus de 5 % de la surface totale du bassin versant (250 ha). Si on considère que le coefficient d'imperméabilisation initial du bassin était de 30 % en 1976 (75 ha), celui-ci a connu un accroissement de 18 % (14,1 ha) entre 1976 et 1996.
- Les opérations immobilières ayant entraîné une forte imperméabilisation (parkings, zones de stockage, espaces commerciaux) ont été réalisées sur la ZAC. Les dates et les modalités de raccordement de ces surfaces imperméabilisées sont incertaines; la date de déclaration d'achèvement des travaux ne correspond pas nécessairement à celle du déversement dans le réseau.
- La période 1990-1996 reste marquée par la réalisation de la zone commerciale de LEROY MERLIN (3,8 ha). Cette zone est équipée d'un bassin de stockage privé de 750 m³ avec un débit en charge de 40 l/s qui est susceptible d'amortir les débits générés en masquant les autres tendances et qui peut expliquer les différences observées entre les coefficients d'apport Capp2 et Capp3.

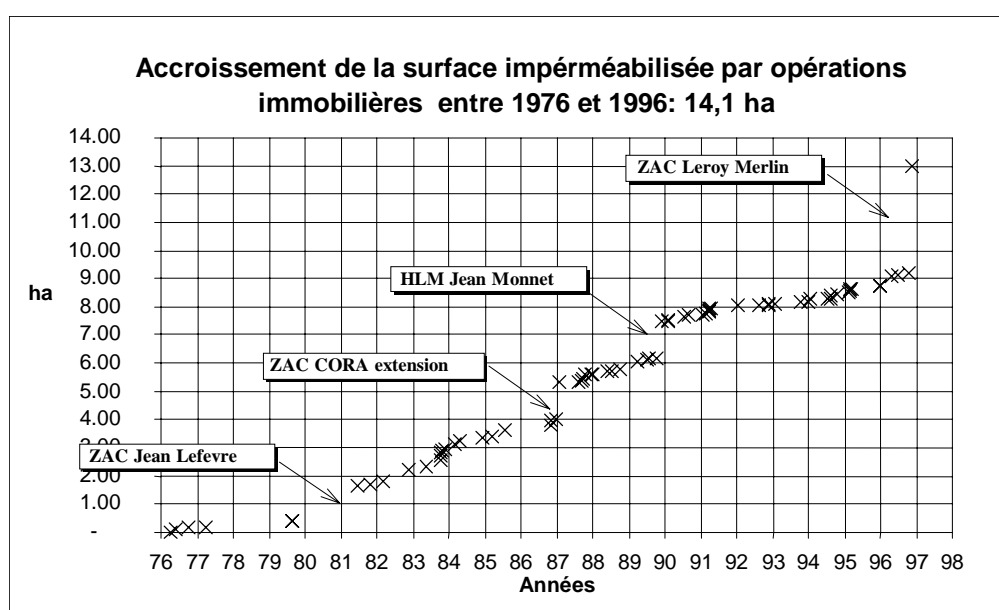


Figure 22: Evolution de l'imperméabilisation par opérations immobilières

9.3. Opérations d'urbanisation diffuse

Dans un deuxième temps nous avons réalisé une étude sur l'évolution de l'imperméabilisation diffuse sur une zone pavillonnaire de LIVRY GARGAN à partir des permis de construire et des demandes de travaux formulées en mairie .

Nous avons sélectionné une zone urbaine homogène (zone Montesquieu), raccordée dans sa globalité au réseau et n'ayant pas subi de profondes modifications de voirie depuis 1976. Selon les services techniques de la commune de LIVRY GARGAN, les travaux qui y ont été réalisés sont représentatifs des opérations diffuses de l'ensemble du bassin versant et de la morphologie de l'urbanisme de la commune.

La superficie de la zone est de 28 ha, soit plus de 11 % de la surface totale du bassin versant. Cette zone est classée au POS en zone UE.

Chaque voie du maillage urbain a fait l'objet d'une étude sur plan. Les opérations et les travaux répertoriés ont permis d'estimer l'accroissement de l'imperméabilisation résultant. Cette étude ne peut bien sur prendre en compte les aménagements réalisés en dehors des exigences réglementaires imposées par les différents documents d'urbanisme. Elle n'inclut donc pas les réalisations des voies d'accès aux bâtiments, les parkings et les terrasses privatives. On peut estimer que les surfaces imperméabilisées sont donc sous estimées d'environ 20 à 30 % (moyenne des proportion des surfaces annexes à la construction constatées). Les dossiers de permis de construire ne précisent pas les conditions de raccordement des surfaces au réseau d'évacuation des eaux.

Les premières conclusions confirment les résultats obtenus par ailleurs sur l'existence de 3 périodes:

Périodes	Accroissement de la surface imperméabilisée (%)	Accroissement de la surface imperméabilisée (ha)
1976 - 1981	0,51 %	0,145
1982 - 1989	1,78 %	0,49
1990 - 1996	0,49 %	0,139

La surface supplémentaire imperméabilisée entre 1976-1996 est de 0,8 ha. Compte tenu des déclarations de travaux ne faisant pas état des surfaces annexes et les travaux réalisés sans enregistrement, cette valeur est sous estimée de 20 à 30%. On retiendra donc environ 1 ha de surface imperméable supplémentaire pour 28 ha de surface totale.

Or en 1976 le taux d'imperméabilisation estimé à 0,3 correspondait à 8,5 ha de surface active imperméable sur ce secteur. Les opérations d'urbanisation sur cette partie du bassin versant ont donc entraîné un accroissement de l'imperméabilisation de près de 12 % de la surface déjà imperméabilisée en 1976.

L'extension de ces résultats à l'ensemble du bassin versant nécessite de rechercher et de définir les caractéristiques des différentes zones urbaines de la commune.

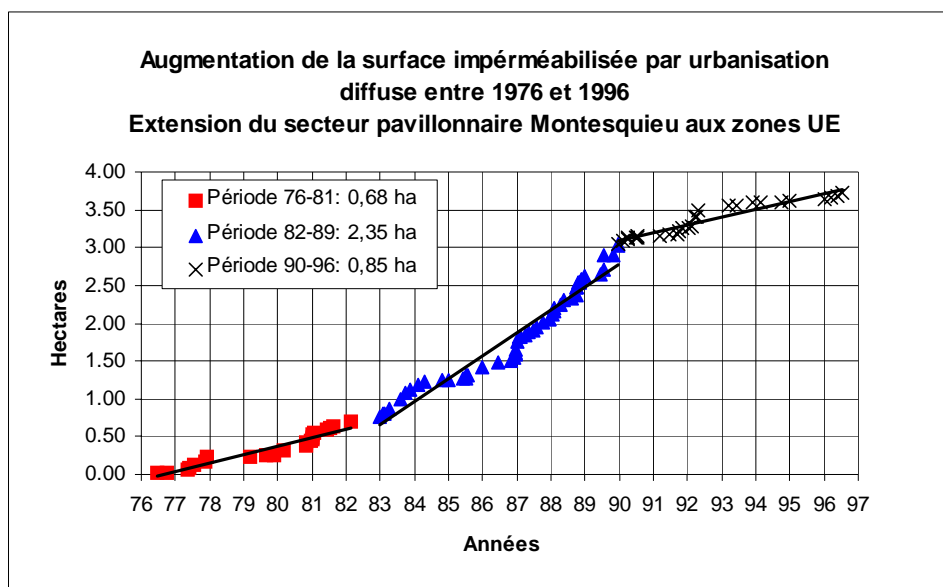


Figure 23 Evolution de l'imperméabilisation par urbanisation diffuse

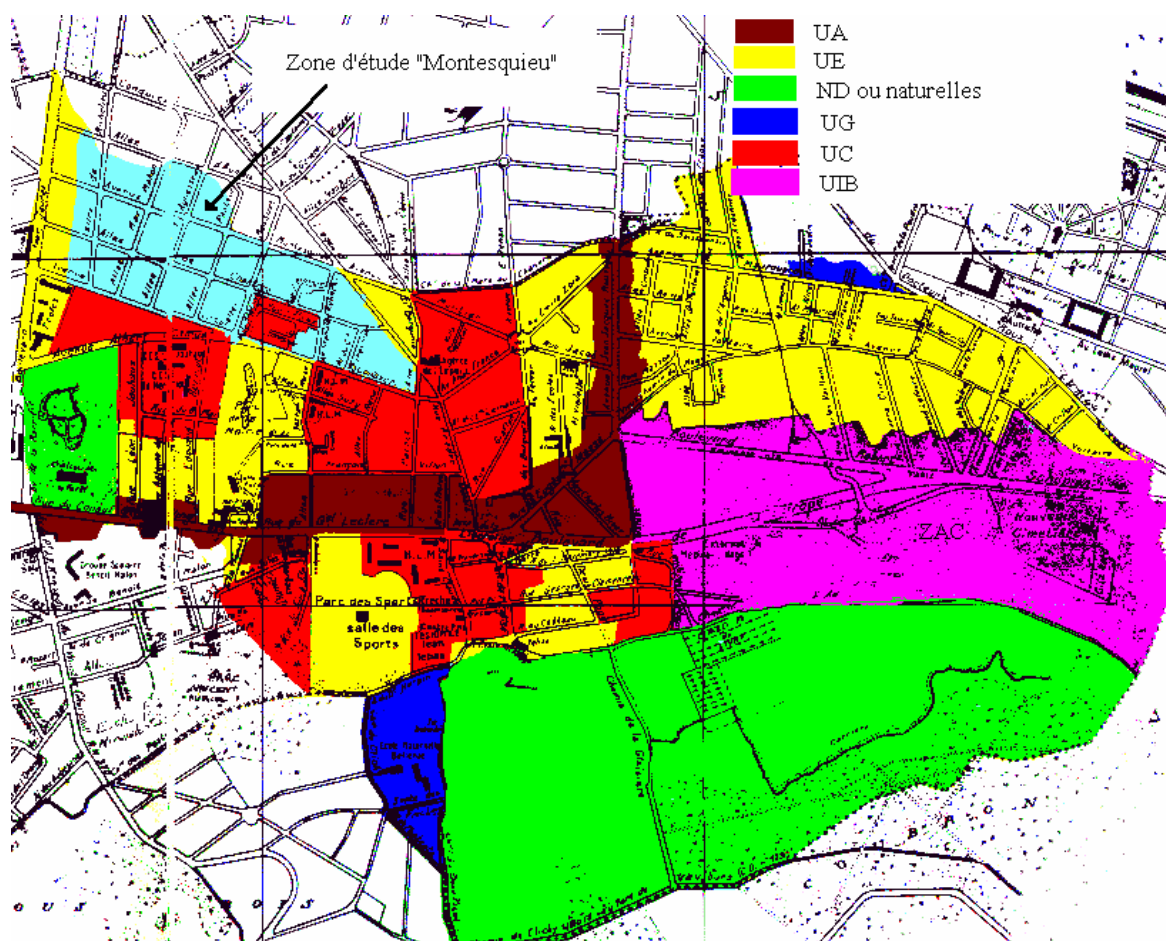


Figure 24 Le POS et la zone d'étude 'Montesquieu'

Evolution de l'imperméabilisation globale du bassin versant

Les résultats obtenus sur les deux catégories d'urbanisation ont été regroupés afin d'obtenir une évaluation globale des conditions d'imperméabilisation du bassin versant. Pour cela, nous avons étendu les résultats obtenus sur le secteur de Montesquieu (zone UE) à l'ensemble du bassin versant en utilisant le découpage réalisé par le Plan d'Occupation des Sols.

La surface cumulée des zones UE est de 107 ha; on peut considérer que la surface imperméabilisée entre 1976 et 1996 est alors de 3,8 ha. Nous avons montré par ailleurs que 14 hectares avaient été imperméabilisés sur les autres zones. Ce sont donc près de 18 hectares de surface imperméable supplémentaire qui contribuent au ruissellement en 1996, soit une augmentation de 24 % de la surface active estimée en 1976 et 7,2 % de la surface totale.

Le phénomène d'imperméabilisation serait réparti sur chaque période de la manière suivante:

Périodes	1976-1981	1982-1989	1990-1996
Accroissement coeff imper	0,0018	0,0033	0,0044
Surface équivalente (ha)	2,31	6,65	8,05

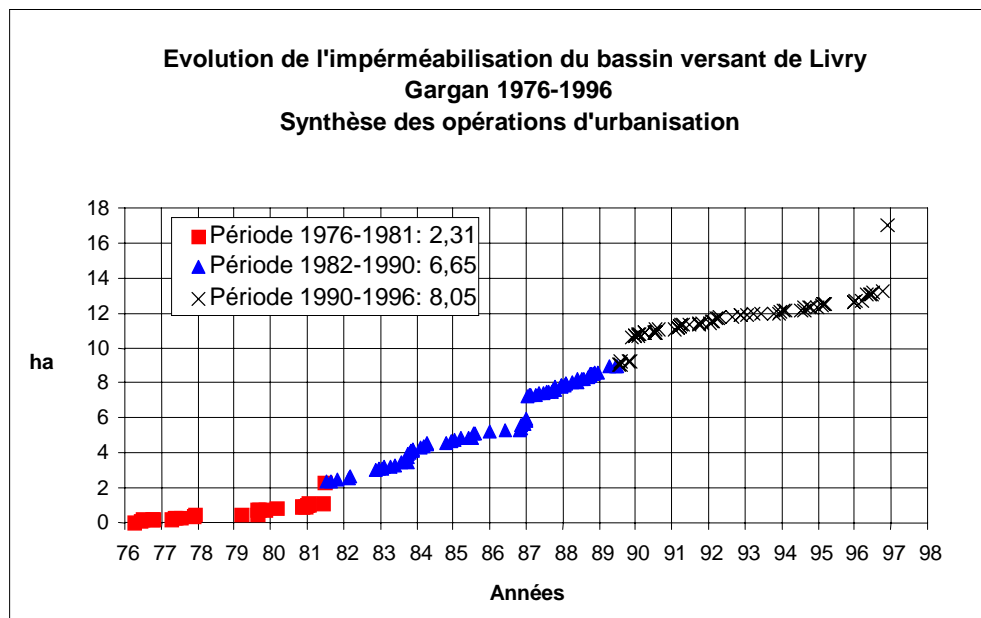


Figure 25 : Evolution de l'imperméabilisation globale

10.

Conclusion de l'étude urbanistique

La surface imperméabilisée sur la période 1976 -1996 correspond à 7 à 8 % de la surface totale du bassin versant. L'étude de l'urbanisation du bassin versant a permis d'évaluer l'influence respective des différents type d'opération immobilières; il ressort que l'urbanisation diffuse ne participe qu'à concurrence de 20 % dans le processus d'imperméabilisation.

Les tendances observées correspondent en tout point au développement de la population sur le bassin versant ainsi qu'aux périodes de développement de l'urbanisme. Les années 80, avec la mise en place de la décentralisation, voient le décollage de l'urbanisation du bassin et le début des années 90 attestent de la récession immobilière.

Les travaux réalisés sur la ZAC, par leur durée, leur étendue, les imprécisions sur les dates et les modalités de raccordement au réseau ont tendance à masquer les autres phénomènes d'imperméabilisation.

CONCLUSION

Sur l'ensemble de la période 1976 - 1996, l'étude de l'évolution conjointe de l'urbanisation et du coefficient d'apport donne des résultats satisfaisants. Les deux études amènent à des résultats concordants:

- L'étude hydrologique sur cette période a permis de révéler un accroissement des surfaces contributives comprises entre 14 et 22 hectares
- L'étude urbanistique a montré un accroissement de l'imperméabilisation de l'ordre de 18 ha sur la même période.

Le coefficient d'apport serait passé de 0,198 à 0,270 en 20 ans ce qui correspondrait à un accroissement de 36 % du ruissellement sur la période.

Le processus d'imperméabilisation a été marqué par les grosses opérations réalisées sur la ZAC. Ces imperméabilisations massives et souvent étendues dans le temps viennent masquer les tendances plus fines des opérations individuelles.

L'étude urbanistique de la zone Montesquieu (28 ha) et son extension à l'ensemble des zones UE du bassin versant (107 ha) a montré la faible participation de l'urbanisation diffuse dans le processus d'imperméabilisation (20 %). La difficulté pour saisir l'étendue et l'influence de ce type d'imperméabilisation a été soulignée. L'informatisation des procédures de permis de construire et une information plus précise sur les surfaces imperméabilisées par chacun des projets permettraient de lever ces incertitudes.

Nous avons tenté de retrouver sur le coefficient d'apport C_{app4} , les tendances par période, telles qu'elles ont été définies au paragraphe urbanisation. L'étude sur chacun des intervalles ne donne pas de résultat significatif. Il semble difficile d'aller plus loin dans l'exploitation des données à l'aide du modèle simple proposé et du nombre restreint d'événements critiqués.

Les données fiables, désormais disponibles, permettent d'envisager d'autres moyens d'investigation comme l'utilisation du modèle d'hydrogramme unitaire. De nombreuses incertitudes restent à être levées. On peut citer notamment l'influence du raccordement des bassins de retenue sur le comportement du flux à l'exutoire du bassin, les conséquences de l'ensablement du réseau... A l'avenir, on peut craindre que la mise en service du bassin de la Poudrerie, la gestion des vannes et déversoirs sur le collecteur ne permettent plus une exploitation aussi simple des données.

ANNEXES

Table des illustrations

FIGURE 1: CARTE DU BASSIN VERSANT DE LIVRY GARGAN.....	11
FIGURE 2: DETERMINATION DU PARAMETRE K	12
FIGURE 3: COURBE HAUTEUR DEBIT	13
FIGURE 4: AJUSTEMENT DE LA COURBE HAUTEUR DEBIT.....	14
FIGURE 5: PHENOMENE D'HYSTERESIS	14
FIGURE 6: STATISTIQUES DE DEBITS DE TEMPS SEC	16
FIGURE 7: RECOUPEMENT D'OBSERVATION DE DEBIT DE TEMPS SEC	16
FIGURE 8: COMPARAISON DEBITS DE TEMPS SEC 1977-1990	17
FIGURE 9: PROBLEME DE PARAMETRAGE EN 1994.....	20
FIGURE 10: INFLUENCE DU PAS DE DISCRETISATION.....	21
FIGURE 11: REPARTITION DE EVENEMENTS SUR LA PERIODE	27
FIGURE 12 DISTRIBUTIONS SUR LES ECARTS ENTRE LIV02 ET LIV13	29
FIGURE 13 DEFINITION DES COEFFICIENTS D'APPORT	31
FIGURE 14: VARIATION DU CAPP3	32
FIGURE 15: ESTIMATION DES PERTES INITIALES	33
FIGURE 16: EVOLUTION DU CAPP3 1990-1996.....	34
FIGURE 17: EVOLUTION DU CAPP2 1990-1996.....	36
FIGURE 18: HYETOGRAMME DU MODELE LINEAIRE	40
FIGURE 19 VARIATION DU TEMPS DE REPOSE AVEC LA DUREE DE L'EVENEMENT.....	41
FIGURE 20 EVOLUTION DU TEMPS DE REPOSE ENTRE 1990 ET 1996	41
FIGURE 21: EVOLUTION DU COEFFICIENT D'APPORT 1976-1996	42
FIGURE 22: EVOLUTION DE L'IMPERMEABILISATION PAR OPERATIONS IMMOBILIERES	49
FIGURE 23 EVOLUTION DE L'IMPERMEABILISATION PAR URBANISATION DIFFUSE	51
FIGURE 24 LE POS ET LA ZONE D'ETUDE 'MONTESQUIEU'	51
FIGURE 25 : EVOLUTION DE L'IMPERMEABILISATION GLOBALE.....	52

Bibliographie

1. Etude d'un bassin versant *Coyne et Bellier mai 1977*
2. Etude de l'influence de l'hétérogénéité spatiale de la pluie sur le comportement hydrologique du bassin versant de Livry Gargan. *Brunelle dominique 1991*
3. Station de mesure TURGOT et la Mare aux Chanvres - Rapport d'expérimentation décembre 1990. *DEA 93*
4. Rapport technique ULTRAFLUX UF 2100 Calculateur de débit par canaux ouverts. *MrCrea DEA octobre 1993*
5. Etude de la faisabilité pour l'utilisation du collecteur de la Mare au Chanvre en ouvrage de stockage provisoire. *Perez Isabelle avril 1990*
6. Influence du pas de temps de discrétisation de la pluie sur la simulation des débits par différents modèles hydrologiques. *Prolog Ingenierie juillet 1987*
7. Simulation de pluies réelles hétérogènes au-dessus du bassin de Livry Gargan. *Lyard stéphane juin 1992*
8. Etude des relations entre le coefficient d'occupation des sols et les paramètres de l'urbanisme tels qu'ils sont définis dans les plans d'occupation des sols. *DEA 93 décembre 1981*
9. The effect of urbanisation on flood magnitude and frequency. *Packman Institute of hydrology octobre 1980*
10. Applied statistics and probability for engineers. *Douglas c. Montgomery George c. Runger*
11. Etude du comportement hydrologique du bassin versant de Livry Gargan *Brunelle Dominique janvier 1991*