

**SYNDICAT INTERCOMMUNAL D'AMENAGEMENT
HYDRAULIQUE DE LA VALLEE DE L'YVETTE**

Contrat Orge / Yvette vives 2

***Schéma Directeur de Gestion des Eaux de Ruissellement
du Bassin Versant Hydraulique du Ru de Vaularon***

Deuxième partie : Diagnostic hydraulique



SETEGUE

53, rue Charles Frérot - BP 91
94253 Gentilly Cedex
☎ 01.41.98.68.00
☎ 01.45.47.01.48
E-mail : secretariat@setegue.fr

Technosite des Bruyères
8 rue Jean Rostand
76140 Petit Quevilly
☎ 02.35.67.30.66
☎ 02.35.67.25.03

Révision n°3 - Janvier 2003

SOMMAIRE

1. CONSTRUCTION DU MODELE DE SIMULATION HYDRAULIQUE	4
1.1. Présentation du modèle utilisé	4
1.2. Topologie des réseaux et des surfaces	4
1.2.1. <i>Découpage et caractérisation hydrologique</i>	<i>4</i>
1.2.2. <i>Particularités de la modélisation du Vaularon</i>	<i>9</i>
1.3. Ajustement du modèle.....	11
2. DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DE LA SITUATION ACTUELLE	15
2.1. Conditions de simulation	15
2.1.1. <i>Topologie du bassin versant.....</i>	<i>15</i>
2.1.2. <i>Pluies de projet</i>	<i>15</i>
2.2. Résultats hydrologiques	16
2.2.1. <i>Analyse des surfaces contributives.....</i>	<i>16</i>
2.2.2. <i>Débits générés.....</i>	<i>17</i>
2.2.3. <i>Résultats hydrologiques pour des sols agricoles saturés</i>	<i>21</i>
2.2.4. <i>Simulation dans la situation « future proche »</i>	<i>22</i>
2.3. Résultats hydrauliques dans la situation actuelle.....	25
2.3.1. <i>Comportement du réseau hydrographique pour les averses non saturantes</i>	<i>25</i>
2.3.2. <i>Bilan des désordres</i>	<i>30</i>
2.3.3. <i>Influence des sols saturés sur les désordres hydrauliques</i>	<i>32</i>
2.3.4. <i>Réduction des débordements par les rétentions projetées</i>	<i>33</i>
3. DIAGNOSTIC QUALITE	34
3.1. Risque d'érosion sur le bassin versant	34
3.1.1. <i>Présentation du phénomène</i>	<i>34</i>
3.1.2. <i>Les facteurs influents.....</i>	<i>38</i>
3.1.3. <i>Cartographie du risque d'érosion.....</i>	<i>41</i>
3.1.4. <i>Quantification des flux polluants en secteur rural.....</i>	<i>42</i>
3.1.5. <i>La charge de MES exportée à l'échelle des bassins versants</i>	<i>43</i>
3.2. Rejets polluants de temps de pluie.....	44
3.2.1. <i>Origine et formes de la pollution des eaux pluviales en milieu urbain.....</i>	<i>44</i>
3.2.2. <i>Flux polluants annuels</i>	<i>46</i>
3.2.3. <i>Flux polluants rejetés lors d'événements pluvieux pénalisants.....</i>	<i>49</i>
4. CONCLUSION DU DIAGNOSTIC.....	51
4.1. Résultats hydrologiques	51
4.2. Résultats hydrauliques.....	52
4.3. Les atteintes au milieu naturel	55

DEUXIEME PARTIE :

**PRESENTATION DU MODELE DE
SIMULATION, ET RESULTATS DE
DIAGNOSTIC**

1. CONSTRUCTION DU MODELE DE SIMULATION HYDRAULIQUE

1.1. PRESENTATION DU MODELE UTILISE

Au plan hydrologique, le modèle Hydroworks permet une grande souplesse :

- ⇒ dans le découpage et l'affectation des bassins d'apport (depuis des surfaces contributives élémentaires très réduites jusqu'à des bassins hétérogènes de plusieurs hectares) ;
- ⇒ dans la description des bassins d'apport et surfaces contributives (paramétrage du ruissellement, prenant en compte imperméabilisation, stockage superficiel, infiltration si nécessaire, et données topographiques).

Au plan hydraulique, Hydroworks permet généralement de décrire, avec un minimum d'artifices et de simplifications, l'intégralité des structures du système réel et leur fonctionnement, ce qui est particulièrement bienvenue dans le cas d'un système aussi complexe que celui du Vaularon, présentant une grande variété d'ouvrages et de sections.

Au plan de la puissance de calculs, la fiabilité (stabilité notamment) du modèle de résolution, conjuguée à la puissance des processeurs modernes, permet de procéder à des simulations d'événements de longue durée, la durée d'exploitation des résultats et la taille des fichiers étant une contrainte beaucoup plus importante que la durée des calculs.

1.2. TOPOLOGIE DES RESEAUX ET DES SURFACES

1.2.1. Découpage et caractérisation hydrologique

Le bassin versant a été découpé en **81 bassins élémentaires**, correspondant aux principaux tronçons et antennes modélisées, et à des entités aussi homogènes que possible, aussi bien en termes d'occupation des sols que de topographie : toutefois cette condition d'homogénéité n'est pas rédhibitoire, puisque chaque bassin ou sous-bassin élémentaire peut être **divisé en 3 surfaces d'apport affectées d'un coefficient propre**, permettant justement de tenir compte de la diversité d'urbanisation, liée à la taille du bassin d'apport ou simplement à une complexité urbaine locale spécifique.

A partir du contexte topographique établi grâce aux cartes IGN, aux premières visites de terrain précisant les points hauts et les directions d'écoulements, et grâce aux plans des réseaux pluviaux, on procède à un découpage des bassins versants en bassins élémentaires et sous-bassins de génération des eaux pluviales.

Ce découpage, effectué sur le fond SCAN25®, est présenté à la page suivante : il fait apparaître les macro-entités correspondant aux principaux axes écoulements.

Chaque bassin élémentaire porte un numéro (ex : Fr3) qui correspond en fait au nœud du réseau auquel est affectée l'entité en question, dont **la surface réelle est déterminée par Arcview** et entrée dans le fichier de données. Ce même logiciel permet de caractériser chaque bassin élémentaire, en terme d'occupation du sol (analyse de la photographie aérienne, cf. atlas cartographique du diagnostic) et de pente des versants (cf. atlas cartographique, carte n°5).

Pour chaque bassin élémentaire, les trois surfaces contributives sont affectées de coefficient de ruissellement (**C**).

Le **coefficient de ruissellement C** est défini comme étant le rapport entre le volume d'eaux ruisselées dans un sous-bassin versant considéré pendant une pluie (autrement dit, le volume d'eau observé à l'exutoire) et le volume total de la pluie. Il est déterminé en fonction de **la nature et l'occupation des sols**, ainsi que **la pente du terrain** (pour tenir compte du stockage superficiel).

Il varie également avec la durée de l'averse, et donc selon **l'état hydrique du sol**. En effet, le niveau de saturation des sols contribue ou non à favoriser le ruissellement : ce phénomène est surtout important en zone rurale puisque pour des surfaces imperméables (zone urbanisée) l'expérience montre que le ressuyage après la pluie est en général rapide, notamment pour un épisode orageux en période estivale.

La démarche est donc la suivante :

La zonation du domaine d'étude, établie par le croisement de l'information « occupation du sol » et « pente » permet d'affecter un coefficient de ruissellement à chaque zone, à partir de cette typologie. Les valeurs retenues par type d'occupation du sol et de pente sont détaillées ci-après :

- **Les prairies et forêts** : de par la forte aptitude à la rétention et/ou à l'absorption des eaux, due à la végétation permanente et à la microtopographie (bosses, trous naturels), le coefficient de ruissellement appliqué à ce type d'occupation du sol, en terrain argilo-limoneux sera pris égal.

Pentes	Coefficient de ruissellement
< 2%	0,02
2 à 5%	0,05
> 5%	0.10

- **Les zones urbanisées** :

L'urbanisation à prendre en compte est surtout celle des bourgs, des zones pavillonnaires ou équivalentes en densité. L'essentiel du ruissellement s'écoulant de ces secteurs provient des voiries, des parkings et des toitures. La présence de jardins et d'espaces verts limite au contraire le phénomène. Cependant, il convient de ne pas négliger les secteurs d'activités, d'entrepôts, cour de ferme, ... Ainsi nous distinguerons, selon la densité de l'urbanisation, plusieurs types : l'habitat ancien (centre bourg,...), l'habitat pavillonnaire (plus ou moins dense) et les zones d'activités.

Les ZAC, parcs d'activités etc. sont des zones particulièrement influentes sur la génération du débit pointe. En conséquence, elles sont affectées d'un coefficient supérieur à celui d'une zone urbanisée classique.

Les coefficients affectés à ces zones sont répertoriés dans le tableau suivant :

Coefficient C	Habitat pavillonnaire		Habitat ancien	Zones d'activités
	Lâche	Dense		
Minimal	0,10	0,20	0,30	0,50
Maximal	0,25	0,50	0,60	0,80

- **Les autoroutes, routes et parkings** : si un calcul doit être réalisé pour une aire constituée essentiellement de zones bitumées (plates-formes, voiries, aires, parkings), un coefficient C de **0,80** lui sera appliqué.

- **Les terres arables**

Les coefficients de ruissellement affectés aux **parcelles agricoles** doivent ensuite être attribués.

Le nivellement de grandes parcelles, l'absence de zones de rupture (bandes enherbées, haies ou talus), les pratiques culturales (labours hersés, semis tassés), le type de production, (maïs, plantes sarclées..), l'utilisation d'engins (ornières des roues de tracteurs et remorques) sont des facteurs conduisant à l'augmentation du ruissellement. De tels sols peuvent présenter localement des coefficients de ruissellement supérieurs à 0.40 lorsque les situations pénalisantes suivantes sont réunies :

- la répétition des pluies entraîne la saturation des sols ;
- les cultures sont achevées, les champs ne sont alors plus végétalisés et ne sont pas encore labourés : les sols sont donc compacts et présentent un micro relief très peu marqué ; la capacité de stockage superficiel est très faible.

Aussi, la **diversité des cultures dans l'espace et dans le temps** ne permet pas en toute rigueur de choisir un unique coefficient. En effet, les cultures **d'hiver** et de **printemps** agissent **différemment** sur la génération du ruissellement.

Il pourrait paraître alors judicieux d'effectuer deux calculs selon le type de cultures en place afin d'estimer son influence. Néanmoins, il semble plus pertinent de rester dans une situation plutôt défavorable pour déterminer les coefficients de ruissellement des parcelles agricoles.

Sans perdre de vue les différences de comportements entre les sols nus issus de pratiques distinctes (sols nus après maïs ≠ sols après moissons de blé), **nous choisissons d'affecter des coefficients C identiques aux sols nus issus des cultures de printemps ou d'hiver ; ce même choix est aussi appliqué aux sols couverts.**

Concrètement, **les coefficients de ruissellement** contenus dans le tableau ci-dessous, **seront affectés aux parcelles cultivées identifiées par l'analyse de la photographie aérienne.**

Au regard des contextes pédologiques et agricoles, nous affecterons **les coefficients adaptés** suivants :

Pentes	Terres arables « sols saturés »	Terres arables « sols non saturés »
< 2%	0,13	0,07
2 à 5%	0,22	0,12
> 5%	0,40	0,20

Cette **caractérisation initiale des coefficients de ruissellement**, sera par la suite corrigée lors de l'ajustement du modèle (comparaison des résultats de simulation pour une pluie réelle à des observations de terrain).

Le **synoptique** présenté dans l'atlas cartographique (carte n°18, rendu direct d'Hydroworks) représente la structure modélisée et sa segmentation.

La segmentation a été réalisée en fonction de la structure réelle et de sa complexité, et de l'homogénéité hydraulique des tronçons : pente, section et répartition des apports. Compte tenu de la variabilité de section observée, l'identification de tronçons homogènes a été rendue difficile. Par conséquent, afin de restituer au mieux les conditions d'écoulements, voire les débordements, nous avons été amenés à réaliser une segmentation fine, notamment pour la Frileuse et le Vaularon.

La description de chaque tronçon (collecteurs ou cours d'eau...) a été effectuée à partir :

- ⇒ des plans, profils et documents techniques fournis par le SIAHVY (relevés topographiques récents) ;
- ⇒ des levés effectués lors des investigations de terrain (profondeur des réseaux EP, gabarits des fossés) ;
- ⇒ des analyses fonctionnelles et d'état effectuées in-situ lors de ces mêmes reconnaissances (effectuées par des ingénieurs chargés des mesures et de la modélisation).

Une campagne topographique réalisée avant le démarrage de cette étude, a permis d'acquérir les informations relatives aux côtes radiers, aux côtes du terrain ainsi qu'aux dimensions des cours d'eau et des ouvrages, pour le ruisseau de la Frileuse, du Bourbonnais, de l'Angoulême et du Vaularon, sur leur cours permanent.

Mais **le tronçon du Vaularon compris entre la rue Charles de Gaulle à Bures et son exutoire sur l'Yvette** n'a pas été levé. Par conséquent, **les informations topographiques** fournies au modèle pour ce secteur, **sont approximatives** : ceci confère plus d'incertitude aux calculs. Compte tenu de la sensibilité de ce secteur aux débordements, il serait pertinent de rechercher des informations complémentaires, pouvant affiner les valeurs (par exemple, la cote du point de rejet du Vaularon dans l'Yvette serait une information pertinente).

Le passage canalisé du ruisseau de la Frileuse, avenue de la Promenade, n'a pas été levé. La combinaison des relevés de profondeur effectués par nos soins, aux informations topographiques contenues dans le POS de Bures-sur-Yvette à la précision métrique, permet de combler ce manque par une donnée relativement fiable. D'ailleurs, il apparaît que le tronçon situé le plus en aval du collecteur Ø 600, est **à contre pente** : les dépôts observés dans le regard situé à proximité du pont de l'avenue de la Promenade en témoignent.

Pour tout les autres points de modélisation, non situés sur les cours d'eau permanent (en amont), deux cas de figures se présentent :

- ✓ les informations du POS et les fortes pentes des versants, confèrent une bonne fiabilité aux données topographiques des réseaux d'eaux pluviales modélisés de Bures-sur-Yvette ;
- ✓ les données topographiques sur les lignes d'écoulement (fossé, réseau EP) de Chevry et de Gometz-le-Châtel sont issues de la carte IGN ; elles sont donc peu précises, mais du fait des fortes pentes, cette incertitude n'est pas pénalisante pour la précision des calculs.

L'appréciation de l'**hydraulicité des tronçons** (pertes de charges linéaires, pertes de charges singulières), a été quantifiée d'après les observations de terrain et les informations reportées sur les plans du géomètre.

Par conséquent, deux types de pertes de charge sont introduites dans le modèle :

- ✓ **les pertes de charges singulières** le sont par le biais d'un coefficient attribué aux nœuds concernés ;
- ✓ **les pertes de charges linéaires** sont prises en compte par le coefficient de Strickler (K) affecté à chaque tronçon.

Les coefficients de Strickler sont établis en fonction des caractéristiques physiques des tronçons, sur la base de notre expérience et des références bibliographiques (Éléments d'hydraulique torrentielle, CEMAGREF ; Hydraulique fluviale - Tome 1, PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES). Il ressort que les coefficients **K** sont affectés selon le tableau suivant :

Caractéristiques de la ligne d'écoulement	Coefficient de Strickler (K)
Écoulement sur terre arable	15
Rivière torrentielle	20
Rivière	25 à 30 selon la végétation de la berge, et selon l'état du fond
Rivière canalisée (mur, pieux en berge)	35* à 40 selon l'état des berges
Rivière canalisée berges et fonds	50
Buses de diamètre inférieur à \varnothing 500, Ouvrages de section spéciale	60
Buses de diamètre supérieur à \varnothing 500	70
Écoulement sur chaussée	80

* ce coefficient est volontairement faible, afin de tenir compte des micro-singularités qui ponctuent les tronçons.

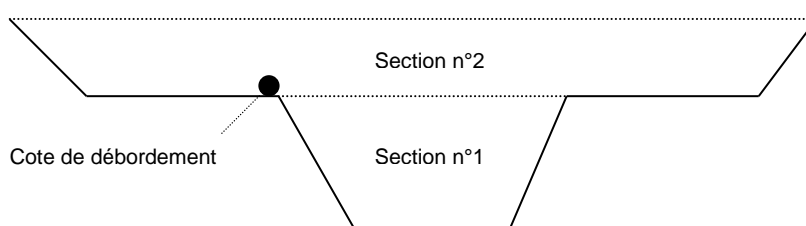
Au total pour l'ensemble du réseau hydrographique associé au bassin versant du Vaularon, le modèle comporte :

- ⇒ **81 surfaces contributives ;**
- ⇒ **310 nœuds dont 10 bassins de rétention et 1 exutoire ;**
- ⇒ **325 tronçons.**

Les points de calculs du modèle ont fait aussi l'objet d'un report sur fond IGN (cf. atlas cartographique).

1.2.2. Particularités de la modélisation du Vaularon

Le logiciel Hydroworks permet de modéliser aussi bien les sections fermées (collecteurs, ouvrages sous pont) que les sections ouvertes que constituent un cours d'eau. Afin de déterminer l'apparition des débordements dans une section, mais aussi pour tenir compte des écoulements dits débordant (c.a.d. dans le lit majeur), **les tronçons de cours d'eau seront dotés de deux sections d'écoulement**. Dans le modèle, nous introduirons la première section définie par ces caractéristiques réelles représentant le lit mineur de la rivière, et celle-ci sera surmontée d'une deuxième section aux caractéristiques fictives afin de représenter le lit majeur, comme sur le croquis proposé ci-dessous.



Jusqu'à présent, nous avons abordé la problématique des inondations sur le Vaularon sous le seul angle des ruissellements et des écoulements. Mais selon le contexte, les phénomènes de ressuyage des sols peuvent contribuer aux hydrogrammes de crues : en effet, la fraction de précipitation infiltrée dans le sol (qui ne ruisselle pas) se répartit schématiquement en deux composantes : une part rejoint la nappe profonde (si les conditions géologiques le permettent), et la seconde est **stockée dans la couche superficielle du sol**. Ce volume n'est pas perdu, mais il est restitué au réseau hydrographique par le biais du drainage hypodermique, des ressurgences à flanc de versant ou de nappes affleurantes situées en fond de vallée.

Ce phénomène peut être accentué par le biais de drainage artificiel (cf. rapport de diagnostic), que l'on trouve sur le bassin versant du Vaularon.

Pour le cas présent, le ressuyage naturel nous paraît peu présent en période de crue, compte tenu :

- ✓ de la présence de surfaces imperméabilisées qui limitent les flux vers la couche de sol ;
- ✓ de l'existence de drainage artificiel sur les autres surfaces.

Par conséquent, **l'influence du ressuyage sur les débits de crue se posent exclusivement pour les réseaux de drainage**. Deux types de réseaux coexistent sur le bassin versant :

- ✓ à l'aval du bassin, les zones urbanisées sont dotées de nombreux drains : ceux-ci assurent l'évacuation des sources, ou le drainage des parcelles construites en zones humides du fait de la présence toute proche de la nappe ; leur comportement est peu dépendant des conditions pluviométriques, ils contribuent bien plus au débit permanent du cours d'eau qu'aux débits de crue ;
- ✓ par contre à l'amont, **les terres arables font l'objet d'un drainage agricole** qui peut contribuer à l'hydrogramme de crue.

Nous tenterons de **modéliser le drainage agricole** sur le bassin versant du Vaularon, afin d'estimer son influence sur les débits de crue. Nous distinguerons **5 bassins de drainage**, correspondants aux exutoires principaux des réseaux de drainage agricole identifiés.

Le logiciel HYDROWORKS permet une conceptualisation de ce phénomène : le ressuyage des sols drainés est modélisé par le biais d'**un couple canalisation / réservoir** :

- ✓ un exutoire de réseaux de drainage est associé à un bassin versant, correspondant à la surface drainée et caractérisé par un coefficient de perméabilité (fraction de la lame d'eau non ruisselée, à laquelle doit être déduite la fraction infiltrée vers la nappe) ; cette surface contributive est raccordée à **une canalisation de faible diamètre et longue** afin de restituer les temps de transfert dans le sol ;
- ✓ ce tronçon est raccordé à **un réservoir**, représentant le sol, et donc possédant ses caractéristiques de stockage (surface / hauteur par exemple) ; ce réservoir est doté d'un ouvrage de fuite matérialisant le réseau de drainage.

La présence de cet ouvrage de fuite dans la conceptualisation est l'élément différenciant la modélisation du ressuyage accentué par drainage, de la restitution du ressuyage naturel.

Par ailleurs, cette modélisation permet **une restitution du ruissellement sur sols saturés**, en permettant le débordement du réservoir sol (phénomène de nappes perchées). Cette approche, malgré son ajustement aléatoire en l'absence de mesures (hauteur et surface du réservoir inconnues), assure une représentation plus fidèle du phénomène qu'une modification des coefficients de ruissellement effectuée par « le modélisateur ». Ce phénomène devra être observé sur des événements estivaux exceptionnels, tels que ceux observés en juillet 2000.

D'ailleurs le ressuyage des sols agricoles mais non drainés artificiellement, sera aussi modélisé, afin de restituer **le phénomène de saturation des sols** par les nappes perchées.

1.3. AJUSTEMENT DU MODELE

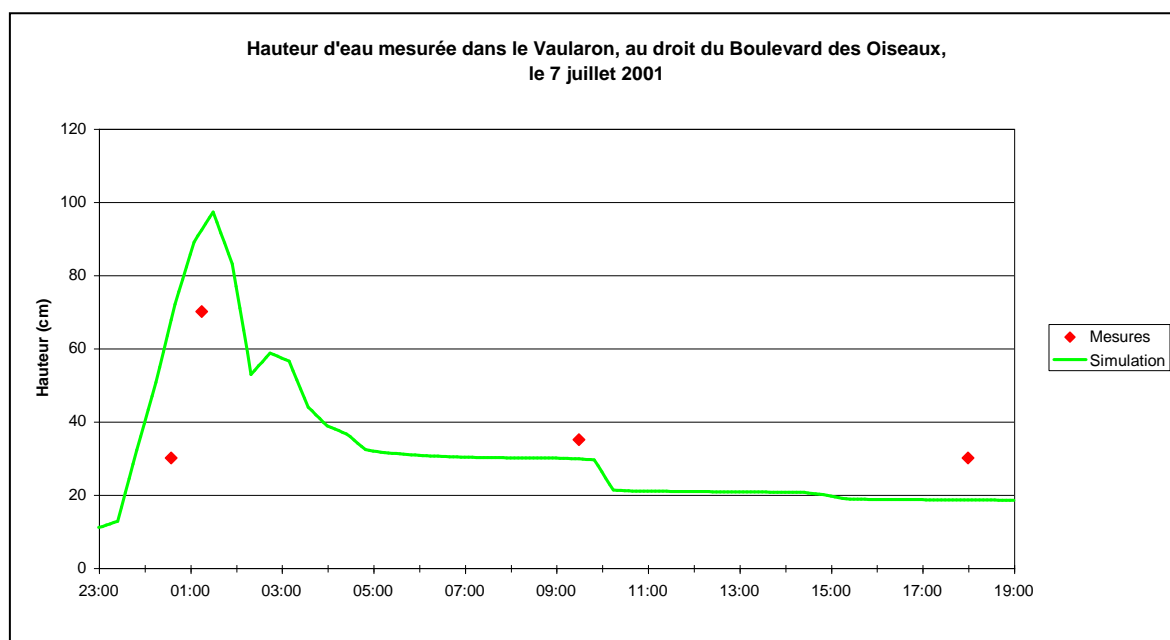
L'ajustement du modèle s'effectue suivant deux caractéristiques :

- ✓ les conditions de ruissellement, par le biais des coefficients **C** ;
- ✓ le ressuyage des terres agricoles, naturel ou artificiel.

A cet effet, nous reproduirons 2 événements pluvieux importants : 6-7 juillet 2000 et 6-7 juillet 2001. La reproductibilité de ces événements est appréciée par la comparaison des résultats de modélisation à différents éléments, dont :

- ✓ **les points de débordements** recensés pour les 2 événements ; les cartes n°19 et n°20 (cf. atlas cartographique) présentent les points de débordements fournis par le modèle. **La simulation restitue les points affectés lors de ces inondations** (les incertitudes sur la topographie à l'aval de la Grande Maison à Bures, devront être levés afin de restituer correctement les débordements, dans ce secteur).
- ✓ **L'hydrogramme de crue** du Vaularon au droit du Bd. des Oiseaux, pour l'averse du 6-7 juillet 2001, reconstitué à partir des données de M. FARRET, assure un contrôle des grandeurs suivantes :
 - temps de réponse, hauteur maximale : fortement dépendants des conditions de ruissellement ;
 - décrue : influencées essentiellement par le ressuyage des sols dans le cas présent.

Le graphique placé ci-dessous confronte les mesures au résultat de la simulation.



Le modèle restitue correctement :

- **le temps de réponse** du cours d'eau : la pointe de crue parvient au point de mesures, 2 heures après le début de l'averse ;
- **la hauteur maximale atteinte** est de 97 cm au lieu de 70 cm : cet écart est modéré, compte tenu de l'incertitude portant sur toute mesure de ce type ;

- **la décrue** : en l'absence de ressuyage naturel des sols dans le modèle, la décrue s'effectue plus rapidement ; une relève de la hauteur d'eau entre 1h00 et 7h00 aurait permis de mieux apprécier ce phénomène.

Finalement, il nous semble que le modèle constitué présente **le meilleur compromis** entre :

- un modèle restituant fidèlement la pointe de crue;
- un modèle assurant un rendu correct du ressuyage et de la saturation des sols.

✓ **Le comportement de certains ouvrages :**

- Le tableau ci-dessous précise les conditions d'écoulement observées à plusieurs ponts pour les 2 événements, et les confrontent aux résultats du modèle.

Ouvrages	Mise en charge ?		
	Observée	Simulation juillet 2000	Simulation juillet 2001
Pont av. de la promenade	NON	NON	NON
Pont Avenue Villeneuve	OUI	OUI	NON, mais section pleine
Pont Avenue du Vaularon	OUI	OUI	OUI
Ponceau en amont l'étang de la Vierge	OUI	NON	NON
Pont SNCF	NON	NON	NON

Le modèle restitue correctement le comportement de ces ouvrages pour les deux événements modélisés.

Par contre, le modèle ne fait pas apparaître une mise en charge du ponceau situé en amont de l'étang de la Vierge. Mais ce phénomène est tout de même signifié en entrée de l'ouvrage par le modèle, du fait de la singularité hydraulique que constituent les bifurcations du cours d'eau. Or on peut penser, qu'il s'agit bien de ce phénomène qui a été observé (section juste pleine en entrée) et non la mise en charge totale du tronçon que constitue le ponceau.

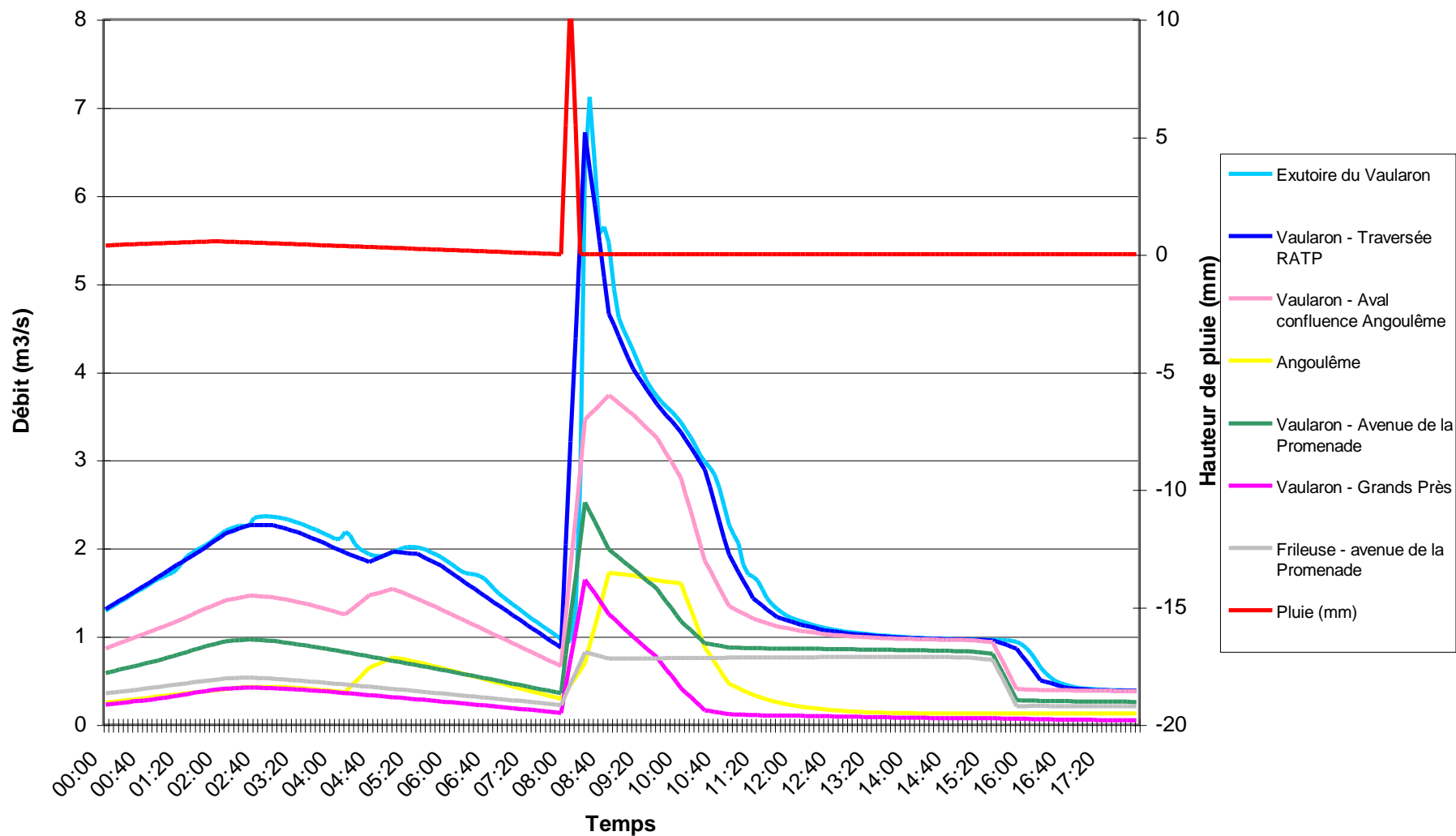
- Le fonctionnement des bassins de rétention est aussi analysé : il ressort que dans le modèle, le bassin de l'Aqualand n'est pas plein pour ces deux événements, mais l'est au delà « du tiers » observé par les riverains (appréciation visuelle). Par ailleurs, le bassin d'accumulation de la propriété Du Boys, voit non seulement son trop plein fonctionner, mais déborde aussi pour les 2 événements, tout comme l'a mentionné son propriétaire.

Cette confrontation à des éléments "concrets" assure **une reproductibilité satisfaisante au modèle**, malgré l'absence de mesures hauteur / vitesse permettant un calage de l'ensemble des paramètres.

Cet opération permet par ailleurs, d'apporter quelques informations sur les derniers événements dommageables. Nous retiendrons pour **les événements du 6-7 juillet 2000, de période de retour estimée à 20 ans** :

- ✓ **Le débit de pointe du Vaularon à son exutoire est estimé à environ 7.1 m³/s** pour cet événement ;
- ✓ A la confluence Vaularon / Angoulême, **le débit de pointe de l'Angoulême n'est que de 1.75 m³/s et celui du Vaularon est estimé à 3 m³/s** ; les antennes d'eaux pluviales de Bures-Montjay et Bures-Cottage contribuant respectivement à 1.3 m³/s et 1.6 m³/s en pointe;
- ✓ **Le Vaularon au Grand Près présente un débit de pointe de 1.65 m³/s**, le 7 juillet 2000, alors que celui de **la Frileuse** au niveau de l'avenue de la Promenade n'est que d'**environ 0.9 m³/s**.
- ✓ Les hydrogrammes de crues obtenus en plusieurs points, sont proposés à la page suivante ; on notera que **le ruisseau de l'Angoulême** présente un hydrogramme plus aplati, et **une pointe de crue "en retard" par rapport au Vaularon**.

Hydrogrammes de crue du Vaularon : événement du 7 juillet 2000



2. DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DE LA SITUATION ACTUELLE

2.1. CONDITIONS DE SIMULATION

2.1.1. Topologie du bassin versant

Après avoir simulé, les situations observées par le passé, nous allons dans cette partie expliquer le fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant en situation actuelle dans un premier temps.

De fait, nous intégrerons dans le modèle, l'urbanisation récente ou à court terme de certains secteurs (contournement de Gometz-la-Ville, les Hauts de Vignes) ainsi que les ouvrages associés (bassins de rétention des Délaches, des Hauts de Vignes).

Ce n'est que dans un deuxième temps que nous analyserons l'influence des bassins de rétention projetés aux Grands Près et sur la Frileuse.

2.1.2. Pluies de projet

Au regard des **averses à l'origine des événements dommageables** sur le bassin versant du Vaularon, et compte tenu du **temps de concentration du bassin versant**, il nous paraît pertinent d'analyser le comportement du réseau hydrographique au travers de pluies de projet construite en **double triangle d'une durée totale de 3 heures pour un pic d'intensité maximale durant 30 minutes**. Ces pluies sont construites à partir des hauteurs-durées-fréquences du secteur d'études : leur caractéristiques sont présentées ci-dessous.

Caractéristiques des pluies de projet de durée totale 3 heures dotées d'un pic de 30 minutes

Période de retour	Lame d'eau totale (mm)	Lame d'eau durant le pic (mm)
2 ans	20.7	12.4
5 ans	28.5	17.8
10 ans	35.5	22.4
20 ans	39.9	26.2
50 ans	46.6	30.9

Si ces averses sont celles qui sont régulièrement à l'origine de désordres sur le secteur d'étude, les **épisodes pluvieux saturant suivis d'un orage très court** peuvent aussi provoquer des inondations (phénomène observés durant ces deux dernières années).

L'analyse pluviométrique des événements dommageables et l'ajustement du modèle permettent d'observer que l'épisode pluvieux saturant qui précède un orage, doit présenter une lame d'eau de 50 mm s'abattant sur le secteur en moins de 24 heures. Par conséquent, nous analyserons le comportement du bassin versant lors de pluies constituées d'une averse de 12 h cumulant 50 mm, suivie d'un orage d'une durée de 30 minutes. Le tableau présenté ci-dessous fournit leur caractéristiques :

Caractéristiques des pluies de projet dites saturantes suivie d'un orage de 30 minutes

Période de retour de l'orage	Lame d'eau durant l'orage (mm)	Lame d'eau totale (mm)
10 ans	22.4	72.4
20 ans	26.2	76.2
50 ans	30.9	80.9

On notera que **ces trois pluies de projets présentent une période de retour supérieure à 50 ans**, sur la totalité de l'épisode pluvieux.

Les événements hivernaux qui conduisent aussi à la saturation des sols agricoles ne seront pas modélisés à ce niveau d'étude, puisqu'ils ne constituent pas le phénomène prépondérant se trouvant à l'origine des désordres occasionnés sur le bassin versant du Vaularon. Par contre en terme de gestion d'ouvrage à l'échelle du Vaularon, mais surtout à l'échelle du bassin versant de l'Yvette, une situation hivernale devra être restituée.

2.2. RESULTATS HYDROLOGIQUES

2.2.1. Analyse des surfaces contributives

La simulation des différentes pluies fait apparaître que **la surface active** du bassin versant du Vaularon **est estimée à 145 ha**. Ainsi pour la pluie de projet de période de retour de 2 ans, le volume ruisselé total est de l'ordre de 29 000 m³.

Les résultats permettent d'identifier les surfaces contributives à ce ruissellement. Le tableau placé ci-dessous fournit la répartition de la surface active à l'échelle du bassin versant.

Sous bassins versants	Contribution aux volumes ruisselés (%)	Remarques
Frileuse	33	Cette contribution se répartit entre le secteur de Chevry (60 %), le ravin (20 %) et la Hacquinière / les Bigarreux (20 %)
Bourbonnais et Vaularon amont	12	
Vaularon intermédiaire	4	
Angoulême	18	Les $\frac{3}{4}$ de cette contribution est atteinte au viaduc des Fauvettes
Vaularon aval	33	Cette part est collectée par les différentes antennes pluviales du secteur
Bassin versant du Vaularon	Surface active = 145 ha	

Dans ce tableau apparaît alors l'influence de l'occupation des sols et des pentes, **hors saturation des sols agricoles** :

- ✓ Le sous bassin versant du Vaularon aval, qui n'occupe que 22 % de l'espace, génère le tiers des volumes ruisselés, du fait de son imperméabilisation et des fortes de pentes des versants ;
- ✓ Le sous bassin du Vaularon intermédiaire possède une contribution en volume deux fois plus élevée que sa part exprimée en surface.

Ces deux sous bassin versant étaient définis à caractère urbain.

- ✓ Le sous bassin de la Frileuse présente une contribution conforme à sa surface, soit le tiers du volume total généré par ruissellement.

Par ailleurs, **les volumes écoulés** (hors débits permanents) sont la somme des volumes ruisselés et des volumes issus du ressuyage naturel ou artificiel (drainage) des sols.

Il ressort pour les différentes pluies de projet simulés, la répartition suivante :

Volumes totaux	Période de retour de la pluie de projet de durée 3 heures				
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Ruisselés	29 000	41 000	52 000	58 000	58 500
Ressuyés (en 48 h)	15 000	20 500	24 000	25 000	26 500
Écoulés (en 48 h)	44 000	61 500	76 000	83 000	95 000

Les volumes ressuyés représentent 30 % des volumes écoulés en 48 heures. La moitié de ceux-ci proviennent des réseaux de drainage dont l'exutoire se situe sur le bassin versant de la Frileuse (le réseau de drainage agricole se rejetant vers la Ravin contribue à 30 % du volume ressuyé). Si ces volumes sont loin d'être négligeable durant les 48 heures que suivent l'averse, **leur impact durant la crue est marginal.** En effet, les débits restitués à l'aval des réseaux de drainage agricole par le modèle de simulation sont compris entre 25 et 70 l/s. Par ailleurs, pour les pluies de projet utilisées (représentatives des conditions pluviométriques à l'origine de la majorité des événements dommageables observés sur le Vaularon), la réaction des drainages agricoles est bien plus lente que celle du bassin versant : le décalage temporel est de 3 heures.

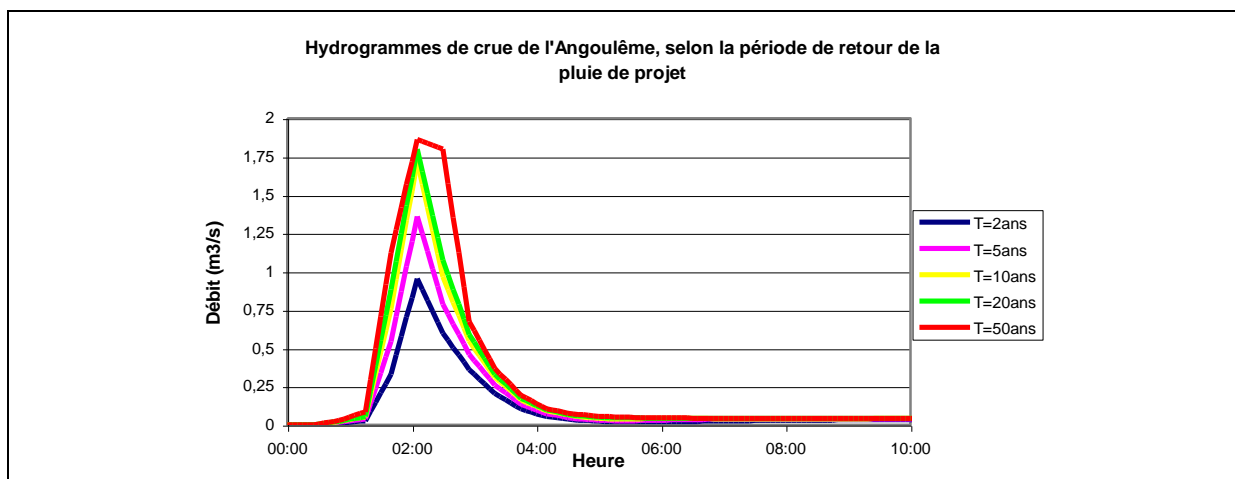
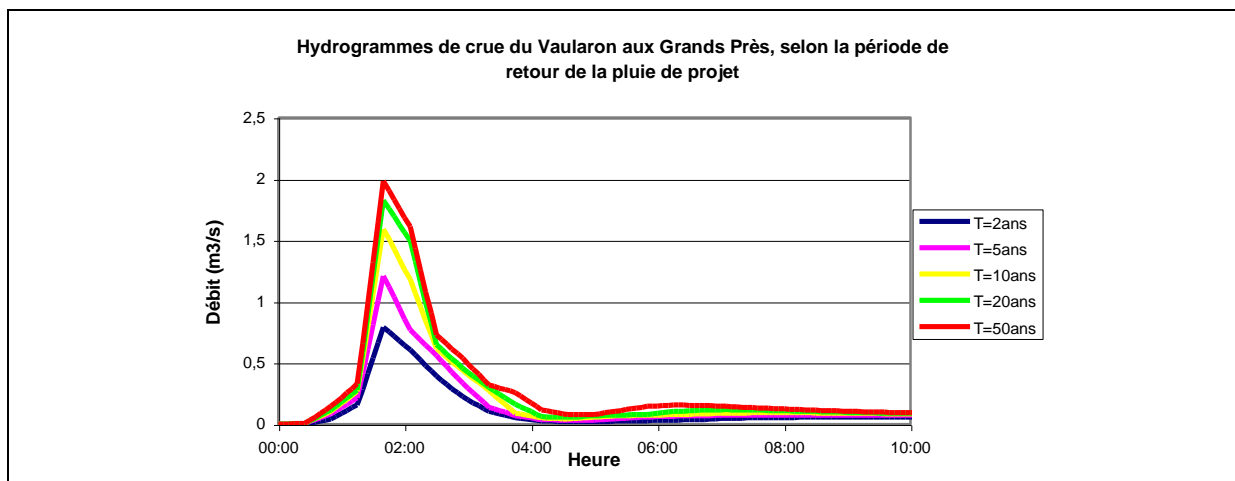
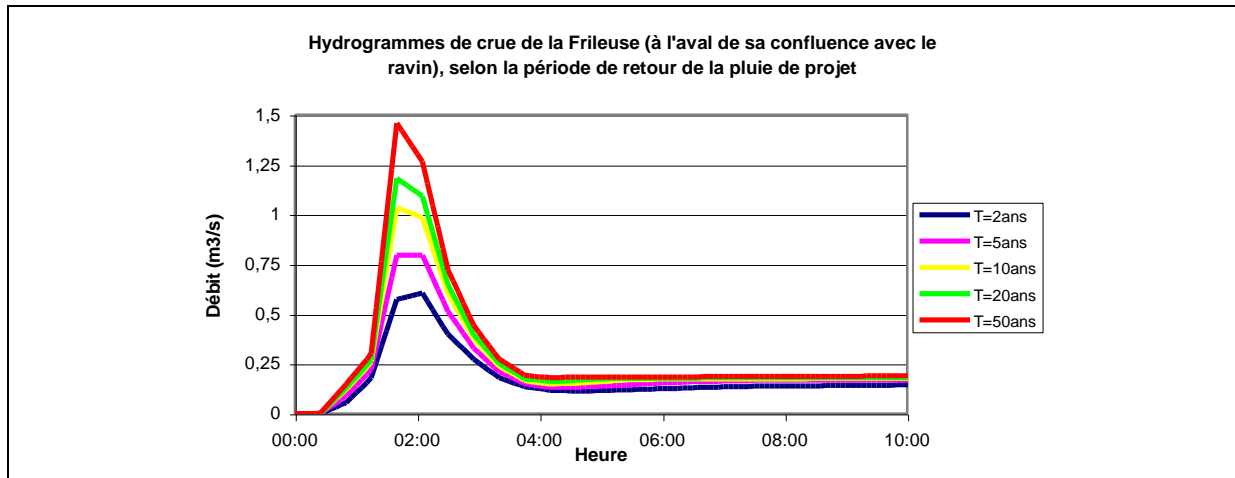
2.2.2. Débits générés

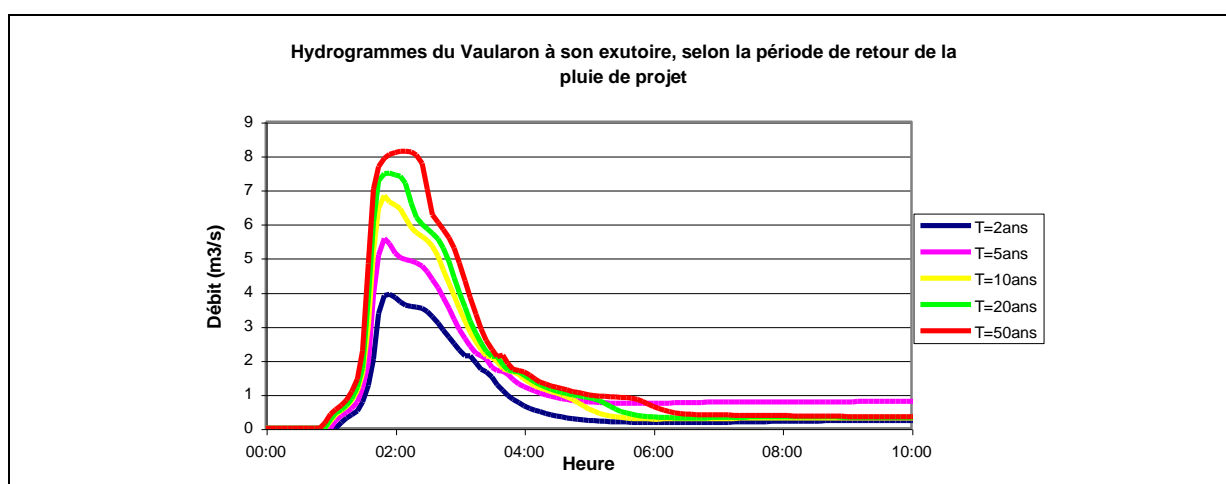
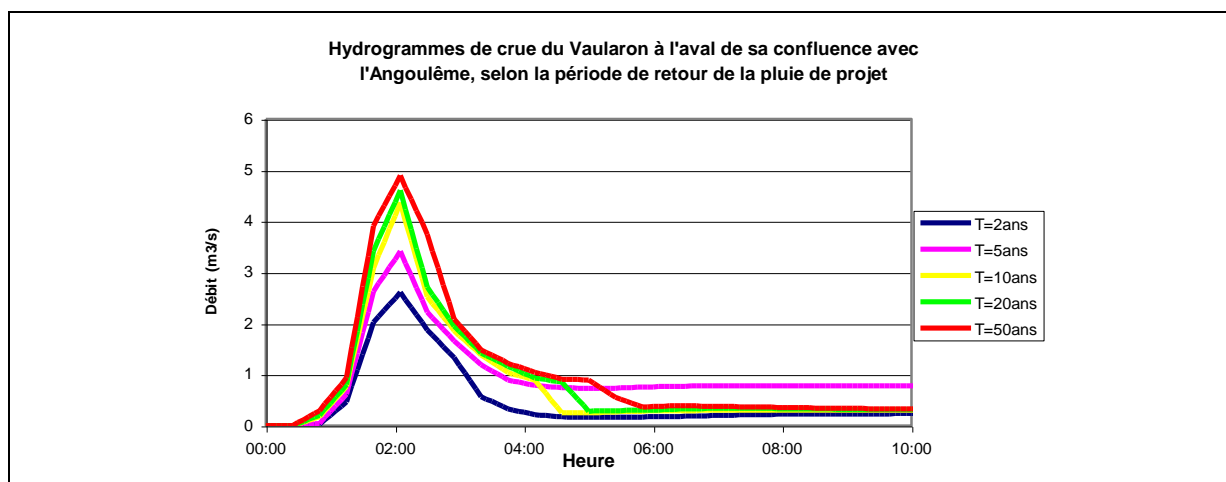
En termes de **débits de pointe**, le comportement des sous bassins versant est différent de celui observé sur les volumes ruisselés. Le tableau placé ci-dessous, présente les débits simulés en quelques points remarquables.

Débits de pointe simulés pour les pluies de projet de durée 3 heures (m³/s)

Sous bassin versant	Points	Période de retour de la pluie				
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Frileuse	Aval Chevry	0.100	0.110	0.120	0.125	0.135
	Apport Ravin	0.450	0.650	0.830	0.960	1.300
	Aval confluence Ravin	0.700	1.000	1.300	1.500	1.750
	Av. de la Promenade	0.800	0.820	0.840	0.860	0.900
Vaularon Amont	Grand Près	1.000	1.500	1.750	1.850	2.000
Vaularon Intermédiaire	Aval Av. de la Promenade	1.750	2.300	2.600	2.750	2.900
Angoulême	Amont confluence	0.950	1.450	1.750	1.850	1.900
Vaularon Aval	Confluence Angoulême	2.800	3.850	4.500	4.800	5.000
	Av. de la Vierge	3.150	4.200	4.850	5.400	6.100
	Traversée RATP	3.800	5.300	6.400	7.200	8.200
Exutoire du Vaularon		3.9	5.6	6.8	7.5	8.1

Nous avons placé ci-dessous, les hydrogrammes de crues du Vaularon et des ces affluents, pour les différentes pluies de projet d'une durée de 3 heures.





De ces débits simulés peuvent être extraits les débits spécifiques de pointes.

Débits spécifiques de pointe simulés

Point	Surface du bassin versant amont (ha)	Débit de pointe (m ³ /s) pour la pluie de projet de période de retour :		Débit spécifique de pointe (l/s/ha)	
		10 ans	20 ans	10 ans	20 ans
Aval Frileuse	281.4	0.850	0.860	3.0	3.1
Aval Vaularon Amont et Bourbonnais	119.2	1.750	1.850	14.7	15.5
Aval Angoulême	213.8	1.750	1.850	8.2	8.7
Exutoire du Vaularon	814	6.8	7.5	8.3	9.2

Ce tableau permet d'apprécier la forte influence des surfaces imperméabilisées sur la production des débits ruisselés, qui conduit à **un débit de pointe spécifique pour l'averse décennale supérieure à 8 l/s/ha pour l'ensemble du bassin versant.**

De plus, on soulignera **la faible production du bassin versant de la Frileuse** au regard de l'ensemble du bassin versant, du fait de :

- ✓ la présence de plusieurs bassins de rétention sur le secteur de Chevy ;
- ✓ l'écrêtement du débit de pointe induits par les débordements du ruisseau et des réseaux pluviaux.

Ce commentaire reste valable, même si l'on exclut l'écrêtement induit par les débordements aval, puisque en amont de l'Avenue de la Hacquinière le débit de pointe spécifique décennal est estimé à 4.8 l/s/ha.

A contrario, **les fortes productions des sous bassins versant du Bourbonnais et du Vaularon amont** d'une part, **et du Vaularon aval** d'autre part, doivent être soulevées. L'imperméabilisation de ces secteurs associées aux fortes pentes des versants, génèrent des débits élevés.

Le modèle permet aussi d'analyser le fonctionnement des différents bassins de rétention :

Volume maximal contenu dans les ouvrages de rétention

Commune	Site	Capacité (m ³)	Période de retour de la pluie de projet (durée 3h)		
			2 ans	10 ans	50 ans
Bures-sur-Yvette	Les Hauts de Bures	1 400	200	360	480
Gif-sur-Yvette	Aqualand	18 000	3 000	5 800	8 500
	Champ de la Mare	4 480	700	1 200	1 600
	Mare Jodoïn	2 330	450	810	1 100
	Neuveries	3 700	670	1 200	1 600
Gometz-le-Châtel	Le Petit Palaiseau	650	200	300	450
	Propriété de M. Du Boys	900	plein	plein	plein
	Mare du vieux village	-	120	120	120
	Les Delâches	4 100	400	750	1 000
	Les Hauts de Vignes	650	350	620	plein

Les résultats des simulations font apparaître que pour les pluies projets non saturantes d'une durée de 3 heures, seules les capacités du bassin d'accumulation situé dans la propriété de M. Du Boys, et la mare du Village à Gometz-le-Châtel sont insuffisantes. Pour les autres ouvrages, **leur capacité est adaptée au volume à retenir**, voire très supérieure aux volumes produits lors d'événements orageux très exceptionnels.

Des modifications de gestion de ces bassins pourront donc être envisagées, en fonction des conditions pluviométriques antérieures : par exemple, la faisabilité d'une réduction des débits de fuite, en période non saturante, sera étudiée afin d'augmenter l'efficacité de ces ouvrages.

2.2.3. Résultats hydrologiques pour des sols agricoles saturés

L'influence d'une saturation des sols agricoles sur le bassin versant du Vaularon, induite par la présence de sols hydromorphes et du phénomène de nappes perchées, sera abordée par l'étude de la réaction de ce bassin versant, à la pluie de projet décennale dite « saturante » (épisode de 12 h de lame d'eau 50 mm suivi d'un orage décennal de 30 minutes). Les résultats de la simulation seront confrontés à ceux résultant d'une situation non saturée.

Cette influence peut se mesurer en terme de débits de pointe :

Sous bassin versant		Orage décennal de 30 minutes sur sols :	
		Non saturés	Saturés
Frileuse	Aval Chevy	0.110	0.160
	Apport Ravin	0.750	2.000
	Aval confluence Ravin	1.150	2.200
	Av. de la Promenade	0.850	0.860
Vaularon Amont	Grand Près	1.750	2.000
Vaularon Intermédiaire	Aval Av. de la Promenade	2.500	2.700
Angoulême	Amont confluence	1.550	1.700
Vaularon Aval	Confluence Angoulême	4.200	4.550
	Av. de la Vierge	4.200	4.900
	Traversée RATP	5.100	6.800
Exutoire du Vaularon		5.30	7.20

De façon générale, **la réaction sur sols agricoles saturés est plus intense** qu'en l'absence d'antécédents pluvieux. Mais on soulignera plusieurs particularités :

- ✓ Le débit généré par la Frileuse en amont des habitations de la rue de la Hacquinière provient du **Ravin, qui voit son débit de pointe plus que doubler** entre les situations saturées et non saturées ;
- ✓ Si la contribution des sols agricoles saturés se fait peu ressentir à l'aval du secteur de Chevy, elle ne le doit qu'à la présence du bassin de rétention de l'Aqualand. En effet, celui-ci est beaucoup plus sollicité en situation saturée : le volume stocké atteint 15 600 m³ dans ce cas, contre 3 700 m³ en situation non saturée ;
- ✓ Les débordements de la Frileuse au niveau de la rue de la Hacquinière, conduisent à un écrêtement des débits, qui atténuent l'influence des sols saturés sur les débits de pointe du Vaularon ;
- ✓ Les écarts de débits entre les deux situations sont plus prononcés à l'aval du Vaularon : en situation non saturée, la réaction du bassin versant du Vaularon aval s'effectue avant celle des affluents amont ; **en situation saturée**, si la réaction des affluents est peu marquée en terme de débits de pointe, **elle est par contre accélérée et devient donc concomitante à la réponse des zones urbaines aval**. D'où la forte progression du débit de pointe à l'exutoire.

2.2.4. Simulation dans la situation « future proche »

Ce paragraphe vise à **analyser l'impact des rétentions projetées (Grands Près et Frileuse) sur les crues de la Frileuse et du Vaularon.**

Malgré des incohérences entre le texte et les plans de projet des dossiers d'autorisation au titre de la loi sur l'eau des deux aménagements, les caractéristiques de ces ouvrages ont été introduites dans le modèle.

Leur efficacité a été mesurée pour les pluies de projet de période de retour 10 et 20 ans, de durée 3 heures.

Il ressort que :

- ✓ **Le bassin de rétention de la Frileuse assure comme prévu une réduction du débit de pointe en amont de la rue de la Hacquinière :**
 - pour l'averse décennale, le débit de pointe est limité à 0.8 m³/s contre 1.0 m³/s avant aménagement ;
 - pour la pluie de période de retour 20 ans, le débit maximal est réduit à 0.85 m³/s contre 1.2 m³/s initialement.
- ✓ Le bassin de rétention des Grands Près exerce un écrêtement des débits du Vaularon, en amont de l'avenue de la Promenade, son débit de fuite étant limité 1.2 m³/s ;
- ✓ **La combinaison des deux aménagements assurent une réduction du débit de pointe à l'aval de l'avenue de la Promenade :**
 - pour la pluie décennale, le débit de pointe passe de 2.4 m³/s à 1.9 m³/s ;
 - pour l'averse de période de retour 20 ans, le débit maximal est réduit à 2 m³/s contre 2.7 m³/s avant aménagement.
- ✓ L'influence des bassins de rétention se fait encore sentir à l'aval immédiat de la confluence Vaularon / Angoulême, par contre **aucun écrêtement n'est perceptible sur l'hydrogramme de crue du Vaularon à son exutoire.** Ceci réside dans le fait que sa pointe de crue provient majoritairement de la réaction du sous bassin Vaularon Aval.

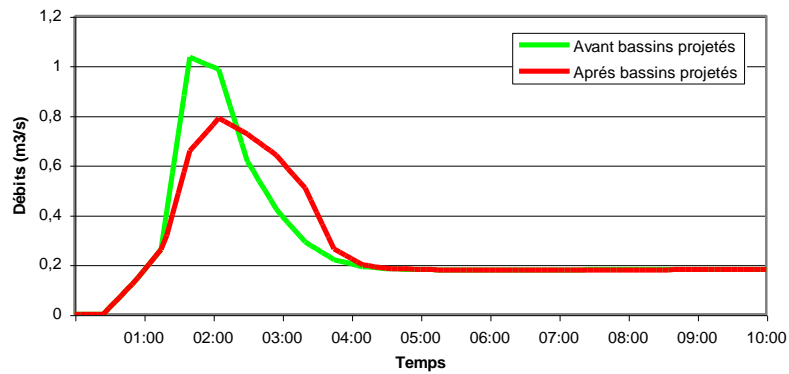
De plus, **il apparaît que pour ces pluies de projet, la capacité des bassins de rétention projetés est sous-utilisée :**

	Bassin de rétention :	Frileuse	Grands Près
	Débit de fuite de l'aménagement	700 l/s	1 200 l/s
	Capacité de dimensionnement	5 000 m ³	5 000 m ³
Volume maximal contenu selon la période de retour de la pluie de projet	10 ans	910 m ³	660 m ³
	20 ans	1 200 m ³	1 000 m ³

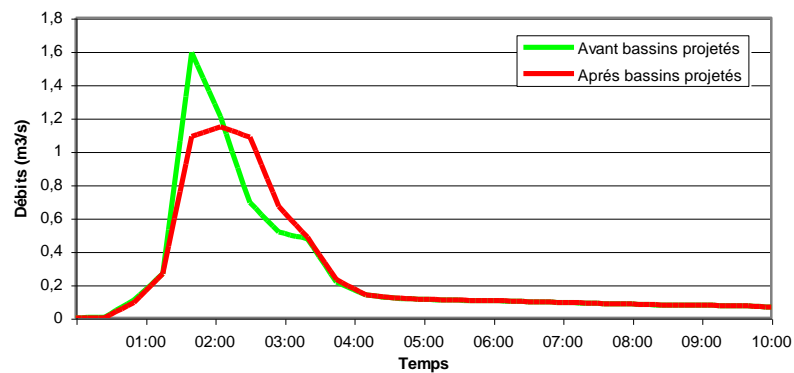
Les hydrogrammes présentés à la page suivante fournissent l'impact en termes de débits, des bassins de rétention projetés pour la pluie de projet décennal.

Le mode de gestion de ces bassins de rétention devra être examiné, compte tenu du faible écrêtement apporté par ces ouvrages au Vaularon amont, de l'absence d'influence sur les débits en aval et de la sous utilisation de leur capacité.

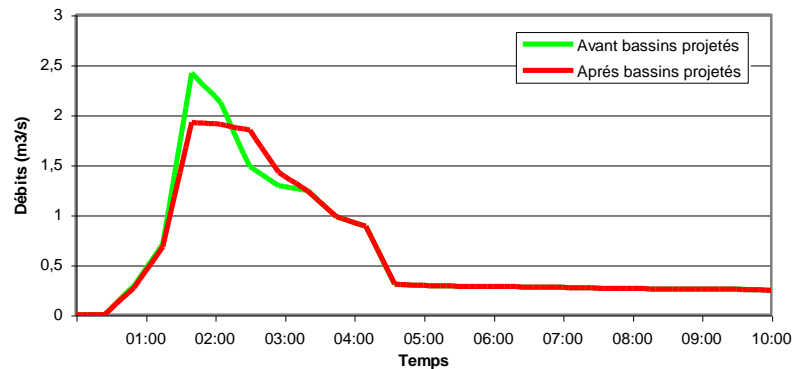
Hydrogramme de crue de la Frileuse pour la pluie de projet décennale (non-saturante et de durée 3 heures)

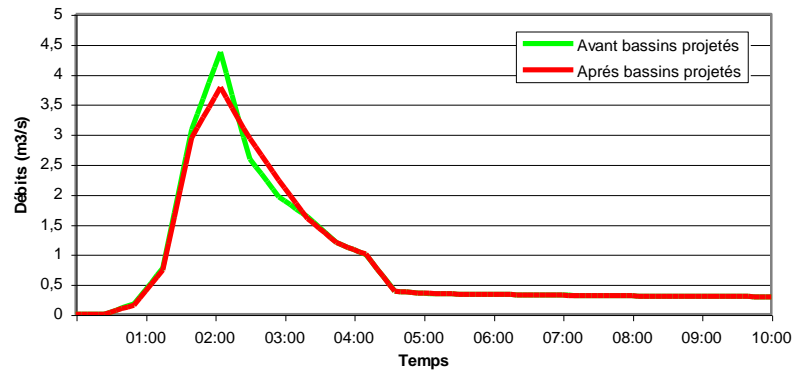
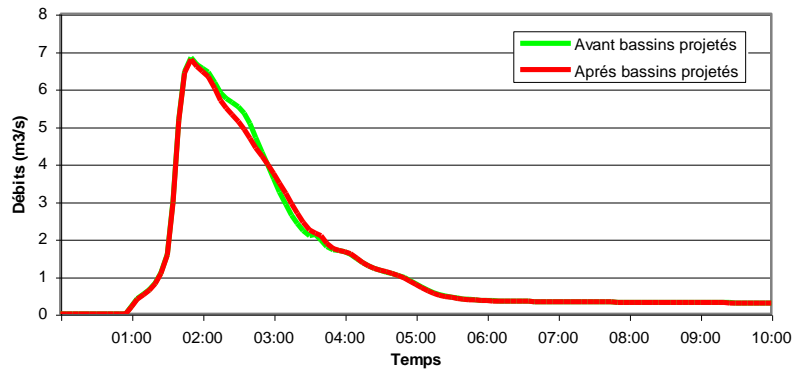


Hydrogramme de crue du Vaularon aux Grands Prés pour la pluie de projet décennale (non-saturante et de durée 3 heures)



Hydrogramme de crue du Vaularon à l'aval de l'Av. de la Promenade, pour la pluie de projet décennale (non-saturante et de durée 3 heures)



Hydrogramme de crue du Vaularon à l'aval de la confluence avec
l'Angoulême, pour la pluie de projet décennale
(non-saturante et de durée 3 heures)Hydrogramme de crue du Vaularon à son exutoire, pour la pluie de projet
décennale (non-saturante et de durée 3 heures)

2.3. RESULTATS HYDRAULIQUES DANS LA SITUATION ACTUELLE

2.3.1. Comportement du réseau hydrographique pour les averses non saturantes

Les résultats hydrauliques suivants sont issus des simulations de pluies de projets non-saturantes et d'une durée de 3 heures. Ceux-ci sont illustrés par **les cartes (n°21 et 22) des points de débordements**, présentées dans l'atlas cartographique : la simulation de plusieurs périodes de retour permet de quantifier la sensibilité des différents points aux débordements. Ainsi les secteurs apparaissant en **noir**, sont ceux dont les débordements surviennent dès les intensités pluvieuses semi-exceptionnelles (T=2 ans) ; à contrario, les points **jaunes** sont ceux pour lesquels les désordres sont occasionnés que très exceptionnellement en termes statistiques (T=50 ans).

La capacité maximale des ouvrages problématiques peut être avancée (fournie par le logiciel HYDROWORKS). Il s'agit d'une information intéressante, mais elle ne rend pas compte complètement du fonctionnement hydraulique : une capacité maximale atteinte n'implique pas forcément un débordement, ou l'ouvrage sans être en charge peut induire une contrainte aval provoquant des débordements à l'amont. Le tableau fournit une idée de **la saturation des ouvrages**, mais ne donne pas l'explication des désordres.

Cours d'eau	Lieu	Type	Capacité (m ³ /s)	T critique *
Frileuse	Amont Triangle	Ø 500	0.55	2 ans
	Rue de Gometz	Ø 600	0.50	2 ans
	Avenue de la Promenade	Ø 600	0.65	2 ans
Réseau EP	Rue St Nicolas	Ø 400	0.24	2 ans
	Route de Chartres en face Intermarché	Ø 500	0.31	2 ans
Vaularon	Avenue de Villeneuve	Section rectangulaire	3.1	> 50 ans
	Avenue du Centre	Section rectangulaire	3.1	> 50 ans
	Avenue du Vaularon	Section rectangulaire	5.0	> 50 ans
Réseau EP	Rue de Grivery	Ø 400	0.55	5 ans
Vaularon	Av. Ed Herriot	Section rectangulaire	6.5	20 ans
	Rue du Royaume	Voûte	4.8	5 ans
	Rue des Bleuets	Section rectangulaire	4.1	5 ans
Réseau EP	Carrefour des Fauvettes	Ø 600	1.15	20 ans

* période de retour de la pluie de projet générant un débit de pointe supérieur à la capacité de l'ouvrage.

Ce tableau permet d'observer que **les ouvrages du Vaularon ne devraient pas se mettre en charge avant des pluies très exceptionnelles** (ponts de Paris-Chevreuse) : les observations de terrain comme la simulation montrent le contraire. La capacité intrinsèque de ces ouvrages n'est pas à mettre en cause prioritairement, mais les sections propres des cours d'eau et les singularités hydrauliques (de tracé ou d'obstacles tels que les murs, ...) sont à l'origine de leurs mises en charge respectives, comme nous allons le constater par la suite.

L'analyse complète des conditions d'écoulements doit se faire par **l'étude des lignes d'eau**. Nous présentons ici, sous-bassin par sous bassins versant, les points de débordements prédictibles par la simulation, ainsi que leurs origines.

Sous bassin versant de la Frileuse :

Les débordements vont affecter ce sous bassin versant **dès la pluie de projet de période de retour de 2 ans** :

- En effet, pour cette averse, des débordements de **la canalisation d'eaux pluviales Ø 600**; sont observés avenue de la Promenade [**Fr12v**] et rue de Gometz [**Fr13**]. La combinaison d'une contre pente à l'aval et de l'insuffisance capacitaire du collecteur provoque ces désordres. La capacité de la canalisation, hors influence de la contre pente, est estimée à 500 l/s, alors que le débit généré à l'amont pour cette averse est de 770 l/s.
- A l'amont, au niveau du Triangle, la pente est suffisante pour que la mise en charge du collecteur EP n'influence pas les écoulements amont ; par contre, **le collecteur de diamètre Ø 500 situé à l'amont immédiat du triangle** possède une capacité d'évacuation de 525 l/s, inférieur au débit incident. Par conséquent, des débordements sont observés à l'amont de cette canalisation [**Fr36v**].

Pour les pluies de période de retour supérieures (5, 10, 20 et 50 ans), **la contrainte aval exercée par la mise en charge du collecteur Ø 500 provoque des débordements du lit mineur de la Frileuse en amont** de cet ouvrage [**Fr36 ; Fr35v ; Fr35 ; Fr34v ; Fr34 ; Fr33v ; Fr33**]. Soulignons que les premières habitations situées à l'aval de la confluence Ravin / Frileuse ne sont pas affectées par ce type de pluie.

Pour la pluie de projet de période de retour 20 ans, deux points de débordements apparaissent sur le secteur de Chevry : le collecteur pluvial Ø 900 présente une capacité insuffisante (1.3 m³/s) pour évacuer sans désordre le débit généré (1.75 m³/s).

Sous bassin versant du Bourbonnais :

Pour l'averse de période de retour 2 ans, seul un point de débordements [**Bo2**] est identifié : **l'antenne pluviale de la rue St Nicolas à Gometz-le-Chatel, de diamètre Ø 300** (capacité de 200 l/s) **est insuffisante** : compte tenu de la forte pente de la chaussée, les débordements sont peu perceptibles (lame d'eau inférieures à 3 cm) et peuvent être repris par le collecteur Ø 400 situé plus bas.

Par contre, pour l'averse quinquennale, les débordements ne peuvent plus être repris. **Le tronçon de diamètre Ø 400 de la rue St Nicolas [Bo2v]** déborde aussi (capacité de 240 l/s pour un débit incident de 350 l/s).

A l'amont, **la mare du Village déborde [Village]** pour la pluie de projet de période de retour 5 ans et au delà.

Lors d'une averse décennale, **les débordements du réseau pluvial s'étendent à la route de Chartres [Bo7 et Bo12] : le collecteur de diamètre Ø 500 situé à l'aval** (avant rejet dans le Bourbonnais) présente une capacité de 300 l/s pour un débit incident de 700 l/s. Sa mise en charge induit des débordements sur la route de Chartres : depuis l'Intermarché jusqu'au carrefour avec la route Neuve. Pour des pluies plus importantes, les débordements se limitent à ces deux points, mais peuvent aussi être imputés à l'insuffisance capacitaire du collecteur Ø 500 situé à l'aval du carrefour de la route de Chartres / route Neuve, d'une capacité estimée à 600 l/s.

Sur ce même bassin versant, soulignons **le débordement de la canalisation EP Ø 300 située en amont de la propriété de M. Du Boys [Bo11 et Bo13]** pour l'averse quinquennale. Compte tenu de la forte pente du talweg, ses débordements conduisent à un écoulement en surface, sans provoquer de dommage. Pour des pluies plus importantes, ce phénomène augmente, et **le bassin d'accumulation situé dans la propriété de M. Du Boys déborde** pour la pluie cinquantennale seulement (son trop plein fonctionne bien avant).

Sous bassin versant du Vaularon amont :

Les seuls points problématiques de ce sous bassin **concernent le secteur de la route neuve et de la rue de la Butte Espagnole.**

Le collecteur pluvial de la rue de la Butte Espagnole, voit son diamètre passer de Ø 600 à Ø 300 après avoir traversée la route Neuve : le collecteur aval est alors de capacité insuffisante pour transiter les débits incidents. Les débordements doivent alors s'effectuer en surface **[Vam3]**. Ce point est affecté dès la pluie de période de retour 2 ans, mais les débordements s'étendent à la rue de la Butte Espagnole **[Vam1v]** pour la pluie quinquennale, du fait de la mise en charge à l'aval.

Dans le même secteur, **l'antenne pluviale Ø 500 provenant du Chemin de Gometz-Cottage / les Bigarreux** est réduite à un tronçon de diamètre Ø 250 à la traversée de la route Neuve, qui se trouve bien insuffisante. Les écoulements s'effectuent alors sur la chaussée **[Vam5]** dès la pluie de période de retour de 2 ans.

Comme le point précédent, les écoulements rejoignent ensuite les Grands Près par un fossé.

Sous bassin versant du Vaularon intermédiaire :

Pour les périodes de retour inférieures à 10 ans, **le modèle ne fait pas apparaître de points de débordements à l'aval de l'avenue de la Promenade.** Dans la traversée du quartier Paris-Chevreuse, nous noterons seulement la mise en charge des ponts de la rue de Villeneuve, de l'avenue du Centre, et de l'avenue du Vaularon, pour l'averse quinquennale.

Pour la pluie de projet décennale, des débordements sont observés **au niveau du pont de l'avenue de Villeneuve [Vai4]**, du fait de sa mise en charge provoquée par l'insuffisance capacitaire du tronçon aval ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) devant le débit incident ($2.5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Entre cet ouvrage et l'avenue du Centre [Vai9], un point de débordement est recensé : la faible pente du tronçon, ainsi que ces nombreuses bifurcations limitent la capacité d'évacuation (à $2 \text{ m}^3/\text{s}$).

De plus, **deux débordements sont localisés de part et d'autre du pont de l'avenue du Centre [Vai12 et Vai13]** : la combinaison des mises en charge du pont, mais surtout du collecteur Ø 1000 situé à l'aval, provoque ces désordres.

Pour les averses d'occurrence plus exceptionnelles, les débordements se généralisent sur le secteur :

- Pour T=20 ans, **la mise en charge du pont de l'av. de la Villeneuve**, associée à une réduction de section conduit au débordement du Vaularon à l'aval de l'avenue de la Promenade ;
- **Les débordements s'étendent à l'amont de l'avenue du Centre** pour les raisons indiquées ci-dessus ;
- **La section du pont situé Avenue du Vaularon implique des débordements à l'amont**, pour la pluie cinquantennale, tout comme sur le Boulevard des Oiseaux en amont de la confluence Vaularon / Angoulême. Ces derniers désordres sont dues à la contrainte aval imposée par la ligne d'eau générée à l'aval de la confluence.

Sous bassin versant de l'Angoulême :

Ce sous bassin versant ne connaît pas de désordres majeurs pour les pluies de projet dont la période de retour est inférieure à 10 ans. Seul, le ruisseau déborde de son lit mineur à l'aval du barattage, sans conséquence dommageable.

Pour l'averse décennale, **des débordements sont observés rue de Grivery [An8]** à Gometz-le-Châtel, au bas de la rue des Bleuets : la mise en charge du collecteur pluviale Ø 400 de la rue de Grivery (capacité estimée à 80 l/s pour 120 l/s admis) provoque ce désordre. Pour les averses d'occurrence plus rare, **les débordements s'étendent à la rue de Bleuets**.

Sous bassin versant du Vaularon Aval :

Dans un premier temps, examinons le comportement des antennes d'eaux pluviales se rejetant dans le Vaularon.

Pour la pluie de projet de période de retour 10 ans, **l'antenne EP de la rue Voltaire** à Bures-sur-Yvette déborde **[Vav18]** : les écoulements s'effectuent alors sur la chaussée.

L'antenne EP de Bures-Montjay subit des désordres pour l'averse cinquantennale : la combinaison d'une contrainte aval exercée par le Vaularon et d'une insuffisance capacitaire du collecteur Ø 600 (1.1 m³/s pour 1.3 m³/s) fait apparaître des débordements de cette antenne au carrefour des Fauvettes sur la route de Chartres, ainsi que dans le lotissement de l'Aulnaie.

Le Vaularon connaît de légers débordements de son lit mineur pour les averses de période de retour de 2 et 5 ans, sans doute sans conséquence pour la voirie et les habitations riveraines :

- A l'amont de la nouvelle passerelle, située bd. des Oiseaux / rue du Soleil Levant : la section du lit mineur plus étroite provoque son débordement **[Vav27]** ;
- De la rue du Petit Pont au lotissement de l'Aulnaie, la faible pente du cours d'eau (3 ‰) et les virages successifs induisent les débordements du Vaularon **[Vav31v, Vav32, Vav32v, Vav33, Vav34, Vav21, Vav35]** ;
- De même, la faible pente des tronçons situés à l'amont de la rue de la Vierge conduit au débordement du lit mineur en amont **[Vav35]** ;
- Le pont de l'avenue Ed. Herriot ainsi que la section aval dotée d'une forte singularité hydraulique, conduit à la mise en charge de l'ouvrage et au débordement du lit mineur en amont **[Vav51]** ;

- L'ouvrage voûté de la rue du Royaume à Bures-sur-Yvette impose une forte contrainte aval, provoquant quelques débordements en amont [Vav515v, Vav56, Vav57].

Pour l'averse décennale, les débordements augmentent en volume et s'étendent à de nouveaux points. Nous retiendrons :

- Qu'ils affectent plus sérieusement le Boulevard des Oiseaux et le bas de la rue du Soleil Levant [Vav19] ;
- Les fortes singularités hydrauliques et l'insuffisance capacitaire de la voûte, située en entrée de l'étang de la Vierge font apparaître un point de débordement en amont [Vav36] ; à cela, la faible efficacité du bras de décharge doit être rajouté : sa faible pente lui permet d'évacuer seulement 0.4 m³/s pour l'averse décennale ;
- Les points de débordements du lit mineur se multiplient entre la rue Victor Hugo et le bd Ed. Herriot à Bures-sur-Yvette [Vav48], pour les raisons déjà avancées ;

Pour la pluie de projet de période de retour 20 ans, les désordres se généralisent depuis la confluence Vaularon / Angoulême jusqu'à la rue de la Vierge, pouvant être dommageables pour le boulevard des Oiseaux.

Pour cette pluie de projet, **les débordements apparaissent aux Jardins de Bures** : la contrainte aval exercée par la voûte de la rue du Royaume (qui explique les débordements du lit mineur à l'aval des Jardins de Bures), associée aux bifurcations du Vaularon et à sa très faible pente, induit ces désordres.

Ces débordements se renforcent pour l'averse cinquantennale.

A l'aval, **la mise en charge du pont de la rue des Bleuets à Bures** par insuffisance capacitaire, ainsi que **la contrainte exercée par le tronçon aval** (faible pente), **provoque des débordements au niveau de la passerelle de la résidence de l'Oseraie**, dès une pluie de projet de **période de retour de 10 ans**.

Pour l'averse plus importantes, les volumes débordés s'amplifient, mais ce phénomène assure un écrêtement du débit de pointe du Vaularon.

Les points sensibles situés à l'aval (pont de la rue des Bleuets, n°15 de la rue du Docteur Collé) ne connaissent pas de débordements pour l'averse décennale comme cinquantennale.

Par ailleurs, soulignons que les simulations effectuées **en présence d'une contrainte aval exercée par une crue de l'Yvette** montrent que celle-ci **est sans influence sur les écoulements du Vaularon**. En effet la forte pente du dernier tronçon du Vaularon permet de s'affranchir de la contrainte aval, que nous avons fixée à une hauteur équivalente à un remplissage à moitié de la section du Vaularon (observée lors des précédentes crues). Il faudrait que le niveau de l'Yvette soit bien supérieur à cette hauteur pour que celle-ci possède une influence sur les écoulements du Vaularon.

Par contre, **le fonctionnement du bras de décharge du Moulin peut s'avérer plus contraignant**. En effet, son débit se rajoutant à celui du Vaularon, peut alors impliquer un dépassement du débit critique et donc des débordements. **Le débit du Vaularon pouvant être transité le long de la rue du Docteur Collé est estimé au maximum à 5.5 m³/s** (soit le débit de pointe généré par une pluie de projet de période de retour 5 ans). Donc si par exemple, le débit du bras de décharge est de 0.5 m³/s, il suffira que le Vaularon dépasse 5 m³/s pour voir apparaître des débordements.

2.3.2. Bilan des désordres

Les cartes n°21 et 22 présentent les points de débordements obtenus par la simulation de plusieurs pluies de projet non-saturantes de période de retour comprise entre 2 et 50 ans, et la table n°2 propose une synthèse des hauteurs d'eau dans les cours d'eau de la Frileuse et du Vaularon (l'ensemble des résultats sera proposé dans un document annexe).

A partir de ces résultats, sur la base de notre connaissance du terrain et à l'aide des fonds IGN, nous avons tenté de retranscrire la connaissance des points de débordements en **délimitation de zones submergées**. Ce travail fait l'objet des cartes n°23 et 24. Soulignons que cette information reste relativement grossière, compte tenu des incertitudes topographiques résidant dans l'usage des cartes IGN.

Pour les **pluies de projet non saturantes d'une durée de 3 heures**, nous retiendrons les **principaux résultats suivants**, et notamment **les secteurs pouvant être affectés par des débordements dommageables** pour les voiries ou les habitations.

Caractéristiques de l'averse			Débit de pointe du Vaularon (m³/s)	Débordements dommageables probables	Caractéristiques des débordements	
Période de retour	Hauteur de la lame d'eau				Volume (m³)	Durée
	Totale (3h)	Pic (30 min)				
2 ans	20.7 mm	12.4 mm	3.9	Rue de Gometz et av. de la Promenade par la Frileuse canalisée (Ø 600)	500	1 h 15
5 ans	28.5 mm	17.8 mm	5.6	La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.	1 700	2 h
				Canalisation EP rue St Nicolas à Gometz-le-Châtel.	200	1 h
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.	600	8 h
10 ans	35.5 mm	22.4 mm	6.8	La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.	2 800	3 h
				Canalisation EP rue St Nicolas à Gometz-le-Châtel.	400	1 h
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.	1 100	8 h
				Débordements du Vaularon dans le quartier de Paris-Chevreuse.	2 800	1 h 30
				Débordements du Vaularon Boulevard des Oiseaux.	800	1 h
				Débordements du Vaularon à la résidence de l'Oseraie.	520	0 h30
20 ans	39.9 mm	26.2 mm	7.5	La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.	3 600	3 h 30
				Canalisation EP rue St Nicolas et route de Chartres à Gometz-le-Châtel.	900	1 h
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.	1 500	9 h
				Débordements du Vaularon dans le quartier de Paris-Chevreuse.	3 800	2 h
				Rue des Bleuets au lotissement St Clair est submergée.	100	2 h
				Débordements du Vaularon Boulevard des Oiseaux.	1 800	1 h
				Débordements du Vaularon aux Jardins de Bures.	200	1 h
				Débordements du Vaularon à la résidence de l'Oseraie.	1 770	1 h
50 ans	46.6 mm	30.9 mm	8.1	La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.	4 800	4 h
				Canalisation EP rue St Nicolas et route de Chartres à Gometz-le-Châtel.	1 500	1 h
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.	2 100	9 h
				Débordements du Vaularon dans le quartier de Paris-Chevreuse.	6 300	2 h 30
				Rue des Bleuets au lotissement St Clair submergée.	200	2 h
				Débordements du Vaularon Boulevard des Oiseaux.	3 200	1 h30
				Débordements du Vaularon aux Jardins de Bures.	5 200	1 h
				Débordements du Vaularon à la résidence de l'Oseraie.	4 300	1 h15

2.3.3. Influence des sols saturés sur les désordres hydrauliques

La simulation d'un orage décennal (durée 30 minutes) **s'abattant sur un sol agricole saturé** fait apparaître :

- ✓ **Une aggravation des débordements** observés sans cette saturation (cas de la Frileuse en amont du Triangle, rue de Gometz, et du Vaularon au boulevard des Oiseaux) ;
- ✓ **De nouveaux désordres** dans des secteurs non affectés par la même pluie en situation non saturée, dont :
 - Les débordements de la Frileuse à l'aval de la confluence Ravin/Frileuse, compte tenu des débits de pointe fortement augmentés en présence de sols saturés ;
 - Les débordements du Vaularon dans Paris-Chevreuse ;
 - La submersion de la rue des Bleuets à Gometz-le-Châtel ;
 - Les débordements aux Jardins de Bures.

Ces différences de comportement sont illustrées par la carte n°25 disponible dans l'atlas cartographique.

2.3.4. Réduction des débordements par les rétentions projetées

Nous avons abordé au paragraphe 2.2.3., l'impact en terme de débits des deux bassins de rétention projetés. Ce paragraphe vise à traduire leur impact en termes de limitation des débordements.

Il ressort que :

- ✓ **Le bassin de rétention de la Frileuse, assure une réduction importante des débordements à l'aval immédiat**, tant en étendue qu'en volume. Pour l'averse décennale comme pour celle de période de retour 20 ans, les points de désordres résiduels sont situés sur le collecteur EP Ø 600 de la rue de Gometz et avenue de la Promenade, ainsi qu'en amont du collecteur Ø 500 ; plus en amont les débordements (qui étaient causés par la mise en charge de cet ouvrage) sont effacés pour ces deux pluies.
- ✓ **Dans le quartier de Paris-Chevreuse, pour les deux pluies de projet testées, seul le point de débordement situé entre le pont de l'avenue du Centre et le collecteur Ø 1000 persiste.**
- ✓ Plus en aval, **les débordements qui pouvaient apparaître au droit du boulevard des Oiseaux / rue du Soleil Levant sont effacés pour la pluie de projet décennale**, mais sont seulement limités pour l'averse de période de retour 20 ans.
- ✓ **Les points critiques** tels que l'étang de la Vierge, les Jardins de Bures et la rue du Docteur Collé, **connaissent des débordements** pour la pluie de période de retour 20 ans, **en situation aménagée ou non.**

Par conséquent, **la mise en place des deux bassins de rétention assure une réduction conséquente des débordements de la Frileuse et du Vaularon dans Paris-Chevreuse pour les averses de période de retour de 10 et 20 ans, malgré la persistance de quelques points noirs :**

- ✓ collecteur Ø 500 sur Frileuse en amont du Triangle ;
- ✓ collecteur Ø 600 sur Frileuse de la rue de Gometz et de l'Avenue de la Promenade ;
- ✓ collecteur Ø 1000 à l'aval du pont de l'avenue du Centre sur le Vaularon.

De plus, **ces aménagements** retardent l'apparition des débordements au niveau du Boulevard des Oiseaux / rue du Soleil Levant.

Mais les rétentions projetées, dans le cadre de la gestion envisagée, sont sans influence pour la lutte contre les inondations :

- ✓ **à l'aval : au niveau de l'Etang de la Vierge, aux Jardins de Bures, avenue du Docteur Collé, qui constituent des points critiques du secteur d'études ;**
- ✓ **tout comme à l'amont des sites envisagés.**

3. DIAGNOSTIC QUALITE

3.1. RISQUE D'EROSION SUR LE BASSIN VERSANT

Cette partie aborde les phénomènes d'érosion, qui concernent le bassin versant du ru du Vaularon à plusieurs titre. En effet :

- ✓ l'érosion en nappe dans les parcelles cultivées, peut provoquer des pertes de récoltes ou une gêne d'exploitation ;
- ✓ mais surtout, **le flux de Matières En Suspension (MES) généré par l'érosion, contribue :**
 - **à la dégradation du milieu naturel** par atteinte à la qualité de l'eau d'une part, et par envasement des cours d'eau d'autres part ;
 - **à la dégradation des conditions d'écoulements**, par envasement des cours d'eau et des ouvrages.

3.1.1. Présentation du phénomène

Les phénomènes d'érosion hydrique sur sols cultivés résultent de la situation aggravante et de l'action conjuguée des facteurs actifs suivants :

- l'intensité de la pluie,
- le relief, la pente,
- l'état des sols en surface,
- la nature des terrains,

Ce sont ces facteurs qui déterminent les conditions de ruissellement et d'écoulement, sur lesquelles on peut plus ou moins agir pour réduire leurs effets dommageables et juger de l'efficacité des dispositifs à amortir l'érosion, qui s'appréhendent à trois niveaux :

- ✓ **la production** : elle s'effectue en nappe sur de grandes surfaces, ou lorsque les eaux de ruissellement convergent en rigoles, en ravines et coulées de boues, entraînant **des pertes de sol** très importantes, mais assez bien localisées ;
- ✓ **l'exportation** : elle est réalisée à l'échelle d'un versant, avec une production exportée d'eau chargée de matières en suspension (MES) par les sillons, rigoles, fossés, ... ,
- ✓ **le transport** : les cours d'eau assurent le transport du flux de MES exporté ; mais ce phénomène peut conduire, selon les conditions d'écoulements, à des envasements plus ou moins stables, ou à des atterrissements, réducteurs des capacités hydrauliques.

Par la suite, nous nous attacherons à comprendre les mécanismes de production et d'exportation de Matières En Suspension, et les phénomènes d'érosion associés.

3.1.1..1 Production et exportation de MES

Le bassin versant constitue le cadre naturel d'étude de l'érosion par l'eau.

Nous distinguerons dans le bassin les parties suivantes :

- ✓ l'impluvium : ensemble de la surface où, lorsque la capacité d'infiltration du sol est inférieure à l'intensité de la pluie, il apparaît un excès d'eau, disponible pour la détention superficielle, d'abord, pour le ruissellement, ensuite.
- ✓ le réseau de collecte, qui rassemble les refus à l'infiltration de l'ensemble du territoire et les conduit vers les points bas du terrain. Ce réseau est orienté par les pentes naturelles du terrain, le parcellaire et par la disposition des travaux culturels. Les empreintes de roues des engins agricoles peuvent orienter ce réseau de collecte.
- ✓ Les axes de concentration font suite au réseau de collecte. Ils sont le plus souvent déterminés par les formes naturelles du terrain et correspondent aux talwegs. La limite entre ces deux derniers éléments est imprécise. L'image d'un arbre leur convient particulièrement : les axes de concentration correspondent au tronc et aux maîtresses branches, le réseau de collecte se retrouve dans les branches plus petites, les rameaux et brindilles qui occupent tout l'espace.

L'érosion se manifeste principalement de deux façons :

- ✓ **des incisions**, à la surface du sol ; elles signifient que le sol a été arraché à l'endroit de l'observation et emmené ailleurs ;
- ✓ **des indices de transport ou de sédimentation** : couleur de l'eau des écoulements chargés, dépôts sur les routes et les chemins, dépôts, dans les parties basses du terrain recouvrant les surfaces.

3.1.1..1.1 **Sur le plateau, l'érosion « incipiente »**

Elle est très largement répartie sur l'ensemble du territoire dès que le sol est à nu. Elle est présente même sur les zones à très faible pente :

- ✓ que la pente faible soit celle du terrain ;
- ✓ ou, que ce soit celle des empreintes laissées par les roues ou les outils circulant selon des tracés proches des courbes de niveau, même en secteur plus accidenté

C'est principalement dans le réseau de collecte que cette érosion se manifeste par de nombreux petits dépôts associés à des traces de circulation d'eau qui ne passent que très rarement et très localement à des formes d'érosion bien nettes : petites griffes à l'occasion d'une « mini-rupture de pente », ...

Les dépôts apparaissent à l'occasion du moindre obstacle à l'écoulement. Le matériel transporté n'a sans doute pas beaucoup voyagé ; sa mise en suspension dans l'eau doit sans doute beaucoup au « splash », donc à l'énergie d'impact des gouttes d'eau.

Ces phénomènes peuvent être observés sur toute la surface du sol exposé ; ils sont plus importants sur les sols les plus battants.

3.1.1..1.2 Sur le plateau, l'érosion linéaire en griffes

C'est la forme d'ablation du sol caractéristique, liée aux écoulements concentrés. Elle est habituelle dans les talwegs de plateau, si peu marqués soient-ils.

La forme et les dimensions de la section de la griffe dépendent d'un grand nombre de paramètres.

De diverses observations, il convient de retenir que :

- ✓ **les parties non perturbées du sol résistent comparativement beaucoup mieux que celles qui ont été remuées,**
- ✓ **le matériel mis en mouvement dans ce type d'érosion provient, dans une proportion écrasante, de la partie labourée du sol.**

Un cas particulier est lié à la présence de surfaces imperméables, routes et chemins particulièrement. Si les écoulements qui collectent l'eau de ces surfaces ne sont pas contrôlés, s'ils passent dans des parcelles cultivées, ils y créent alors d'emblée des griffes dont les dimensions restent régulières pour un sol, une pente et une culture donnée. Ce type d'érosion est déterminé par les caractéristiques de la zone imperméable, sans que sa position dans le paysage intervienne beaucoup.



3.1.1..1.3 L'érosion dans la vallée

Dans la vallée, il convient de distinguer deux types d'érosion, celle qui correspond à des écoulements qui arrivent du plateau et celle qui est due aux écoulements nés dans la vallée.

3.1.1..1.4 Erosions liées aux écoulements issus du plateau

Les écoulements concentrés qui arrivent du plateau conservent un important potentiel érosif tant que les pentes restent fortes ; ils sont susceptibles de provoquer de fortes érosions s'ils ne sont pas contrôlés et si on leur permet de divaguer sur des parcelles cultivées : ils y provoquent des griffes identiques à celles qui viennent d'être décrites sur le plateau.

Au fur et à mesure qu'ils approchent du fond de vallée, la vitesse des écoulements diminue et ils ont tendance à déposer la charge solide qu'ils portent : les principaux dégâts causés au fond de la vallée sont liés à des atterrissements, principalement de sables et limons, plus rarement de graviers.

Dans le fond de vallée, le cycle érosif peut être déclenché lorsque les eaux quittent leur lit habituel pour divaguer de manière incontrôlée. Les dépôts qui viennent d'être évoqués peuvent déclencher ces divagations.

3.1.2. Les facteurs influents

3.1.2..1 L'intensité de la pluie

La pluviosité est le facteur déterminant de la production de turbidité de l'eau tombée, qui, selon son intensité, amplifie :

- ✓ la détachabilité des particules ;
- ✓ l'effet de battance sur sols argilo-limoneux en éclatant les mottes, et formant une pellicule peu perméable ;
- ✓ et la mise en suspension des fines colloïdales, exportées vers la rivière.

Précisons que l'intensité de la pluie dans le temps se caractérise ici par la grosseur des gouttes de pluie, l'antériorité pluviométrique et l'épaisseur de la lame d'eau en surface (ou de la végétation) qui amortit la force battante des gouttes.

Pour diminuer l'impact des gouttes de pluie, sur les sols nus sensibles à l'effet de battance, on doit procéder par exemple au paillage ; recouvrir le sol de résidus végétaux (paille, canne de maïs, engrais vert, ...).

3.1.2..2 Le relief, la pente

La vitesse d'écoulement et d'érosion, est directement liée à une pente uniforme, mais possède un seuil critique, à partir duquel les matériaux du fond de la voie d'eau commencent à se déplacer. Le calcul est alors basé sur la notion de force tractrice τ (en ∂a N/m²) qui pour une hauteur d'eau h (en m) avec une pente l (adim.) est égal à :

$$\tau = K_M \cdot \omega \cdot h \cdot l$$

Si l'on prend par exemple, un coefficient de force au fond $K_M \approx 1$, un poids spécifique (1.000 ∂a N/m³), une hauteur d'eau de 0.05 m et une pente de 0.03 (m/m), la force tractrice s'élève à :

$$\tau = 1 \times 1.000 \times 0.05 \times 0.03 = 1.5 \partial a \text{ N/m}^2$$

Cette force tractrice doit être alors comparée à la force tractrice critique τ_c présentée au tableau ci-après, afin de déterminer si les phénomènes érosifs sont déclenchés.

	Dimension approximative des particules (en mm)	Force tractrice critique τ_c (en da N/m^2)	Vitesse critique approximative (en m/s)	Coefficient de rugosité (Manning)	de Ks
Matériaux non cohérents					
Vase et sable très fin	0.05	0.10	0.20	50	
Sable moyen	0.50	0.20	0.50	45	
Sable gros	1.00	0.25	0.60	40	
Gravier grossier	10,0	1.00	1.20	35	
Alluvions et cailloux	5 – 50	2.50	1.50	30	
Cailloux	50 – 150	5.00	1.80	25	
Matériaux cohérents et compacts					
Marne	-	0.40	0.70	50	
Argile limoneuse	-	1.00	1.00	40	
Argile colloïdale	-	1.20	1.10	40	
Schiste et alluvions	-	3.00	1.80	40	
Matériaux d'aménagements					
Gazon quelconque	-	3	1.80	10	
Herbacés bien enracinés	-	6 à 12	> 2	10	
Fascines, boutures,	-	30	> 2	10	
Enrochement	≥ 200	20	> 2	20	

Ces valeurs critiques permettent aussi d'établir des valeurs de pente critique selon le matériau de constitution du lit de l'écoulement, qui est définie par :

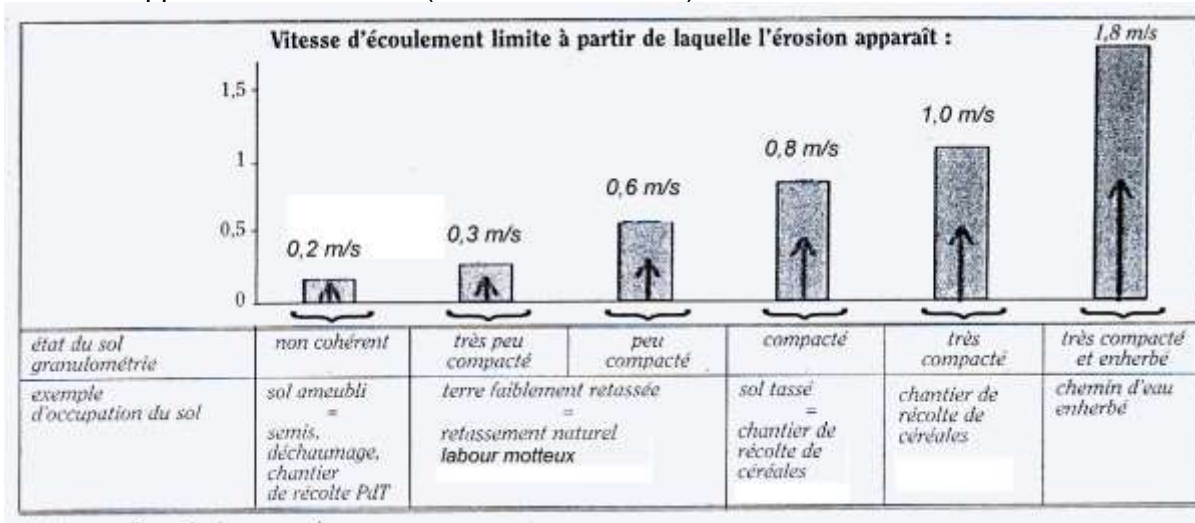
$$I_m = \frac{\tau_c}{K_M \cdot \omega \cdot h}$$

Dans l'exemple précédent, et pour un sol argilo-limoneux la pente critique à ne pas dépasser serait :

$$I_m = \frac{1}{1 \times 1000 \times 0.05} = 0.02 \text{ m/m}$$

Parmi les moyens pour limiter l'érosion, il est alors possible d'augmenter le parcours pour diminuer la pente.

Mais il est aussi envisageable de jouer sur la constitution du lit d'écoulement, afin de retarder l'apparition de l'érosion (schéma ci-dessous).



3.1.2..3 L'état des sols en surface

L'état des sols en surface est variable dans le temps. Hormis les forêts et les prairies permanentes, les espaces cultivés ont des périodes sensibles à l'érosion au cours du cycle cultural : labour, hersage, semis, ..., et l'après récolte. La plupart du temps, les champs sont à nu. Pour une même culture, la perte de terre par érosion peut facilement varier du simple au double.

Le tableau ci-dessus démontre l'importance de **la détachabilité des sols** selon l'interaction du mode cultural et des cultures. C'est-à-dire que :

- ✓ **les sols fraîchement remués** peuvent être constitués de matériaux fins non cohérents facilement entraînés par les eaux de ruissellement, mais en revanche, augmentent la perméabilité ;
- ✓ **les sols compacts** sont moins facilement détachables, sous condition que la battance n'affecte pas, avec l'effet de choc de la pluie, le détachement des particules fines ;
- ✓ **les sols couverts d'herbacés** peuvent à la fois supporter la battance et des vitesses d'écoulements importantes, sans érosion, et favorisent l'infiltration.

La stabilité structurale et le couvert végétal sont donc les premiers paramètres qui jouent le rôle principal anti-érosion.

3.1.2..4 La nature des terrains

Les caractéristiques pédologiques des terrains influent sur les capacités d'infiltration et par conséquent sur le ruissellement résultant. La perméabilité se définit fondamentalement par la vitesse apparente d'infiltration du débit Q (en m^3/s) sur une surface unitaire de sol ($1 m^2$) selon sa nature :

$$V_i = Q/\Omega$$

qui selon les expériences de Darcy, cette relation s'écrit :

$$V = K.J$$

dans laquelle :

K est le paramètre de filtration ou vitesse par unité de gradient hydraulique exprimé en m/s,

J est la perte de charge unitaire (en surface = 1)

Cinq natures de sols sont en pratique retenues, en fonction de leur perméabilité :

K en $m^3/m^2/s$	Nature	Exemple de sols
$K > 10^{-3}$	très perméables	calcaires karstifiés
$10^{-3} > K > 10^{-5}$	perméables	sables et graviers
$10^{-5} > K > 10^{-6}$	perméables à peu perméables	sables et graviers moyennement argileux
$10^{-6} > K > 10^{-7}$	peu perméables à imperméables	argilo-limoneux
$K < 10^{-7}$	imperméables	limons, argiles, marnes compactes

3.1.3. Cartographie du risque d'érosion

Les paragraphes précédents ont montré que globalement, il existait 2 processus d'érosion majeurs : **l'érosion en nappe et l'érosion linéaire.**

Or, **l'érosion en nappe est prédominante sur le bassin versant du Vaularon**, puisque nous ne sommes pas en présence de lignes d'écoulements à même les parcelles cultivées importantes (longues) : le réseau hydrographique (cours d'eau permanent, canalisation d'eaux pluviales, fossés) assure une maîtrise des écoulements très en amont, près de la génération du ruissellement.

Compte tenu des paramètres influents sur l'érosion en nappe, les caractéristiques pédologiques étant homogènes sur le secteur, la pente des versants est alors le facteur déterminant.

Par conséquent, nous avons cartographié le risque d'érosion en nappe sur le bassin versant du Vaularon (carte n°26) en faisant apparaître les terres arables légendées suivant leur pente.

3.1.4. Quantification des flux polluants en secteur rural

3.1.4.1 Les données de bases en MES

La quantification par secteur des apports en MES reste une opération incertaine, du fait de la variabilité dans le temps et dans l'espace des phénomènes.

Les observations et les mesures in situ sont soumises aux aléas météorologiques, sur un échantillon diversifié, et les résultats sont très variables. Elles montrent des variations très grandes de perte de sol et de transport de MES en rivière, d'un jour sur l'autre, d'un mois sur l'autre et d'une année sur l'autre. Aussi, les calculs menés même par un modèle (sans mesures de calage) ne peuvent donner que des résultats très approximatifs.

Le tableau placé ci-après présente **les valeurs de MES exportées** sur les terres arables, appréciées selon les classes de pentes. Celles-ci sont le résultat d'études bibliographiques (Chambres d'Agricultures, CEMAGREF, AREAS,...) et de la propre expérience de SETEGUE issues d'études de gestion du risque d'érosion hydrique.

Les différents paramètres fournis sont alors :

- ✓ **les concentrations ;**
- ✓ **les charges annuelles exportées** par les ruissellements et les écoulements de temps pluie efficace (350 mm), ramenée à la part active propre des surfaces agricoles et, qui exclut les pertes de sols par atterrissement immédiat en extrémité du ravinement. La part active pour les terres arables est égale à 20 %.

Finalement, la charge annuelle est estimée par la formule suivante :

$$\text{Charge} = \text{Concentration} \times \text{Pluie efficace} \times \text{Part active}$$

Concentration en MES en mg/l		
Minimale	Moyenne	Maximale
300	1 000	3 000

Pentes	Inférieures à 2 %	Comprises entre 2 à 5 %	Supérieures à 5 %
Concentration en MES en mg/l	500	1 000	2 000
Charges exportées en MES en kg/ha/an	350	700	1 400

3.1.5. La charge de MES exportée à l'échelle des bassins versants

L'analyse croisée pente / occupation du sol pour le bassin versant du Vaularon, nous a permis d'identifier et de quantifier les surfaces agricoles selon leur classe de pente. En appliquant les charges annuelles en MES exportées par ruissellement aux différentes catégories, selon le tableau proposé ci-dessus, nous pouvons établir le bilan des MES exportés à partir des terres arables. Le tableau placé ci-dessous présente les principaux résultats.

Secteurs	Flux exporté de Matières En Suspension sur les surfaces agricoles : masse annuelle produite	
	t/an	%
Bassin versant de la Frileuse	52.2	38
Bassin versant du Bourbonnais	10.3	7
Bassin versant de l'Angoulême	63.7	47
Sous bassin du Vaularon Amont	10.5	8
Sous bassin du Vaularon Intermédiaire	0	0
Sous bassin du Vaularon Aval	0	0
Total	137	100

Ces valeurs appellent plusieurs commentaires :

- ✓ **Le flux exporté en MES d'origine rurale est estimé à près de 140 tonnes par an ;**
- ✓ **Le bassin versant de l'Angoulême contribuent à près de la moitié de cet apport ;**
- ✓ **Le second apport majeur est le bassin versant de la Frileuse qui contribue au flux annuel à la hauteur de 40 %.**

Par ailleurs, les calculs permettent d'identifier que la moitié de la charge annuelle exportée en MES provient des surfaces agricoles dont la pente est inférieure à 2 %.

La présence de versants à forte pente induit des comportements différents à l'échelle des sous bassin versant, qui sont illustrés par les charges annuelles spécifiques exportées en MES, calculées ci-dessous.

Secteurs	Kg MES/ha/an ¹
Bassin versant de la Frileuse	490
Bassin versant du Bourbonnais	365
Bassin versant de l'Angoulême	530
Sous bassin du Vaularon Amont	810

Les bassins versants de la Frileuse et de l'Angoulême s'avèrent tout autant productifs.

¹ Charges annuelles spécifiques exportées en MES par unité de surface agricole.

3.2. REJETS POLLUANTS DE TEMPS DE PLUIE

3.2.1. Origine et formes de la pollution des eaux pluviales en milieu urbain

Toute zone urbanisée accumule pendant les périodes de temps sec un certain nombre d'éléments polluants que l'on retrouve ensuite par temps de pluie concentrés au niveau des points de rejet de l'assainissement pluvial, par suite du lessivage de toutes les surfaces imperméabilisées : voiries, parkings, accès, trottoirs, toitures.

Communément, on distingue 3 types de pollution :

- **la pollution saisonnière.**

Elle est générée par :

- **les sels de déverglaçage** utilisés en hiver

La pollution, par infiltration dans la nappe d'eaux chargées en ions Na^+ et Cl^- est à elle seule une source importante de contamination : à proximité de certaines autoroutes (A6, A36), des concentrations salines supérieures à 600 mg/l ont été constatées sur des zones de captage.

(Les normes françaises pour les eaux potabilisables sont : Na^+ : 150 mg/l et Cl^- : 250 mg/l maxi)

De plus les effets de contamination des eaux souterraines sont très durables : ce type de pollution peut entraîner la fermeture d'un captage.

Toutefois dans le cas d'une agglomération en zone climatique relativement tempérée, les apports dus aux sels de déverglaçage sont toutefois moins importants (proportionnellement) que dans le cas d'une plate-forme routière à grand trafic (autoroute, voie express, rocade) dans la mesure où les salages y sont moins fréquents et moins massifs.

- **les produits herbicides** d'entretien des espaces verts publics et bas-côtés.

L'épandage d'herbicides peut entraîner la présence dans les eaux de substances aux effets nocifs pour la santé : dans le cas d'une agglomération, ce type de pollution est relativement négligeable par rapport aux apports d'origine agricole.

- **la pollution chronique.**

Il s'agit de la pollution majeure produite par une agglomération et rejetée par temps de pluie : elle est principalement particulaire, c'est-à-dire composée de particules en suspension polluantes (matière organique et minérale) auxquelles peuvent être liés des micro-polluants moléculaires tels que les métaux lourds ou les hydrocarbures.

Les particules polluantes résultent directement de l'activité humaine et sont les émanations de plusieurs sources : les véhicules à moteur en circulation ; la combustion de diverses matières organiques, pour le chauffage ou les besoins de l'industrie (combustibles plus ou moins polluants tels que fuel, charbon, gaz, bois) ou pour leur élimination (déchets) ; les poussières émises et matériaux rejetés par des activités industrielles ou artisanales (chantiers de BTP notamment)...

Les particules résultant de la circulation des véhicules sont également composées de caoutchouc (usure des pneus), d'hydrocarbures et d'huiles, d'éléments phéniques et de métaux lourds plomb, zinc).

Les particules résultant d'une combustion dans des chaudières ou incinérateurs peuvent également être chargées de substances nocives (additifs des hydrocarbures).

Une partie des polluants reste fixée aux véhicules (elle finira au mieux dans une STEP via une station de lavage correctement raccordée, et le plus souvent dans un réseau pluvial), une partie est entraînée dans l'atmosphère, et le reste se dépose sur les surfaces généralement proches de l'émission, donc les chaussées et les toitures.

On retrouve ensuite ces polluants dans les eaux de ruissellement sous forme de matières en suspension (MES), qui de métaux lourds et d'hydrocarbures, majoritairement liés aux MES.

Les MES sont intrinsèquement un paramètre polluant, mais la part la pollution la plus grave qu'elles représentent est la charge organique ainsi véhiculée, principalement sous forme de DCO, difficilement dégradable.

On notera une autre forme de pollution chronique liée principalement aux comportements humains : la pollution par des petits déchets solides, tels que les emballages, non jetés dans des poubelles, et qui peuvent constituer non seulement un polluant visuel des cours d'eau, mais également une source de mortalité faunique par ingestion.

- **la pollution accidentelle.**

Il s'agit d'un déversement de produit polluant consécutif à un accident routier, industriel ou domestique.

S'il s'agit de matières pulvérulentes ou de granulats (engrais, ciment ...), le risque est moindre (sauf si le déversement a lieu par temps de pluie) que pour des produits liquides (carburants, produits chimiques) moins contrôlables et souvent plus dangereux.

Par pollution accidentelle, on entend tout rejet de matière polluante **concentrée**, n'ayant aucun caractère cyclique, régulier ou simplement de répétition : il peut s'agir d'un rejet réellement accidentel (involontaire) comme d'un déversement résultant d'une méconnaissance, voire d'un mépris des règles de sécurité et de civisme.

3.2.2. Flux polluants annuels

3.2.2..1 Méthodologie des calculs et hypothèses pour les flux d'origine urbaine

Les calculs proposés sont des estimations de la production de pollution de type chronique, comprises entre une fourchette haute et une fourchette basse.

Les références utilisées sont les suivantes :

- ✓ Thèse de G. Chebbo de 1992 (page 294 notamment) ;
- ✓ Etudes antérieures menées par Setegue sur d'autres sites de taille comparable, ayant fait l'objet d'approches plus détaillées (mesures de flux polluants par temps de pluie, et dans certains cas simulation informatique).

Schématiquement, on peut envisager 3 méthodes d'évaluation des flux polluants :

- ✓ produit Masse x Surface
- ✓ produit Concentration x Volumes
- ✓ produit Masse x Habitant

Par expérience nous avons choisi de mettre en œuvre la première méthode, dont les bases bibliographiques ont semblé les plus reproductibles d'un site à l'autre, à l'issue des études que nous avons menées et où nous avons pu pratiquer diverses approches (bibliographie, mesures, simulation).

Les hypothèses, extraites des données bibliographiques, que nous avons faites concernant les masses produites par hectare et par an, pour chaque polluant étudié, sont les suivantes :

Masse annuelle produite, en kg / ha imperméabilisé				
Paramètres	MES	DCO	DBO ₅	HC
Minimum	500	230	40	4
Moyenne	1030	610	100	17
Maximum	2280	1080	210	35

Ces 5 paramètres sont les plus couramment étudiés, avec souvent le Zinc en plus, polluant présent en quantités importantes tant au niveau des bâtiments industriels et commerciaux (toitures), des routes (glissières) et des pneus (additifs).

Compte tenu des progrès en matières d'équipements automobiles et de chauffage d'habitations, on peut considérer que **la valeur moyenne donnée ici est une valeur haute pour un secteur résidentiel tel que le bassin versant du Vaularon**. On se basera donc sur **la valeur moyenne de ce tableau pour effectuer les calculs de flux polluants d'origine urbaine**, dans cette étude.

3.2.2.2 Résultats

Nous avons procédé à une première estimation des flux polluants annuels, **sur les 81 bassins d'apports et points de cumul**, coïncidant avec les principaux points de génération des débits, pour chaque paramètre précité.

Soulignons que ce calcul quantifie la production de masse polluante sur les surfaces urbaines, et qu'il constitue donc un flux maximal rejeté au milieu naturel. Concrètement, la présence éventuelle d'ouvrage de traitement sur le bassin versant n'est pas pris en compte.

Il en ressort la synthèse suivante :

Secteurs	Flux de polluants d'origine urbaine : masse annuelle produite			
	MES (t/an)	DCO (t/an)	DBO ₅ (t/an)	Hydrocarbures (kg/an)
Bassin versant de la Frileuse	135.8	80.4	13.2	2 241
Bassin versant du Bourbonnais	33.4	19.8	3.2	552
Bassin versant de l'Angoulême	30.8	18.3	3.0	509
Sous bassin du Vaularon Amont	7.4	4.4	0.7	123
Sous bassin du Vaularon Intermédiaire	13.8	8.1	1.3	227
Sous bassin du Vaularon Aval	129.2	76.5	12.5	2 133
Total	350	208	34	5 800

Le principal résultat à souligner est la contribution équivalente des sous bassins de la Frileuse et du Vaularon aval , qui à eux deux, contribuent à 75 % des flux polluants annuels produits en milieu urbain.
--

Pour compléter, le diagnostic qualité des eaux pluviales, les charges annuelles de MES issues des secteurs ruraux comme urbains peuvent être additionnés.

Secteurs	Flux de Matières En Suspension : masse annuelle produite sur le bassin versant					
	D'origine rurale		D'origine urbaine		Bassin versant	
	t/an	%	t/an	%	t/an	%
Frileuse	52.2	27	135.8	73	188	39
Bourbonnais	10.3	24	33.4	76	44	9
Angoulême	63.8	66	30.8	34	95	19
Vaularon Amont	10.5	55	7.4	45	18	4
Vaularon Intermédiaire	0	0	13.8	100	14	3
Vaularon Aval	0	0	129.2	100	129	27
Total	136.9	28	350.5	72	487	100

Il faut alors retenir que :

- ✓ **Le flux total de MES rejoignant le Vaularon est estimé à 490 tonnes par an dont les trois quarts sont issus des secteurs urbains.**
- ✓ **Près de 40 % des Matières En Suspension proviennent du bassin versant de la Frileuse, 20 % du bassin de l'Angoulême et quasiment 30 % pour le Vaularon aval.**
- ✓ **Les flux d'origine rurale ne représentent que le tiers des MES sur le bassin versant de la Frileuse, alors qu'ils contribuent aux deux tiers des apports de l'Angoulême.**

Par ailleurs, si l'hypothèse basse de production annuelle de MES par unité de surface urbanisée avait été retenue, la masse annuelle produite sur le bassin versant serait de l'ordre de 310 tonnes, et les surfaces agricoles y contribueraient alors à la hauteur de 45 %.

3.2.3. Flux polluants rejetés lors d'événements pluvieux pénalisants

3.2.3.1 Méthodologie de calculs

Nous avons procédé cette fois-ci, à l'estimation de **la masse susceptible d'être rejetée au cours d'un seul événement pénalisant**, c'est-à-dire une averse succédant à une dizaine de jours de temps sec au moins.

Si certaines sources bibliographiques (SETRA notamment) estiment que 10 % de la masse polluante produite annuellement peut être rejetée au cours d'un seul événement, nous estimons cette hypothèse quelque peu pessimiste ; qu'elle soit avérée ou non fondée, il s'agirait dans tous les cas d'un événement exceptionnel, ne se produisant pas plus d'une fois par an.

Nous préférons nous intéresser à des événements plus fréquents :

- ✓ nous savons que dans le contexte météorologique régional du secteur d'études, que des événements de 10 jours d'antécédents de temps sec (ou plus) se produisent environ 8 fois par an, et représentent approximativement 50 % de la durée de temps sec efficace ;
- ✓ considérant que l'accumulation des polluants n'est pas linéaire et décroît avec la durée, nous considérerons que ces événements ne représentent que 40 % de la pollution déposée annuellement, soit 5 % environ par événement.

Compte tenu de ces constats, il semble raisonnable qu'il se produit au moins 8 fois par an (en moyenne) **un événement entraînant le rejet de 5 % des masses polluantes rejetées annuellement.**

C'est pourquoi nous avons estimé pour un tel événement les masses rejetées, exprimées en kg et en équivalents-habitants (**par hypothèse, 1 éqH = 110 g de DCO et 56 g de DBO₅**) : cette évaluation, pour imprécise qu'elle soit, permet de mieux comprendre l'impact des zones bâties sur le milieu récepteur.

3.2.3.2 Résultats

Secteurs	Flux de polluants d'origine urbaine : masse rejetée lors d'un événement pluvieux pénalisant				
	DCO		DBO ₅		Hydrocarbures
	kg	éqH	kg	éqH	kg
Bassin versant de la Frileuse	4 021	36 500	659	12 000	112
Bassin versant du Bourbonnais	990	9 000	162	3 000	28
Bassin versant de l'Angoulême	913	8 300	150	2 600	25
Sous bassin du Vaularon Amont	220	2 000	36	700	6
Sous bassin du Vaularon Intermédiaire	407	3 700	67	1 200	11
Sous bassin du Vaularon Aval	3 827	35 000	627	11 000	107
Total	10 378	94 000	1 701	30 000	289

① Charges de pollution organique

Exprimés en équivalents-habitants, les résultats parlent d'eux-mêmes, et notamment pour le paramètre le plus spectaculaire, à savoir la DCO.

- ✓ les 2 principaux sous bassins producteurs, la Frileuse et le Vaularon aval, génèrent une pollution d'environ 35 000 éqH ;
- ✓ au total le Vaularon recevraient donc environ **94 000 éqH**, en un événement, donc en moins d'une journée.

Notons qu'en prenant l'hypothèse basse de masse annuelle polluante produite (230 kg/ha pour la DCO, contre 610 kg/ha), le rejet total pour un événement pluvieux pénalisant atteint tout de même 30 000 éqH.

② Autres polluants

Si par ailleurs on s'intéresse aux paramètres hydrocarbures, il s'avère qu'à chaque pluie succédant à une période de temps sec de plusieurs jours, les rejets sont équivalents (en masse, et heureusement pas en effets) à ce que l'on qualifierait par temps sec de « pollution accidentelle », soit 290 kg d'hydrocarbure, soit l'équivalent de deux barils de fuel.

Les hydrocarbures sont liés à 80 % environ aux MES et sont largement biodégradables, encore que le processus soit très lent.

En conclusion, quelles que soient les hypothèses admises pour l'estimation des charges polluantes véhiculées et rejetées par temps de pluie, **on obtient dans tous les cas des masses annuelles considérables, ainsi que des chocs de pollution lors des événements pluvieux**, dont les conséquences sont des déclassements ponctuels des cours d'eau, mais surtout un appauvrissement des milieux aquatiques en oxygène, qui va modifier la biodiversité des écosystèmes, et une accumulation de substances nocives dans la vase des cours d'eau, habitat de nombreux invertébrés constituant une base de la pyramide alimentaire.

L'importance de ces rejets peut être comparée aux rejets de plusieurs communes de l'agglomération (selon les hypothèses et les événements) qui ne seraient pas raccordées à un site de traitement des eaux usées.

4. CONCLUSION DU DIAGNOSTIC

Un ajustement du modèle réalisé sur la base d'éléments d'observations, pour deux événements dommageables récents, assure une restitution correct du comportement du bassin versant du Vaularon et de son réseau hydrographique.

4.1. RESULTATS HYDROLOGIQUES

Les principaux résultats à retenir, sont les suivants :

- ✓ La simulation des différentes pluies fait apparaître que **la surface active** du bassin versant du Vaularon **est estimée à 145 ha**. Un tiers des volumes ruisselés est généré par le sous bassin de la Frileuse, et un deuxième tiers l'est par le sous bassin versant du Vaularon Aval.
- ✓ **Les volumes ressuyés** (naturellement ou artificiellement) **représentent 30 % des volumes écoulés en 48 heures**, pour une averse non saturante. La moitié de ceux-ci proviennent des réseaux de drainage dont l'exutoire se situe sur le bassin versant de la Frileuse. Si ces volumes sont loin d'être négligeables durant les 48 heures que suivent l'averse, **les simulations montrent que leur impact en débit est marginal durant la crue**.
- ✓ **Les débits de pointe du Vaularon à son exutoire** sont les suivants :

Période de retour de la pluie non saturante, d'une durée de 3 heures				
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
3.9 m ³ /s	5.6 m ³ /s	6.8 m ³ /s	7.5 m ³ /s	8.1 m ³ /s

- ✓ **Le débit de pointe spécifique pour l'averse décennale est supérieure à 8 l/s/ha pour l'ensemble du bassin versant**. Mais les simulations ont souligné **la faible production du bassin versant de la Frileuse** au regard de l'ensemble du bassin versant, du fait de la présence de plusieurs bassins de rétention sur le secteur de Chevy. A contrario, **les fortes productions des sous bassins versant du Bourbonnais et du Vaularon amont** d'une part, **et du Vaularon aval** d'autre part, doivent être soulevées. L'imperméabilisation de ces secteurs associées aux fortes pentes des versants, génèrent des débits élevés.
- ✓ Les résultats des simulations font apparaître que pour les pluies projets non saturantes, la plupart des bassins de rétention existants, présentent **une capacité adaptée au volume à retenir**, voire très supérieure aux volumes produits lors d'événements orageux très exceptionnels. Des modifications de gestion de ces bassins pourront donc être envisagées.

- ✓ De façon générale, **la réaction sur sols agricoles saturés est plus intense** qu'en l'absence d'antécédents pluvieux. Mais on soulignera que pour orage décennal bref :
 - le débit généré par la Frileuse en amont des habitations de la rue de la Hacquinière, provient du **Ravin, qui voit son débit de pointe plus que doubler** entre les situations saturées et non saturées ;
 - En situation saturée, **le bassin de rétention de l'Aqualand est beaucoup plus sollicité**, et permet de limiter la contribution des sols agricoles saturés à l'aval du secteur de Chevy ;
 - Les écarts de débits entre les situations saturées et non saturées, sont plus prononcés à l'aval du Vaularon : **en situation saturée, la réaction des affluents est accélérée et devient alors concomitante à la réponse des zones urbaines aval.**
- ✓ L'étude **des bassins de rétention projetés** (Frileuse et Grands Près), fait apparaître que :
 - **le site de la Frileuse assure comme prévu une réduction du débit de pointe en amont de la rue de la Hacquinière** : pour l'averse décennale, le débit de pointe est limité à 0.8 m³/s contre 1.0 m³/s avant aménagement ;
 - **la combinaison des deux aménagements assurent une réduction du débit de pointe à l'aval de l'avenue de la Promenade** : pour la pluie décennale, le débit de pointe passe de 2.4 m³/s à 1.9 m³/s ;
 - par contre **aucun écrêtement n'est perceptible sur l'hydrogramme de crue du Vaularon à son exutoire**. Ceci réside dans le fait que sa pointe de crue provient majoritairement de la réaction du sous bassin Vaularon Aval.
 - De plus, il apparaît que pour les pluies de projet non saturantes de durée 3 heures, **la capacité des bassins de rétention projetés est sous-utilisée.**

4.2. RESULTATS HYDRAULIQUES

- ✓ Pour les **pluies de projet non saturantes d'une durée de 3 heures**, nous retiendrons **les principaux résultats suivants**, et notamment **les secteurs pouvant être affectés par des débordements dommageables** pour les voiries ou les habitations :

Caractéristiques de l'averse			Débit de pointe du Vaularon (m ³ /s)	Débordements dommageables probables
Période de retour	Hauteur de la lame d'eau			
		Totale (3h)	Pic (30 min)	
2 ans	20.7 mm	12.4 mm	3.9	Rue de Gometz et av. de la Promenade par la Frileuse canalisée (Ø 600)
5 ans	28.5 mm	17.8 mm	5.6	La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.
				Canalisation EP rue St Nicolas à Gometz-le-Châtel.
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.
10 ans	35.5 mm	22.4 mm	6.8	La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.
				Canalisation EP rue St Nicolas à Gometz-le-Châtel.
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.
				Débordements du Vaularon dans Paris-Chevreuse.
				Débordements du Vaularon Boulevard des Oiseaux.
20 ans	39.9 mm	26.2 mm	7.5	Débordements du Vaularon à la résidence de l'Oseraie.
				La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.
				Canalisation EP rue St Nicolas et route de Chartres à Gometz.
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.
				Débordements du Vaularon dans Paris-Chevreuse.
				Rue des Bleuets au lotissement St Clair est submergée.
				Débordements du Vaularon Boulevard des Oiseaux.
Débordements du Vaularon aux Jardins de Bures.				
50 ans	46.6 mm	30.9 mm	8.1	Débordements du Vaularon à la résidence de l'Oseraie.
				La Frileuse dans la rue de Gometz, l'av. de la Promenade, et en amont du Triangle.
				Canalisation EP rue St Nicolas et route de Chartres à Gometz.
				Collecteurs EP route neuve à Gometz-le-Châtel.
				Débordements du Vaularon dans Paris-Chevreuse.
				Rue des Bleuets au lotissement St Clair submergée.
				Débordements du Vaularon Boulevard des Oiseaux.
Débordements du Vaularon aux Jardins de Bures.				

- ✓ Le lecteur se rapportera au paragraphe 2.3.1, s'il souhaite identifier les origines hydrauliques de ces désordres. Nous soulignerons tout de même que **les débits générés supérieurs aux capacités d'évacuation des ouvrages** sont le plus souvent la cause de débordements ; mais que **les dimensions des cours d'eau** associées à **une faible pente et/ou des singularités hydrauliques** favorisent l'apparition des désordres.
- ✓ Nous retiendrons tout de même, que **le débit maximum transitable par le Vaularon au droit de la rue du Docteur Collé à Bures-sur-Yvette, est estimé à 5.5 m³/s** ; le débit de pointe du cours d'eau doit donc être inférieur à cette valeur, à laquelle il faut éventuellement déduire le débit du bras de décharge du Moulin, pour ne pas observer de débordements dans ce secteur.

- ✓ **La simulation d'un orage décennal** (durée 30 minutes) **s'abattant sur un sol agricole saturé** fait apparaître :
 - **une aggravation des débordements** observés sans cette saturation (cas de la Frileuse en amont du Triangle, rue de Gometz, et du Vaularon au boulevard des Oiseaux) ;
 - **de nouveaux désordres** dans des secteurs non affectés par la même pluie en situation non saturée, dont les débordements de la Frileuse à l'aval de la confluence Ravin/Frileuse, les débordements du Vaularon dans Paris-Chevreuse, la submersion de la rue des Bleuets à Gometz-le-Châtel, et les débordements aux Jardins de Bures, ainsi qu'au niveau de la rue du Docteur Collé.

- ✓ **La mise en place des deux bassins de rétention assure une réduction conséquente des débordements de la Frileuse et du Vaularon dans Paris-Chevreuse pour les averses de période de retour de 10 et 20 ans, malgré la persistance de quelques points noirs** (collecteur Ø 500 sur Frileuse en amont du Triangle, collecteur Ø 600 sur Frileuse de la rue de Gometz et de l'Avenue de la Promenade, collecteur Ø 1000 à l'aval du pont de l'avenue du Centre sur le Vaularon). **Mais les rétentions projetées, dans le cadre de la gestion envisagée, sont sans influence pour la lutte contre les inondations : à l'aval, au niveau de l'Etang de la Vierge, aux Jardins de Bures, avenue du Docteur Collé, qui constituent des points critiques du secteur d'études, tout comme à l'amont des sites envisagés.**

4.3. LES ATTEINTES AU MILIEU NATUREL

L'arrêté préfectoral du 27 décembre 1989 fixe les objectifs de qualité pour les rivières de l'Essonne. **L'objectif de qualité pour l'Yvette est de 2** (qualité dite « moyenne ») en aval de St Rémy les Chevreuse, ainsi que **pour le Vaularon**.

Les bilans de la qualité des eaux du Vaularon réalisé en 1999 et 2001, montre que **l'objectif de qualité de classe 2 est atteint pour les paramètres de qualité générale** (70% des mesures MES, DCO, DBO5, NH4), **pour l'azote (90%) et pour le phosphore (100%)**.

Par contre, **la bactériologie est un paramètre déclassant** : seules 30 % des mesures ont atteint l'objectif de qualité 2. Et malgré la nette amélioration de la qualité du Vaularon à Bures pour les paramètres de qualité générale, la qualité bactériologique du cours d'eau n'a pas progressé.

Cette pollution est à mettre sur le compte vraisemblablement **de rejets d'eaux usées directement dans le milieu naturel** : nos investigations de terrain ont pu mettre en évidence certains de ces rejets, notamment lors de l'inspection des principaux collecteurs d'eaux pluviales.

Les flux de MES générés sur le bassin versant contribuent à la dégradation :

- ✓ **du milieu naturel** par atteinte à la qualité de l'eau d'une part, et par envasement des cours d'eau d'autres part ;
- ✓ **des conditions d'écoulements**, par envasement des cours d'eau et des ouvrages.

Les calculs de flux ont montré que **la charge annuelle de MES exportée** s'élevait à **490 tonnes par an**, et se répartissait de la façon suivante :

- ✓ **les trois-quarts proviennent des surfaces urbanisées** ;
- ✓ l'érosion en nappe sur les surfaces agricoles y contribue au minimum à la hauteur de 25 %.

Exprimés en équivalents-habitants, les résultats de flux polluants produits par temps de pluie, se dispensent de commentaires. Les chiffres parlent d'eux-mêmes, notamment pour la DCO.

Au total **le Vaularon recevraient environ 100 000 éqH, en un événement pluvieux pénalisant**, donc en moins d'une journée. Les 2 principaux sous bassins producteurs que sont la Frileuse et le Vaularon aval, contribuent à la hauteur de 35 000 éqH chacun.

Pour le paramètre hydrocarbure, il s'avère que pour un événement pénalisant, les rejets sont équivalents (en masse, et heureusement pas en effets) à ce que l'on qualifierait par temps sec de « pollution accidentelle », soit **290 kg d'hydrocarbures**, soit l'équivalent de deux barils de fuel.