

Evaluation des débits caractéristiques sur les bassins versants non jaugés en Guyane

Applications dans les études réglementaires. Rapport préliminaire



Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**



Direction régionale de l'Environnement
de Guyane

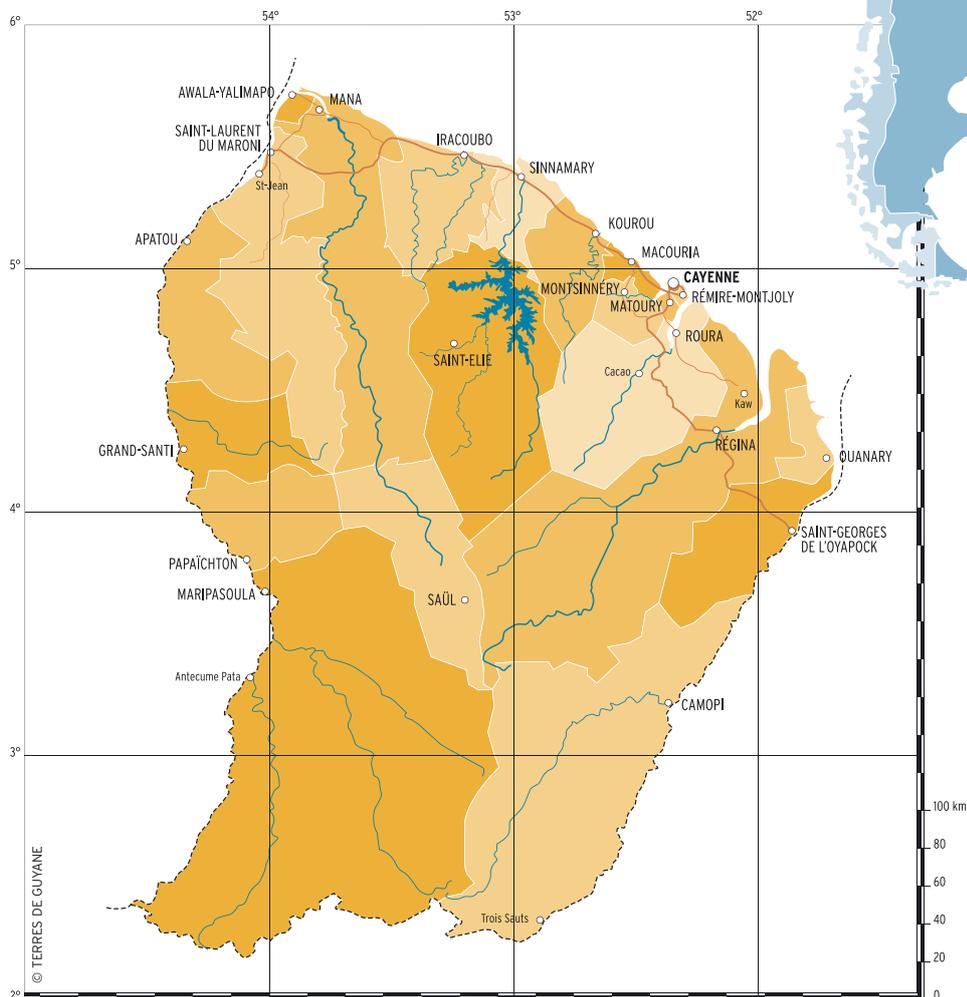
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Citation de l'ouvrage : BROCHARD F., MONFORT M., 2008. Evaluation des débits caractéristiques sur les bassins versants non jaugés en Guyane. Applications dans les études réglementaires. Rapport préliminaire. Direction régionale de l'environnement de Guyane, Cayenne

Mots-clés : bassins versants insuffisamment ou non jaugés, module, débit d'étiage QMNA5, débits de crue, débits d'eaux pluviales.

Crédits photographiques : Fabrice Brochard, DAF Guyane, DIREN Guyane, Philippe Gaucher, SIAGE, TDG, Olivier Tostain

Conception graphique : TERRES DE GUYANE - studio.crea@terresdeguyane.fr





Remerciements

La DIREN Guyane remercie en premier lieu toutes les personnes de Guyane ayant participé aux réunions intermédiaires, pour leurs remarques constructives et les précisions concernant les considérations méthodologiques et réglementaires.

La DIREN Guyane remercie en particulier :

- L'IRD et sa bibliothèque foisonnante de références concrètes sur l'hydrologie tropicale appliquée à la Guyane et au contexte équatoriale.
- Le bureau d'études EAUCEA et Monsieur Bruno COUPRY pour ses réflexions concernant les grands principes d'application de l'hydrologie et ses connexions interdisciplinaires.
- Le CETE du Sud-Ouest et Monsieur Yves RUPERD pour ses précisions concernant l'hydrologie urbaine.
- M. Jacques LAVABRE du CEMAGREF pour ses orientations concernant la faisabilité d'une future analyse régionale des débits moyens et d'étiages à partir d'un modèle type GR (Génie Rural).
- METEOFRACTANCE Guyane qui s'engage dans la difficile compilation des anciennes données climatologiques nécessaire à l'analyse statistique des pluies, tant utile pour l'obtention de résultats de qualité à partir des modèles pluies-débits.

| | |
|---------------|---|
| Remerciements | 1 |
| Sommaire | 2 |

A) préambule 5

| | |
|--------------|---|
| Introduction | 6 |
|--------------|---|

| | |
|-------------------------|---|
| Contexte, problématique | 7 |
|-------------------------|---|

[1] Définition de plusieurs débits à caractériser en priorité dans les documents d'évaluation des incidences et impacts 8

| | |
|-------------------------------|----|
| 1. Les débits de crue | 8 |
| 2. Les débits moyens | 9 |
| 3. Les débits d'étiages | 9 |
| 4. Les débits d'eau pluviales | 10 |

[2] Quelques références réglementaires concernant les débits visés 10

[3] Description générale des méthodes d'évaluation et modèles présentés 11

| | |
|---|----|
| 1. Définition d'un modèle, méthode hydrologique et d'une réponse "acceptable" de la méthode | 11 |
| 2. Mode de description des différentes méthodes hydrologiques | 11 |

[4] Avertissement, limites de l'étude 12

[5] Conseils d'utilisation du guide 13

| | |
|--|----|
| 1. Cadrage préalable des documents d'évaluation des incidences, impacts sur l'hydrologie et principe de proportionnalité | 13 |
| 2. Quelques exemples, par type d'opération loi sur l'eau, du niveau de précision attendu pour la description de l'état hydrologique et l'évaluation de l'impact hydrologique | 14 |
| 3. Débits, données attendus dans les documents d'évaluation des incidences et impacts sur l'hydrologie | 16 |

B) estimation des débits 19

| | |
|---|----|
| Schéma d'orientation préalable aux documents d'évaluations des incidences et impacts sur l'hydrologie | 20 |
|---|----|

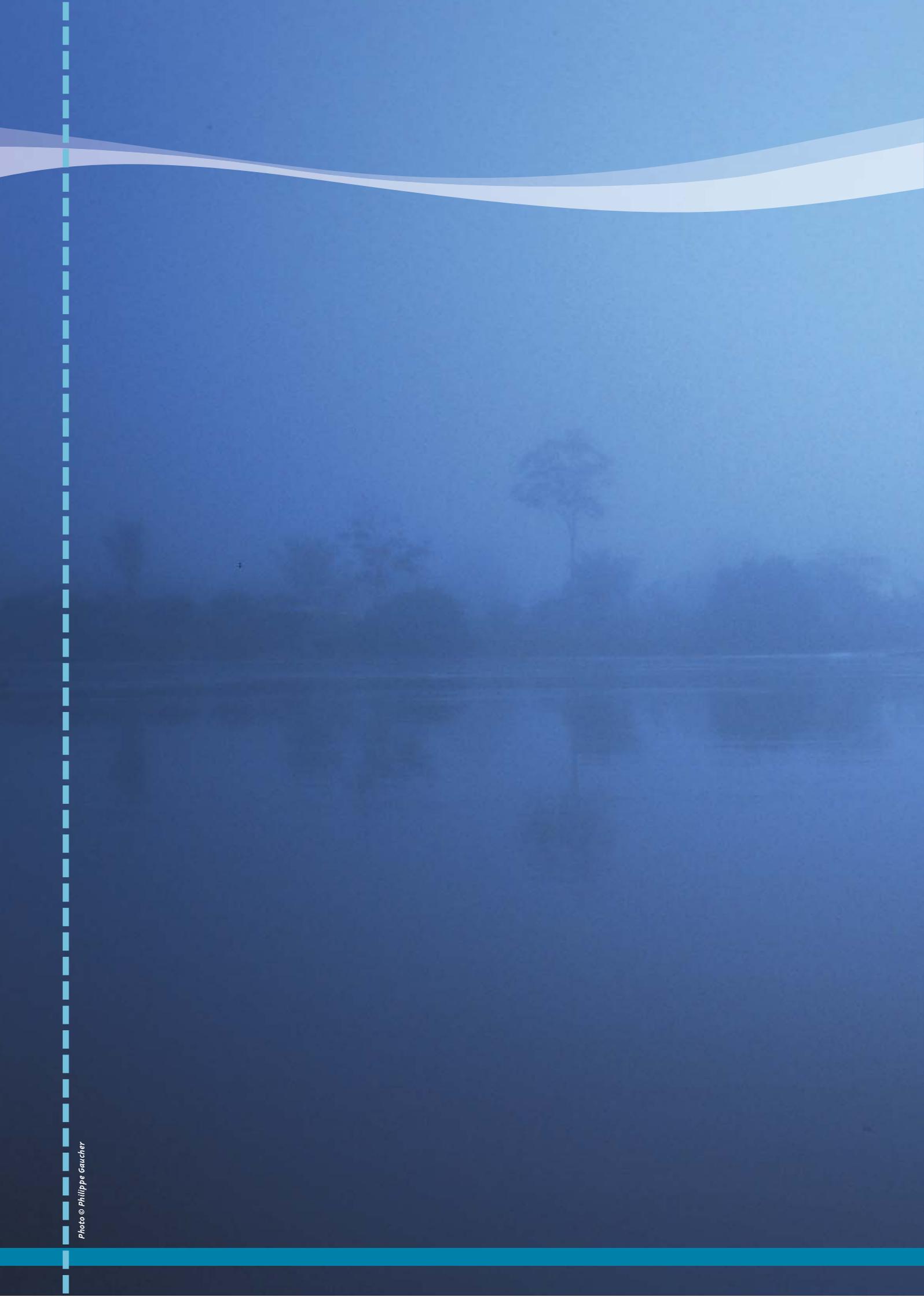
[1] Module et QMNA5 21

| | |
|--|----|
| 1. Tableau d'orientation pour le Module et le QMNA5 | 21 |
| 2. Une méthode disponible à l'heure actuelle pour le calcul du Module et du QMNA5 : technique de transfert de bassin versant par la méthode des débits spécifiques | 21 |
| 3. Une méthode bientôt disponible pour le calcul du Module et du QMNA5 : modèle pluie-débit régionalisé au pas de temps mensuel | 25 |

[2] Détermination du débit de crue décennale des bassins versants ruraux 26

| | |
|---|----|
| 1. Tableau de présentation des diverses méthodes d'estimation du débit de crue de temps de retour 10 ans en fonction de la taille des bassins versants ruraux | 26 |
| 2. Débit de crue décennale des très petits bassins versants ruraux ($S_{bv} < 2 \text{ km}^2$) | 27 |
| 3. Débit de crue décennale des petits bassins versants ruraux ($2 \text{ km}^2 < S_{bv} < 200 \text{ km}^2$) | 30 |
| 4. Débit de crue décennale sur les moyens bassins versants ruraux ($200 \text{ km}^2 < S_{bv} < 1.000 \text{ km}^2$) | 35 |
| 5. Débit de crue décennale sur les grands bassins versants ruraux ($S_{bv} > 1.000 \text{ km}^2$) | 37 |
| 6. Détermination des débits de crue vingtennale, cinquantenale, centennale sur les bassins versants guyanais à partir des crues décennales | 38 |

| | |
|--|-----------|
| [3] Méthodes valables pour les grands projets sur toutes les gammes de taille de bassins versants | 39 |
| 1. Méthode de corrélation entre les séries hydrométriques de deux stations hydrométriques | 39 |
| 2. Détermination des débits par les méthodes statistiques à partir de séries d'observations sur bassins versants jaugés ou insuffisamment jaugés | 40 |
| [4] Hydrologie urbaine et détermination de l'hydrogramme de ruissellement de pluie de temps de retour 10 ans | 41 |
| 1. Tableau d'orientation pour le débit d'eaux pluviales de pluie de temps de retour 10 ans concernant les bassins versants urbains | 41 |
| 2. Méthode non dynamique de Caquot pour BV < 2 km ² et pour C > 20% | 41 |
| 3. Modèle dynamique de transformation pluie-débit du "réservoir linéaire" | 42 |
| [5] Spécificité des petites criques littorales et des zones basses. Recherche de sensibilité des débits par modèle dans une optique de connaissance et de gestion des zones humides côtières : l'exemple de la Karouabo | 44 |
| 1. Objectif de la simulation des variations du volume d'eau et de la profondeur d'un marais côtier à drain unique | 44 |
| 2. Descripteurs et données de terrain à acquérir | 44 |
| 3. Description du modèle utilisé | 44 |
| 4. Résultats | 45 |
| 5. Limites du modèle | 45 |
| [6] Données à acquérir pour faire fonctionner les méthodes pluies-débits précitées en Guyane | 46 |
| 1. Calcul des paramètres de Montana | 46 |
| 2. Détermination des coefficients de ruissellement | 47 |
| 3. Calcul du temps de concentration | 49 |
| 4. Création d'une pluie brute de projet par la méthode de Desbordes | 50 |
| 5. Transformation d'une pluie brute en pluie nette | 52 |
| C) annexes | 55 |
| [1] Procédure pour le calcul des débits pour la méthode de Caquot | 56 |
| [2] Inventaire des bassins versants de la banque de données DIREN ayant fait l'objet de mesures hydrométriques | 57 |
| [3] Formulation de la méthode de stockage avec n réservoirs à partir d'une situation à n=2 en série | 60 |
| [4] Exemple numérique de la méthode de Rodier d'estimation des débits de crue décennale pour les petits bassins versants forestiers | 61 |
| [5] Développement de la formulation de la méthode de la pluie de projet | 63 |
| [6] La méthode de création des courbes IDF (issu notamment de DPPR, 2004) pour le calcul des coefficients de Montana | 64 |
| Bibliographie | 66 |
| Glossaire | 69 |
| Liste des tableaux, figures & schémas | 71 |



Evaluation des débits caractéristiques sur les bassins versants non jaugés en Guyane

Applications dans les études réglementaires. Rapport préliminaire

A) préambule

Introduction

Ce rapport préliminaire présente des **considérations méthodologiques à destination des chefs de projet** souhaitant fixer le niveau de précision de leurs *documents d'évaluation des incidences et impacts** sur l'hydrologie.

Ce rapport donne les orientations nécessaires pour le choix de la **méthode d'estimation des débits adaptée à la Guyane**. Les débits visés sont les débits moyens et les débits des conditions extrêmes sèches et humides.

Le choix des méthodes et son niveau de précision associé seront présentés en fonction :

- du type de bassin versant (rural ou urbain),
- de la taille du bassin versant où se situe le projet,
- de l'importance du projet en termes d'impacts.

Ont été étudiés les formules, méthodes, modèles existants dans la bibliographie :

- les méthodes, notamment issues de l'*hydrologie déterministe**, calées en Guyane (IRD, ...), en Afrique équatoriale et autres pays, dont le contexte hydroclimatique est comparable à la Guyane,
- les adaptations existantes ou facilement accessibles des modèles hydrologiques mis au point à l'origine en milieux tempérés.

Ce rapport présente tout d'abord une synthèse des méthodes. Ensuite, les données de Guyane nécessaires au fonctionnement de ces méthodes sont présentées dans une partie spécifique. Le développement plus approfondi des formulations de certaines méthodes et quelques exemples numériques sont présentés en annexe.

Nota : Pour la terminologie utilisée dans le rapport, nous invitons les utilisateurs à consulter préalablement et au fur et à mesure, le glossaire en fin de rapport (page 69).

Les mots écrits en italique et suivis d'une astérisque () renvoient à la définition du glossaire.*



Photo © TDG

Contexte, problématique

Dans les *documents d'évaluation des incidences et des impacts** sur l'hydrologie urbaine ou rurale, certaines des méthodologies utilisées en Guyane pour l'estimation des débits proviennent de formules, méthodes utilisées en métropole sans adaptation au contexte de la Guyane par les bureaux d'études ou les maîtres d'ouvrages.

La DIREN Guyane a alors décidé d'engager une étude préliminaire sur les méthodes de l'hydrologie adaptables aux cours d'eau et bassins versants guyanais. Ce rapport préliminaire sera suivi (prochainement) d'un guide méthodologique intégrant notamment plus d'exemples détaillés à partir des méthodes retenues dans le présent rapport.

L'*hydrologie** étudie l'évolution de l'eau à la surface de la terre et dans le sol. Dans ce rapport, l'*hydrologie de l'ingénieur** est utilisée à des fins :

- d'exploitation, de contrôle des eaux (prélèvement, rejet, etc),
- d'orientation vers la manière dont les impacts afférents peuvent être réduits au mieux en Guyane.

Des études hydrologiques plus ou moins poussées sont en effet indispensables dès le début de la mise sur pied des projets de protection contre les crues, d'irrigation, de digues minières, de franchissement routier, etc.

Une des difficultés, dans ces documents d'évaluation des incidences et des impacts, est de choisir un degré de précision de l'évaluation hydrologique qui soit en étroite relation avec la taille du projet et de son impact sur l'hydrologie. Pour cela, le guide orientera les aménageurs vers diverses méthodes avec plusieurs degrés de précision en fonction de l'importance du projet.

L'une des branches principales de l'hydrologie, abordée dans ce rapport, est alors consacrée à l'estimation des débits suivants : **Les débits d'étiages, les débits moyens, les débits de crue, les débits d'eaux pluviales.** (voir définitions pages 8 à 10)

Ce rapport abordera ainsi les moyens pour prédéterminer ces débits dans les documents d'évaluation des incidences et impacts. Il permettra de choisir une des méthodes adéquates pour réaliser l'estimation prévisionnelle de ces débits, ceci majoritairement sur des bassins versants insuffisamment jaugés.

Compte tenu du coût d'acquisition de données statistiquement représentatives sur les bassins versants, le *jaugage** complet et l'*analyse statistique* sont difficilement possibles.

Les méthodes proposées dans ce rapport préliminaire sont donc choisies pour pallier à l'insuffisance des données sur bassins versants insuffisamment jaugés ou non jaugés.



Photo © TDG

Les objectifs du rapport pour la caractérisation des débits sont prioritairement :

- **Fournir à l'ensemble des acteurs un outil de référence** qui leur permette d'accéder, selon la méthode retenue d'estimation de débit, au degré de précision associé.
- **Mettre à disposition des méthodes de calcul de débits** en l'absence de méthode statistique possible sur certains projets.
- **Préciser l'adaptabilité au contexte de la Guyane** des approches hydrologiques, pour que celles-ci soient utilisables dans les documents d'évaluation des incidences et impacts en milieu rural (projet agricole, minier, route...) et urbain (imperméabilisation, lotissement...).

Bassin versant non jaugé :

Le bassin versant n'a fait l'objet d'aucun échantillonnage d'aucune série d'observations de débits.

Bassin versant insuffisamment jaugé :

Le bassin versant a fait l'objet d'un échantillonnage correct d'une série d'observations de débits et de pluies mais cette série d'observations est insuffisante pour effectuer directement les analyses statistiques. Les séries d'observations peuvent servir au calage* des modèles.

Bassin suffisamment jaugé :

Le bassin versant a fait l'objet d'un échantillonnage d'une série d'observations de débits et cette série d'observations est suffisante pour effectuer directement les analyses statistiques (10 ans d'échantillonnage en Guyane pour les débits visés dans le rapport).

Définition de plusieurs débits à caractériser en priorité dans les documents d'évaluation des incidences et impacts

Les débits qui peuvent être étudiés en priorité sont le débit moyen et des débits représentatifs des conditions "extrêmes" sèche et humide. Les débits à déterminer sont donc les suivants :

1. Les débits de crue

Dans les méthodes de prédétermination des débits de crue, nous avons pris comme objectif le débit de crue de temps de retour 10 ans. Il est néanmoins possible de choisir d'autres débits de crue de temps de retour différents. Ces débits caractérisant les crues sont exprimés en débit instantané maximal ou débit journalier maximal.

- **Crue de fréquence biennale** : il s'agit de la crue de fréquence de retour 2 ans (ou crue qui a une chance sur deux de se produire tous les ans). La crue biennale est une donnée pertinente puisqu'elle est souvent considérée comme la crue morphogène du lit mineur.
- **Crue décennale** : crue qui a une chance sur dix de se produire chaque année. Cette crue est prise comme exemple dans les méthodes présentées dans ce rapport mais la *crue de projet** n'est pas nécessairement décennale.
- **Crue centennale** : crue qui a une chance sur cent de se produire chaque année. Cette fréquence est souvent prise comme exigence de sécurité dans les plans de prévention des risques d'inondation.

La prédétermination d'un débit maximum probable de crue d'une crue comme le débit de crue de temps de retour 10 ans est souvent utilisé en raison des effets destructifs bien connus de ces cataclysmes hydrologiques (inondations, destruction de digues, ...) , débit qui permet de calculer les dimensions de certains ouvrages, considérant aussi les facteurs économiques. Pour certains ouvrages exceptionnellement impactant, son dimensionnement devra prendre en compte des débits de crue rares de temps de retour cent ans, voir mille ans (par exemple 10.000 ans pour le barrage de Petit-Saut).

NOTION DE TEMPS DE RETOUR

La notion de période (ou temps) de retour caractérise la fréquence F d'apparition d'un phénomène. C'est sans doute dans un souci pédagogique qu'on a voulu traduire une probabilité en temps, notion supposée plus compréhensible pour les responsables et le grand public.

Ce n'était peut être pas une excellente idée, car cette notion, et plus encore celle de période de retour $T = 1/F$, véhicule un certain nombre d'idées fausses, en particulier celle d'une périodicité des phénomènes extrêmes.

Définition statistique du temps de retour

Si p est la probabilité que le débit d'une crue ou d'un canal dépasse une valeur donnée au cours d'une année donnée, le temps de retour attaché à cet événement est défini comme l'inverse de cette probabilité, $T = 1/p$.

Le temps de retour n'est donc qu'une autre façon d'exprimer, sous une forme qui se veut plus imagée, la probabilité d'un événement à un moment donné. Malgré son nom **il ne fait référence à aucune notion de régularité ou de périodicité** et peut même s'appliquer à des événements qui ne se sont pas produits et qui ne se produiront peut-être jamais à l'avenir.

"L'intervalle des très grandes crues mérite une attention particulière. Pour aucun élément de l'Hydrologie, les moyennes ne sont plus difficiles à établir et plus trompeuses. Ces phénomènes peuvent fort bien se grouper au nombre de deux, trois ou quatre dans un temps inférieur à l'intervalle moyen, puis manquer pendant une période bien plus longue. Signalons comme bizarreries de ce genre les trois crues de la Loire en 1846, 1856 et 1866, presque doubles, au Bec d'Allier, de la plus forte survenue depuis lors..." (Maurice Pardé)

(Crues exceptionnelles de la Loire pas même dépassées pendant les pluies exceptionnelles de l'hiver 1993-1994).

Citons de plus les 2 crues plus que centennales sur le Maroni, survenant à 2 ans d'intervalle en 2006 et 2008 !



◀ Crue sur l'île de Wacapou (Maroni)

Photo © SIAGE

3. Les débits d'étiages

Le débit d'étiage d'un cours d'eau est le débit minimum d'un cours d'eau calculé sur un pas de temps donné en période de basses eaux. Ainsi pour une année donnée, on parlera de :

- Débit d'étiage journalier,
- Débit d'étiage de n jours consécutifs,
- Débit d'étiage mensuel : moyenne des débits journaliers du mois d'étiage (QMNA).

Pour plusieurs années d'observation, le traitement statistique de séries de débits d'étiage permet de calculer un débit d'étiage fréquentiel.

Le **QMNA5** est le débit moyen mensuel minimum de temps de retour 5 ans. Le QMNA5 est le débit de référence du cours d'eau à l'étiage défini par la loi sur l'eau (*voir chapitre A.2, p.10, sur les références réglementaires*).

Le **VCN30** est la valeur minimale dans l'année du débit moyen calculé sur trente jours consécutifs.

La connaissance des débits d'étiages est une donnée fondamentale du fonctionnement des milieux aquatiques. Nous présenterons dans le rapport le fonctionnement d'un logiciel qui permettra une approche régionale du QMNA5 (*voir p. 25*).

Dans le cadre de la loi sur l'eau (LEMA) et de ses décrets d'application, le **débit mensuel d'étiage de fréquence quinquennale sèche (QMNA5)** constitue la norme pour l'instruction des dossiers d'autorisation ou de déclaration des rejets et des prélèvements en rivière (*voir partie 2. sur les références réglementaires*). Ce débit constitue en effet le débit d'entrée des rubriques de la nomenclature loi sur l'eau. Certaines Directions départementales de l'agriculture et de la forêt (DDAF) en métropole prennent comme référence un débit quasiment équivalent au QMNA5 mais plus pertinent : le VCN30 de temps de retour 5 ans.

Les dossiers qui requièrent un calcul de débits d'étiage concernent notamment les centrales et les mini-centrales hydroélectriques, les détournements de cours d'eau, les usines d'approvisionnement en eau potable pour les villes et les industries, l'irrigation (terrains de golf, rizière, etc), les stations de traitement des eaux usées d'origine domestique et industrielle, etc.

2. Les débits moyens

Le débit moyen interannuel

Le débit moyen interannuel (Qm ou module interannuel) est la moyenne des débits moyens annuels de la période de référence prise en compte.

Les débits moyens annuels ou module

Le module est calculé en prenant la moyenne arithmétique des 12 débits moyens mensuels, cette moyenne étant pondérée par le nombre de jours réels de chaque mois.

Les débits moyens mensuels

Le débit moyen mensuel est égal à la moyenne arithmétique des débits moyens journaliers du mois considéré. Le diagramme des débits moyens mensuels constitue une première représentation du régime hydrologique en introduisant la variabilité saisonnière. Cette variabilité saisonnière peut être représentée dans un tableau avec un coefficient mensuel de débit égal au rapport du débit moyen mensuel Xi sur le module annuel M. Cela donne le caractère plus ou moins sec ou humide de chaque mois. Les courbes de coefficients mensuels (comme d'ailleurs les courbes de débits classés) sont des représentations graphiques très expressives des *régimes hydrologiques** des cours d'eau, avantageusement utilisées en hydrologie comparée.

Les débits moyens journaliers

Ces débits sont calculés à partir de la cote moyenne H lue à l'échelle limnimétrique (ou enregistrée par le limnigraphe) de la station de jaugeage pour le jour considéré.

4. Les débits d'eaux pluviales

L'hydrologie urbaine s'intéresse à la partie du cycle de l'eau affectée par l'urbanisation ou affectant le fonctionnement de la ville. Dans ce rapport, nous nous intéresserons plus particulièrement au ruissellement des eaux pluviales et leur écoulement dans des réseaux artificiels (canaux, conduites souterraines). Nous nous intéresserons au débit de pointe de ces eaux de ruissellement ou à l'hydrogramme complet de ruissellement. L'exigence de sécurité reprend la notion de temps de retour de l'hydrologie rurale (voir page 8). Le temps de retour pris en exemple dans le rapport est aussi le temps de retour de 10 ans.

"Historiquement, l'*hydrologie urbaine** s'est constituée en domaine spécifique de l'hydrologie rurale pour mieux adapter ses méthodes aux particularités des espaces urbains" (Bernard CHOCAT - INSA de Lyon) :

- faibles dimensions des bassins versants, et par conséquent particularités des pluies critiques (pluies courtes et violentes liées à des phénomènes convectifs) ;
- forte imperméabilisation des sols en zone urbaine qui modifie quantitativement la nature du ruissellement (diminution des pertes à l'écoulement, accélération du mouvement de l'eau) et qualitativement (modification de la nature des polluants entraînés par l'eau) ;

- caractère souvent artificialisé du réseau hydrographique ;
- grande vulnérabilité des espaces urbains face au risque d'inondation et importance des enjeux financiers, environnementaux et sociaux ;
- évolution rapide de l'occupation des sols limitant les possibilités d'utilisation de méthodes statistiques fondées sur l'observation du passé pour prédire l'avenir.

Ouvrage hydraulique pour la gestion des niveaux d'eau à Mana
Photo © DAF Guyane



2 Quelques références réglementaires concernant les débits visés

Débit QMNA5

Ce débit est introduit par l'article R 214-1 du code de l'environnement :

Il est noté dans cet article : "*Le débit de référence du cours d'eau s'entend comme le débit moyen mensuel sec de récurrence cinq ans ci-après dénommé "le débit"*". Ce débit est le débit visé dans la nomenclature de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA).

Module

Le Module est décrit dans l'article L214-18 du code de l'environnement :

Le module ("évalué à partir des informations disponibles sur une période minimale de cinq années") est le débit servant, dans cet article, au calcul du débit minimal à l'aval immédiat d'ouvrage construit dans le lit du cours d'eau. Pour conserver la continuité écologique, ce débit minimal ne doit pas être inférieure au dixième du module (au vingtième si le module dépasse 80 m³.s-1)

Débits de crue de fréquence F d'un cours d'eau

Le temps de retour, le niveau de sécurité est choisi en fonction du risque. Pour les barrages et digues par exemple, il est possible de se référer au décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

Débits pluviaux urbains

Comme en hydrologie rurale, différentes fréquences, exigences de protection peuvent être prises en compte en fonction des types d'ouvrages et de la sensibilité de la zone. Pour ce choix, il est possible de se référer notamment à la Norme EN 752-2.

Description générale des méthodes d'évaluation et modèles présentés

3

1. Définition d'un modèle, méthode hydrologique et d'une réponse "acceptable" de la méthode

Une définition simple d'un modèle peut être : une construction matérielle ou abstraite "ressemblant" à l'objet modélisé, selon un certain nombre de caractéristiques pertinentes eu égard aux données rendues disponibles et à l'objectif poursuivi.

En l'occurrence, dans le guide, l'objet modélisé est le débit et ses phénomènes générateurs (pluies, ruissellement, ...). Les objectifs de ces méthodes sont par exemple le module, le QMNA5, et le débit de crue de temps de retour 10 ans noté Q_{crue} (T = 10 ans).

Très pragmatiquement, l'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse "satisfaisante" aux questions que l'on se pose à propos de l'objet modélisé.

Définition proposée par P.HUBERT (ENSMP)

Une réponse "satisfaisante" ou "acceptable" est une notion qui dépend de la perception de celui qui analyse sa pertinence. Par exemple, La tendance d'un maître d'ouvrage sera d'ajuster la précision d'un modèle vers l'économiquement le plus "acceptable" et la tendance d'une association de protection de l'environnement sera d'ajuster la précision du modèle au plus près possible de l'objet modélisé, quitte certaines fois à demander une multiplication des descripteurs et données nécessaires à la prédétermination des débits et de la sensibilité du milieu. La recherche de la représentativité statistique n'est pas économiquement acceptable en hydrologie pour la majorité des projets.

L'objectif difficile des services instructeurs et des bureaux d'études est d'orienter préalablement et au fur et à mesure, le maître d'ouvrage vers une précision "acceptable" en fonction de l'ampleur du projet et des impacts afférents, de la sensibilité du milieu récepteur, tout en restant dans l'économiquement acceptable.

2. Mode de description des différentes méthodes hydrologiques

Différentes méthodes d'estimation de débits seront abordées en insistant particulièrement sur celles qui peuvent être utilisées facilement par les bureaux d'études en Guyane et celles mises au point spécifiquement par les scientifiques pour la Guyane sur les bassins versants insuffisamment ou non jaugés.

Chaque méthode, formule, modèle sera décrit comme suit. Ce mode de description se base sur celui du GRAIE (GRAIE, 1996, Aménagement et gestion des rivières, volume 2, fiches méthodologiques et techniques) :

- Les **objectifs** de la méthode et son **domaine d'utilisation** (taille du bassin versant, urbain ou rural...)
- Les descripteurs et **données nécessaires** au fonctionnement de la méthode, formule et leur accessibilité en Guyane.
- Une **description rapide de la méthode**. Les méthodes sont majoritairement décrites sous forme de schémas expliquant la procédure à suivre pour atteindre le résultat recherché.
- Les **précisions** et **limites d'utilisations** comme la lourdeur d'exécution (recueil de données, longueur des calculs, ...), la faible représentativité de l'ordre de grandeur atteint dans certains cas, le calage insuffisant de la méthode en Guyane qui nécessite donc un calage avec des données hydropluviométriques, mais aussi quelques précisions sur les avantages d'une méthode par rapport à une autre...
- **Cotation de la méthode** en fonction de la facilité de mise en œuvre, le degré de spécialisation, sa qualité générale et son intérêt pour la Guyane.

Les formules, méthodes seront présentées dans deux sous-parties, une concernant l'approche hydrologique en secteur rural et l'autre en secteur urbain. En effet, les formules et les approches de l'hydrologie rurale et de l'hydrologie urbaine sont séparées sachant que les comportements des bassins versants ruraux et urbains sont différents.

4

Avertissement, limites de l'étude

Les propositions de ce rapport préliminaire n'ont pas de caractère normatif et ne sont pas des obligations de moyens d'évaluation. Il s'agit simplement de préconisations.

Pour les documents d'évaluation des incidences et impacts, les méthodes utilisées et le niveau d'exigence, de précision au niveau de l'hydrologie peuvent être définis, sur propositions du maître d'ouvrage, au cours du cadrage préalable entre maître d'ouvrage / service instructeur / service compétent en hydrologie.



1. Cadrage préalable des documents d'évaluation des incidences, impacts sur l'hydrologie et principe de proportionnalité

Il est souhaitable pour le maître d'ouvrage de choisir au mieux le niveau de précision de ses documents d'évaluation des incidences et des impacts de son projet sur l'hydrologie. Outre l'utilisation des préconisations techniques de ce rapport sur le niveau de précision, il peut être pour cela intéressant, au début de l'étude, de cadrer avec le service instructeur ce niveau de précision en fonction de l'importance du risque d'impact supposé. Une réunion bipartite n'engage en rien le service instructeur mais permet au maître d'ouvrage de prévoir les conditions de recevabilité du dossier et de mieux appréhender l'importance et le degré de précision potentiel de son document d'évaluation des incidences et impacts. Avec une bonne connaissance de son projet et en observant les tableaux suivants, le maître d'ouvrage pourra approcher la catégorie dans laquelle il se situe quand au niveau d'évaluation probable à mener sur l'impact hydrologique de son projet (BARIL D. 2000).



| Risque d'impact supposé notamment par retour d'expérience | Niveau de description de l'état hydrologique initial | Niveau de description et d'évaluation de l'étude des impacts sur l'hydrologie |
|---|--|---|
| Faible | 1 à 2 | Tendance, ordre de grandeur : méthodes simples sans calage |
| Moyen | 2 | Estimation qualitative : calages partiels |
| Important | 3 | Analyse quantitative |

Tableau 1 : Degré de précision de description et d'évaluation hydrologique en fonction de l'importance du projet

Le niveau 1 d'évaluation est issu de l'exploitation de données disponibles d'ordre générale et de la mise en œuvre si possible d'une méthode simple sans calage.

Exemple : lors d'une déclaration et faible sensibilité du milieu récepteur.

Le niveau 2 d'évaluation est généralement issu de la mise en œuvre d'une méthode déterministe avec un calage. Les jaugeages et échantillonnages pour le calage peuvent être partiels et indicatifs.

Exemple : lors d'une autorisation simple et sensibilité moyenne du milieu récepteur.

Le niveau 3 d'évaluation est issu :

- soit de l'exploitation et de l'analyse statistique d'une série chronologique acceptable issue de données débitmétriques localisées au droit des impacts du projet (série qui peut être allongée),
- soit de la mise en œuvre d'un modèle avec un calage relativement important.

Exemple : lors d'une autorisation complexe avec un ou plusieurs dépassements importants des valeurs hautes des seuils des nomenclatures du code de l'environnement.

Dans chaque paragraphe de présentation des méthodes, il est indiqué dans un tableau le niveau de précision de ces méthodes.

“Acceptable” ne veut pas dire 100 % statistiquement représentatif, cette représentativité n’étant pas économiquement acceptable dans la majorité des cas.

Il est ainsi important de bien cadrer son document d’évaluation des incidences et impacts et le niveau de précision dès le début et au fur et à mesure du projet.

Ce travail de cadrage représente un investissement limité par rapport à l’ensemble des tâches qu’exige la rédaction du document d’évaluation des incidences et des impacts. Comme pour cette dernière, il obéit au principe de proportionnalité (MICHEL P., 2001) :

- Pour un petit projet dans un environnement qui n’est pas exceptionnel, quelques jours suffisent pour recueillir et analyser des données aisément accessibles ;
- Pour des projets importants, une véritable étude de cadrage préalable peut être nécessaire.

Il est nécessaire *in fine* de respecter le principe de proportionnalité et veiller à ce qu’il n’y ait ni sous-évaluation qui pourrait retarder le projet ni surévaluation trop coûteuse au regard des enjeux. Le principe à retenir *in fine* est le même que celui de l’article R122-3 du code de l’environnement et de l’article 2 du décret du 12 octobre 1977 qui précise que “le contenu de l’étude d’impact doit être en relation avec l’importance des travaux et aménagements projetés et avec leurs incidences prévisibles sur l’environnement”. Ce rapport peut également concourir à l’économie globale sur projet.

Enfin, il faut faire attention à une situation finale difficilement acceptable pour un service instructeur dans le dossier : une partie sur l’état initial hydrologique “hypertrophiée” qui s’enchaînerait sur une analyse des impacts sur l’hydrologie “atrophiee”.

2. Quelques exemples, par type d’opération loi sur l’eau (BARIL D, 2000), du niveau de précision attendu pour la description de l’état hydrologique et l’évaluation de l’impact hydrologique

• Impact du type d’opération “rejet”

| Type d’opération | Rubrique principale de la nomenclature LEMA | Compartment | Niveau de description et d’évaluation de l’état hydrologique |
|---|---|-------------|--|
| Rejet (cf. risque d’impact en fonction du QMNA5 p. 218 (BARIL D., 2000)) | 2.1.1.0, 2.1.2.0, 2.1.5.0, | D | 1 |
| | 2.2.1.0, 2.2.3.0, | A | 2 |

Tableau 2 : Niveau de précision des données hydrologiques pour le type d’opération “rejet” (issu de BARIL D, 2000)

| Objectif de qualité | Pe/QMNA5 < 10 | 10 < Pe/QMNA5 < 50 | Pe/QMNA5 > 50 |
|---------------------|---------------|--------------------|---------------|
| Peu ambitieux | Faible : 1 | Moyen : 2 | Moyen : 2 |
| Ambitieux | Moyen : 2 | Elevé : 3 | Elevé : 3 |

Tableau 3 : Risque d’impact supposé en fonction du nombre d’équivalent habitant (Pe) et de l’objectif de qualité (fonction de la sensibilité du milieu) (issu de BARIL D, 2000)



• **Impact du type d'opération "prélèvement"**

| Type d'opération | Rubrique principale de la nomenclature LEMA | Compartiment | Niveau de description et d'évaluation de l'état hydrologique |
|--|---|--------------|--|
| Prélèvements Qp directs dans les eaux superficielles | 1.2.1.0 | D | |
| | | A | |
| A risque d'impact faible : $QMNA5/Qp > 10$ | | | |
| A risque d'impact modéré : $1 < QMNA5/Qp < 10$ | | | |
| A risque d'impact fort : $QMNA5/Qp < 1$ | | | |

Tableau 4 : Niveau de précision des données hydrologiques pour le type d'opération "prélèvement" (issu de BARIL D, 2000)

• **Impact du type d'opération "barrage, seuil"**

| Type d'opération | Rubrique principale de la nomenclature LEMA | Compartiment | Niveau de description et d'évaluation de l'état hydrologique |
|-------------------------------------|---|--------------|--|
| Barrage provisoire, seuil, barrages | 3.1.1.0 | A | |
| Grand barrage (h > 10m) | 3.1.1.0 | A | |
| Aménagement hydroélectrique | 5.2.2.0 | A | |

Tableau 5 : Niveau de précision des données hydrologiques pour le type d'opération "barrage, seuil" (issu de BARIL D, 2000)

• **Impact d'autres types d'opérations**

| Type d'opération | Rubrique principale de la nomenclature LEMA | Compartiment | Niveau de description et d'évaluation de l'état hydrologique |
|---------------------------------------|---|--------------|--|
| Chenalisation | 3.1.2.0 | D | |
| | | A | |
| Vidange | 3.2.4.0 | D | |
| | | A | |
| Plan d'eau | 3.2.3.0 | D | |
| | | A | |
| Assèchement zones humides et Drainage | 3.3.2.0 voire 3.3.1.0 | D | |

Tableau 6 : Niveau de précision des données hydrologiques pour quelques autres types d'opération (issu de BARIL D, 2000)

3. Débits, données attendus dans les documents d'évaluation des incidences et impacts sur l'hydrologie

| Descripteurs | Niveau 1 | Niveau 2 | Niveau 3 |
|--|----------|----------|----------|
| Présentation des descripteurs du bassin versants pour les méthodes d'approches des débits | | | |
| Données géologiques | ★ | ★ | ★ |
| Données climatologiques | ★ | ★ | ★ |
| Données pédologiques | ★ | ★ | ★ |
| Données socio-économiques + Usages existants à l'aval hydraulique | ★ | ★ | ★ |
| Débits caractéristiques, indicateurs | | | |
| Débit moyen interannuel | ★ | ★ | ★ |
| Débit de crue décennale | ★ | ★ | ★ |
| QMNA5 | ★ | ★ | ★ |
| Débits moyens mensuels | | ★ | ★ |
| Courbes des débits classés annuelle et mensuelle | | | ★ |
| Mesures complémentaires | | | |
| Jaugeages pour la détermination de la courbe de tarage | | ★ | ★ |
| Station de jaugeage (mesure continue de la hauteur d'eau), pluviomètres | | ★ | ★ |

Tableau 7 : Paramètres nécessaires à l'évaluation hydrologique (issu de BARIL D,2000)







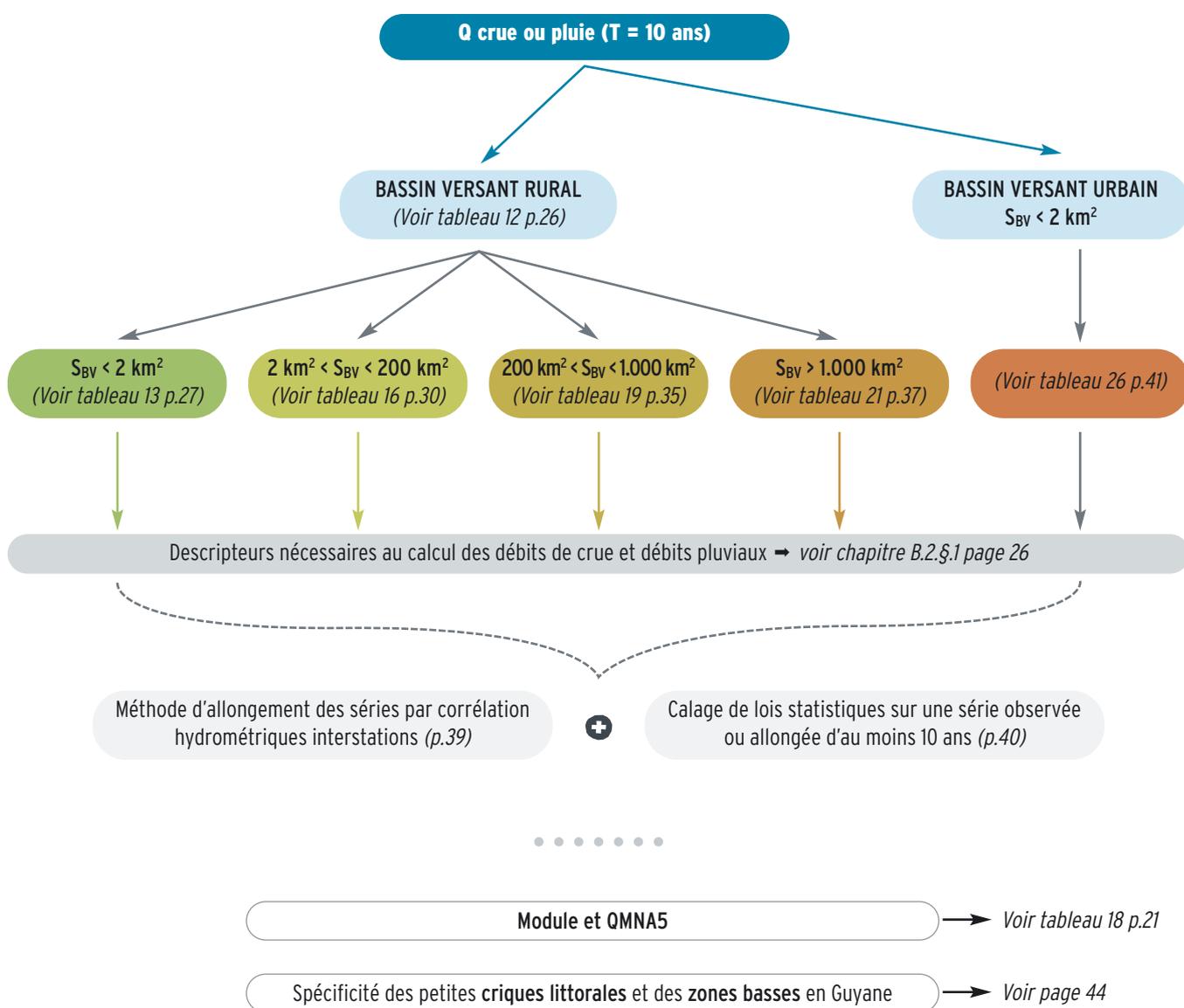
*Evaluation des débits caractéristiques sur
les bassins versants non jaugés en Guyane*

Applications dans les études réglementaires. Rapport préliminaire

B) estimation des débits

Schéma (1) d'orientation préalable aux documents d'évaluations des incidences et impacts sur l'hydrologie

Ce schéma doit permettre au chef de projet et au maître d'ouvrage de s'orienter vers le choix d'une méthode pour l'estimation des différents débits suivants : Qcrue (T=10 ans), Module, QMNA5. Dans le schéma suivant, la notation "S_{BV}" veut dire "Surface du bassin versant".



1. Tableau (8) d'orientation pour le Module et le QMNA5

| Module, QMNA5 sur bassin versant rural quelle que soit la taille du bassin versant | | | |
|---|--|---|--------|
| Niveau d'impact | 1 | 2 | 3 |
| Nombre d'années de mesures avec jaugeages ponctuels et mesures de hauteurs en continue | 0 | 1 à 2 | 3 ou + |
| A l'heure actuelle | | | |
| Méthodes applicables sur les bassins versants de taille moyenne à grande (étirable hors domaine si pas le choix) | Calcul statistique du Module, QMNA5 sur la station la plus proche plus pondération par un rapport de surface (voir chap. B.1.§.2 p.21) | Corrélations interstations + traitement statistique (voir pp.39-40) | |
| Dans un futur proche suite au guide DIREN | | | |
| Données accessibles et gratuites par l'intermédiaire d'une approche modélisatrice régionalisée au pas de temps mensuel (modèle type GR ou assimilé) (voir p.25) | | | |

La méthode présentée au paragraphe suivant permet, à l'heure actuelle de calculer prévisionnellement un ordre de grandeur du module et du QMNA5 pour les petits à moyens projets. Pour les projets importants en terme d'impacts, il est conseillé de procéder à au moins 3 ans de mesures de débits pour pouvoir effectuer une analyse statistique.

Pour les projets dans le lit des cours d'eau, l'article L214-18 demande 5 ans de mesures disponibles pour le calcul du module. Il est utile, pour certaines demandes d'autorisation, de procéder à un ou deux ans de mesures avant autorisation et de continuer à faire ces mesures lors de l'exploitation pour atteindre les 3 ans nécessaires à l'analyse statistique. En effet, cette analyse permettra pour certains projets de pallier le simple ordre de grandeur donné par la méthode suivante et d'ajuster le projet sur ces nouvelles valeurs.

2. Une méthode disponible à l'heure actuelle pour le calcul du Module et du QMNA5 : technique du transfert de bassin versant par la méthode des débits spécifiques

• Objectifs et domaine d'utilisation

Cette méthode est disponible pour les petits et moyens projets dont l'insuffisance du jaugeage empêche d'appliquer l'allongement de série (voir pp.39-40) et le traitement statistique.

• Descripteurs nécessaires à son fonctionnement

- Le module et le QMNA5 de stations de référence.
- Les caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants à comparer : superficie du bassin versant (A), longueur du cours d'eau (L), pente moyenne du cours d'eau (Pm), pourcentage de forêt.

• Description rapide et mise en œuvre

L'évaluation des débits d'étiage et module peut alors se faire comme suit (issue notamment de l'ouvrage du CEHQ (2005)).(Fo) et précipitations moyennes annuelles (PMA).

1. Choix des stations hydrométriques voisines, ayant un régime naturel ou peu influencé, sur lesquelles on trouve une quantité suffisante de données hydrométriques.

2. Ajustement des distributions statistiques permettant de calculer le QMNA5 et le Module à chacune des stations de référence retenues.

3. Détermination des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants :

4. Calcul du débits spécifique d'étiage mensuel de temps de retour 5 ans et du débit spécifique moyen interannuel (module interannuel spécifique) à l'aide de l'équation suivante :

$$q \text{ (l/s/km}^2\text{)} = Q \text{ (l/s)} / A \text{ (km}^2\text{)}$$

avec q : *débit spécifique**, Q : Module ou QMNA5, A : surface du bassin versant

• Précisions

Cette méthode revient à faire une pondération par la surface du type :

$$Q1 = (A1/A2) \times Q2$$

où la station 1 est non jaugée et la station 2 référence est jaugée et où le facteur $Q2/A2 = q2$ est fixé sur la station référence.

Si l'on possède deux stations voisines sur le bassin versant pour lesquelles des données sont disponibles en nombre suffisant, il est possible de déterminer le coefficient "a" de corrélation entre ces données s'il existe deux stations hydrométriques.

Alors :

$$Q1 = (A1/A2)^a \times Q2$$

La valeur de "a" varie généralement entre 0,8 et 1,2. Elle est prise égale à 1 s'il n'y a qu'une station de référence.

Les équations donnent des résultats satisfaisants si $A1/A2$ est compris entre 0,5 et 2.

EXEMPLE DE CALCUL DE "a" SUR LE MARONI

Prenons les stations hydrométriques de Langa Tabiki (1) et de Grand-Santi (2).

Le ratio "x" = $S(1)/S(2)$ est égal à 1,77. Le ratio "y" des modules $Q(1)/Q(2)$ est égal à 1,79.

Or $a = \log y / \log x$;

"a" est très proche de 1 : $a = 1,02$

Donc entre les stations de Grand-Santi et de Langa Tabiki, les modules sont liés par la formule

$$Q(1) = (S(1)/S(2))^{1,02} \times Q(2).$$

Et de même pour n'importe quel point "x" entre Grand-Santi et Langa Tabiki,

- Langa Tabiki = Station (1)
- Station "x" = $Q(x)$?
- Grand-Santi = Station (2)

la formule devient :

$$Qx = (S(x)/S(2))^{1,02} \times Q(2)$$

De même entre Grand-Santi et Maripasoula :

$$Qy = (S(y)/S(2))^{1,15} \times Q(2)$$

• Précisions et limites d'utilisation

Caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants comparés

La détermination des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants comparés n'est pas obligatoire (sauf pour la superficie du bassin versant), mais leur connaissance permet de porter un meilleur jugement sur les résultats obtenus (CEQH, 2005).

Pour les bassins supérieurs à 1.000 km², l'interpolation en fonction de la surface drainée peut être considérée comme suffisante. Si la synthèse des débits en fonction de la surface drainée s'effectue naturellement dans le cadre des *analyses fréquentielles** des grands bassins où cette superficie drainée est le facteur principal de variation des éléments hydrologiques et dont l'influence est aisée à mettre en évidence, le problème est beaucoup plus complexe pour les petites surfaces sur lesquelles les éléments hydrologiques restent étroitement dépendants de la pluviosité et du milieu physique (DUBREUIL, 1965). En résumé, l'utilisation de formulations du débit en fonction de la seule surface drainée est aisée mais mal adaptée aux petits bassins versants. Faute de mieux, elle est considérée à l'heure actuelle comme acceptable pour la détermination du QMNA5 et du module même pour les petits bassins versants de taille inférieure à 1.000 km².

Difficultés d'application aux cours d'eau urbains

Pour les cours d'eau dont le débit est peu influencé, généralement en zone péri-urbaine (faible imperméabilisation du bassin versant, apport faible en eaux domestiques et eaux industriels, ...), il peut être acceptable d'utiliser les formules de bassins versants ruraux. Dès que ces cours d'eau sont influencés de manière significative, mieux vaut approcher les conditions moyennes et d'étiages par des mesures de débits *in situ* avec l'installation d'échelles limnimétriques et quelques campagnes en saison sèche et saison humide pour les moyens projets voire de nombreuses campagnes pour les grands projets. Le tarage partiel en prenant quelques points (séries de quelques jours par mois) en situation humide et sèche permettra d'estimer grossièrement un débit moyen et un débit d'étiage sans pour autant atteindre le module ni le QMNA5. Ces cours d'eau peuvent avoir été fortement influencés, dégradés et transformés en fossé ou avoir été couverts. Le niveau de précision du document d'évaluation des incidences et impacts est alors du cas par cas en fonction de la sensibilité du milieu récepteur (généralement faible car fossé ou cours d'eau fortement dégradé en milieu urbain) et de l'importance du projet.

Tableau (9) de cotation de la méthode

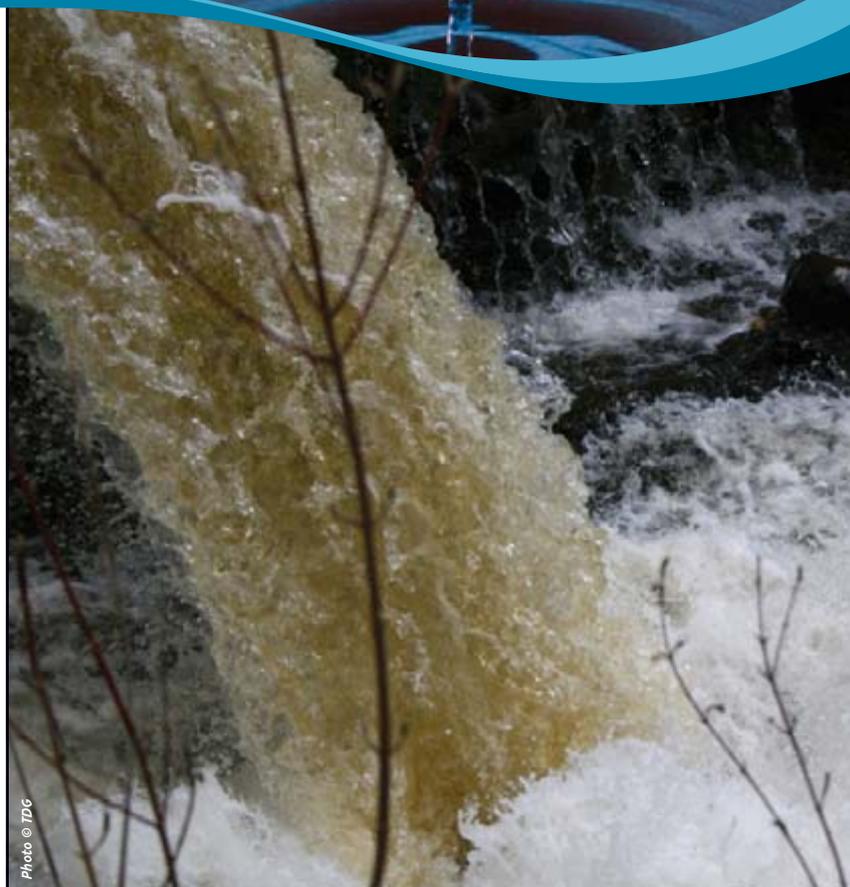
| | | | |
|--|----------------|--------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

Exemple de modules spécifiques par bassin versant de référence utilisables dans la méthode du débit spécifique

Les bassins versants du tableau ci-dessous, échantillonnés dans le cadre du réseau hydrométrique de la Guyane, ont fait l'objet d'une étude fréquentielle récente (RUF, MONFORT, 2004) pour la détermination de leur module spécifique.

Les données concernant la crique Leblond, la Tonnégrande et Saut Bernard (bassins versants inférieurs à 1.000 km²) n'ont pas fait l'objet d'étude fréquentielle compte tenu de la faible qualité de l'enregistrement des débits sur ces stations. Elles ont néanmoins été incluses comme référence, faute de mieux, dans le tableau.

Concernant les QMNA5 spécifiques, il est nécessaire de faire les calculs statistiques sur les stations voisines du projet.



| Bassin | Cours d'eau | Station | Superficie (km ²) | Débit moyen spécifique (l/s/km ²) |
|-----------------|----------------|------------------|-------------------------------|---|
| Approuague | Approuague | Pierrette | 6 105 | 38,7 |
| | | Saut Athanase | 7 525 | 38,8 |
| Comté | Comté | Saut Bief | 1 760 | 57,4 |
| Mahury | Orapu | Saut Bernard | 440 | 59,5 |
| Mana | Mana | Saut Sabbat | 10 225 | 30,7 |
| Maroni | Lawa-Litani | Antecume Pata | 10 300 | 35,0 |
| | Maroni | Grand-Santi | 34 485 | 27,1 |
| | | Langa Tabiki | 60 930 | 27,4 |
| | | Maripasoula | 28 285 | 26,3 |
| | Tampock | Dégrad Roche | 7 655 | 21,2 |
| Oyapock | Oyapock | Camopi | 17 120 | 28,3 |
| | | Saut Maripa | 25 120 | 33,1 |
| Sinnamary | Sinnamary | Petit Saut Amont | 5 880 | 40,3 |
| | | Saut Tigre | 5 150 | 43,1 |
| | | Saut Dalles | 1 855 | 32,3 |
| | | Adieu Vat | 2 430 | 43,4 |
| | Kourcibo | Saut l'Autel | 1 290 | 31,8 |
| | Crique Leblond | Crique Leblond | 730 | 27,3 |
| Rivière Cayenne | Tonnégrande | Tonnégrande ONF | 129 | 55,8 |
| Rivière Kourou | Karouabo | Pont RNI (CSG) | 76,7 | 80,7 |

Tableau 10 des modules spécifiques sur 20 bassins versants guyanais

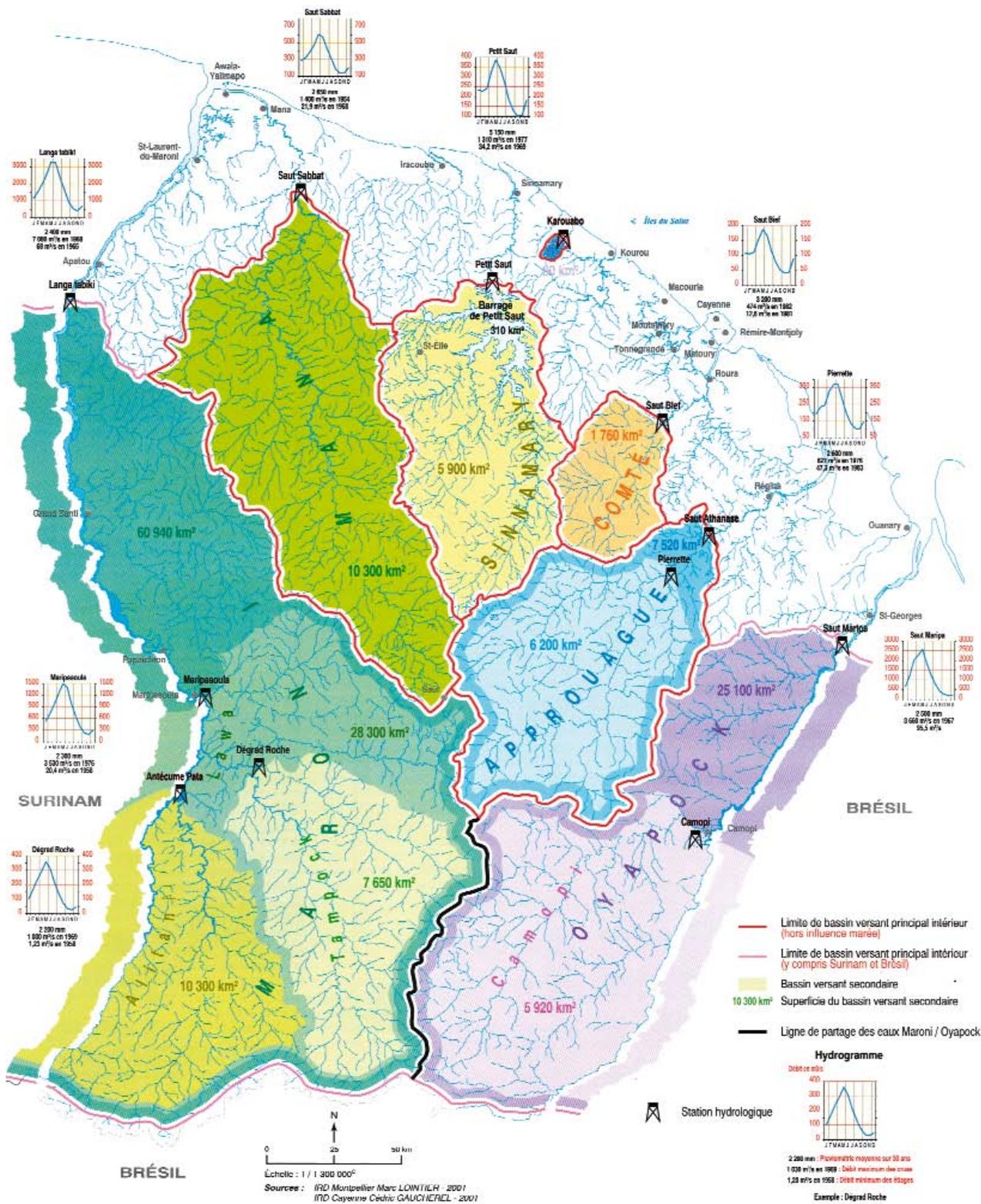


Figure 1
Répartition des stations de mesures du réseau hydrométrique guyanais

Source : Atlas illustré de la Guyane (sous la direction de Jacques Barret)

3. Une méthode bientôt disponible pour le calcul du Module et du QMNA5 : un modèle pluie-débit régionalisé au pas de temps mensuel

• Objectifs et domaine d'utilisation

La problématique pour les petits et moyens maîtres d'ouvrage reste le coût pour atteindre de manière satisfaisante les débits moyens interannuels et le QMNA5 par analyse statistique. Sauf l'utilisation du débit spécifique, il n'y a pas de méthode d'interpolation ou de méthode particulière satisfaisante directement disponible à l'heure actuelle. Il est d'intérêt général d'approcher correctement ces données qui représentent notamment le moyen pour le maître d'ouvrage de connaître l'impact de son rejet en étiage ; le QMNA5 étant aussi une donnée nécessaire pour l'intégration ou non de l'activité dans certaines rubriques de la nomenclature loi sur l'eau.

Il peut alors relever dans ce cas du rôle de l'Etat de mettre en place un modèle régional qui permettrait de calculer le débit moyen et le QMNA5 sur les bassins versants non jaugés. Il existe des modèles comme les modèles de type GR, qui, s'ils peuvent faire l'objet d'une *analyse régionale** guyanaise, pourraient rendre service à de nombreux maîtres d'ouvrages sans les affranchir, pour les moyens et grands projets, d'une collecte de données hydropluviométriques nécessaire au calage local au droit du projet. Il y aurait ainsi un gain de qualité d'évaluation dans les documents d'évaluation des incidences et impacts sans surcoût potentiel pour tout à chacun des maîtres d'ouvrages.

L'objectif est de rendre accessible ces données sur une interface SIG (système d'information géographique) en ligne. Un simple positionnement sur le cours d'eau concerné pourrait donner le QMNA5 et le module correspondant.

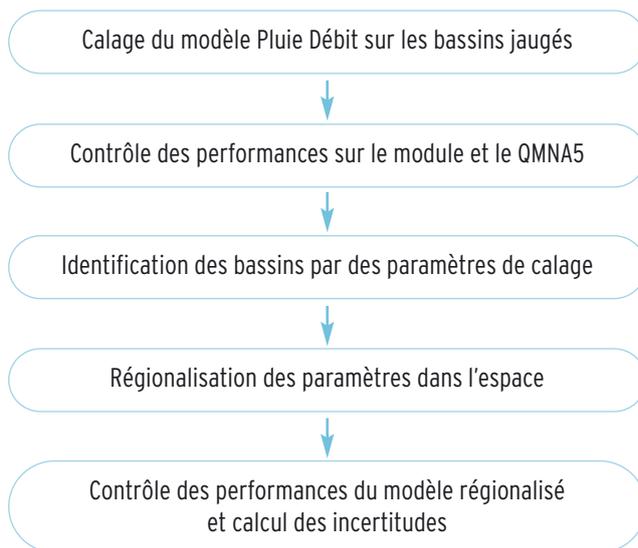
• Les descripteurs et données nécessaires au fonctionnement de la méthode régionale en Guyane

- Les chroniques de pluies au minimum au pas de temps mensuel.
- Les séries d'observations hydrométriques pour le calage.
- Les températures moyennes mensuelles.
- Les ETP moyennes mensuelles
- Des données physiographiques pour la régionalisation : un MNT, ...

Toutes les données précédentes sont présentes en Guyane. La régionalisation des pluies mensuelles peut se faire par interpolation par krigeage.

• Description rapide de la méthode

Le principe méthodologique de ce type de modèle est le suivant :



• Précisions, contraintes et limites d'utilisation

Ce type de modèle GR a été mis en œuvre avec succès dans l'hexagone sur un territoire plus grand et plus hétérogène au niveau hydrologique que la Guyane.

Néanmoins, les séries de mesures hydropluviométriques sont bien plus nombreuses dans l'hexagone et avant tout projet de mise en œuvre, il faudrait veiller à l'évaluation de la faisabilité de calage en Guyane aux vues de la faible importance des séries de données disponibles. A la date de rédaction du rapport, la faisabilité dans un autre DOM (Guadeloupe) en climat tropical vient juste d'être confirmée.

• Tableau (11) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|---------|-------------|-------------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

La mise en place et le calage du modèle est une affaire de spécialiste. Néanmoins, une fois ceci réalisé, l'utilisation des informations par les maîtres d'ouvrages et les bureaux d'études est aisée. Il serait intéressant que cette approche régionalisée soit mise en ligne sur internet avec une interface SIG dans laquelle il serait possible d'obtenir le Module et le QMNA5 à partir d'un point GPS positionné sur le cours d'eau visé. **L'objectif de la DIREN est de rendre disponible cet outil à court terme.**

2 Détermination du débit de crue décennale des bassins versants ruraux

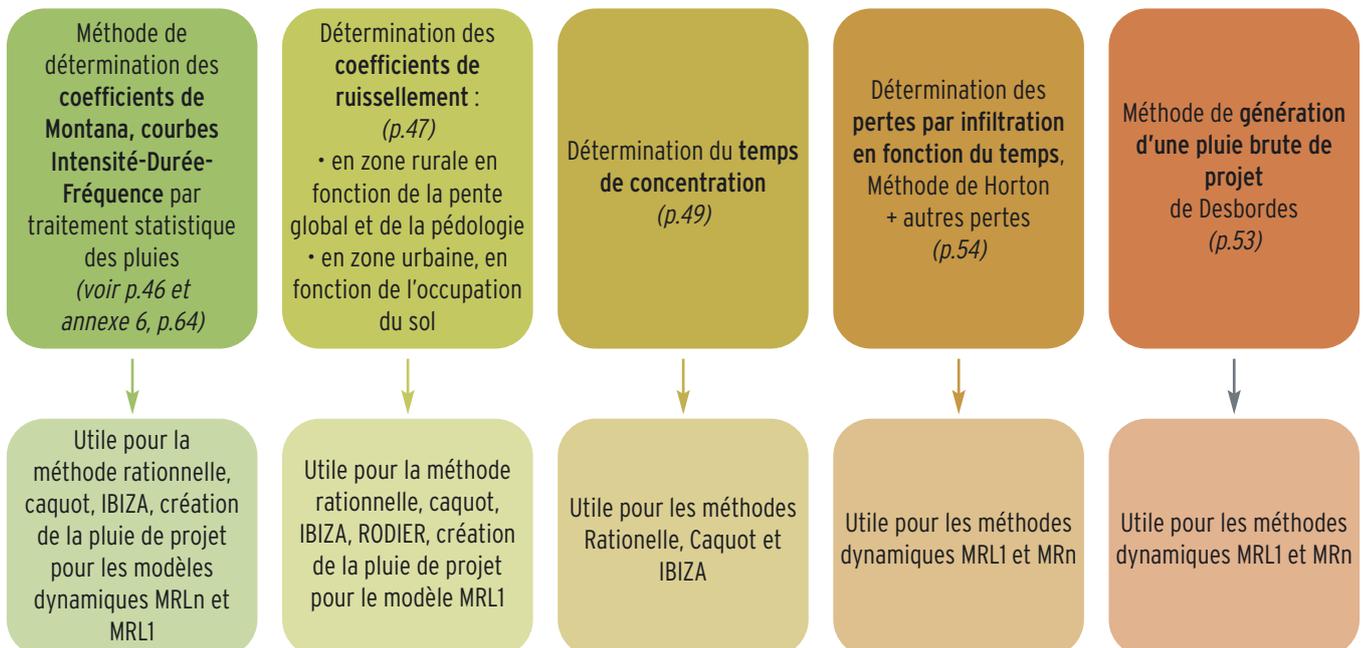
1. Tableau (12) de présentation des diverses méthodes d'estimation du débit de crue de temps de retour 10 ans en fonction de la taille des bassins versants ruraux

Le classement des bassins versants ruraux par gamme de taille s'est effectué notamment à partir de "L'hydrologie au service des travaux publics et ruraux en régions intertropicales" de (Pierre DUBREUIL, 1965), à partir de (GRAIE, 1992), (IBIZA, 1987)...

| $S_{BV} < 2 \text{ km}^2$ | $2 \text{ km}^2 < S_{BV} < 200 \text{ km}^2$ | $200 \text{ km}^2 < S_{BV} < 1.000 \text{ km}^2$ | $S_{BV} > 1.000 \text{ km}^2$ |
|---|--|---|---|
| Méthode rationnelle ($BV < 5 \text{ km}^2$) (p.28) | Méthode IBIZA (p.34) | Méthode IBIZA (p.34) | Méthode du débit spécifique et expression du débit en fonction de la surface drainée (p.37) |
| Méthode pluie-débit à n réservoirs linéaires en série (MRLn) ou en parallèle. (p.29) (exemple présenté : MRL2 p.60) | Méthode de RODIER (p.31) | Méthode de RODIER combinée avec la théorie de propagation de crue de Muskingum simplifiée. (p.36) | |
| Méthode d'allongement des séries par corrélation hydrométriques interstations (p.39) | | Calage de lois statistiques sur une série observée ou allongée d'au moins 10 ans (p.40) | |

D'autres débits (VCN30, Q crue [T=100 ans] ...) peuvent être plus pertinents que ceux proposés dans ce rapport. Ceci est fonction de la spécificité du projet. Il est intéressant dans ce cas de les définir lors du cadrage préalable.

Les données nécessaires au calcul des débits de crues ou débits pluviaux de temps de retour 10 ans font l'objet de paragraphes spécifiques :



2. Débit de crue décennale des très petits bassins versants ruraux ($S_{BV} < 2 \text{ km}^2$)

• Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans

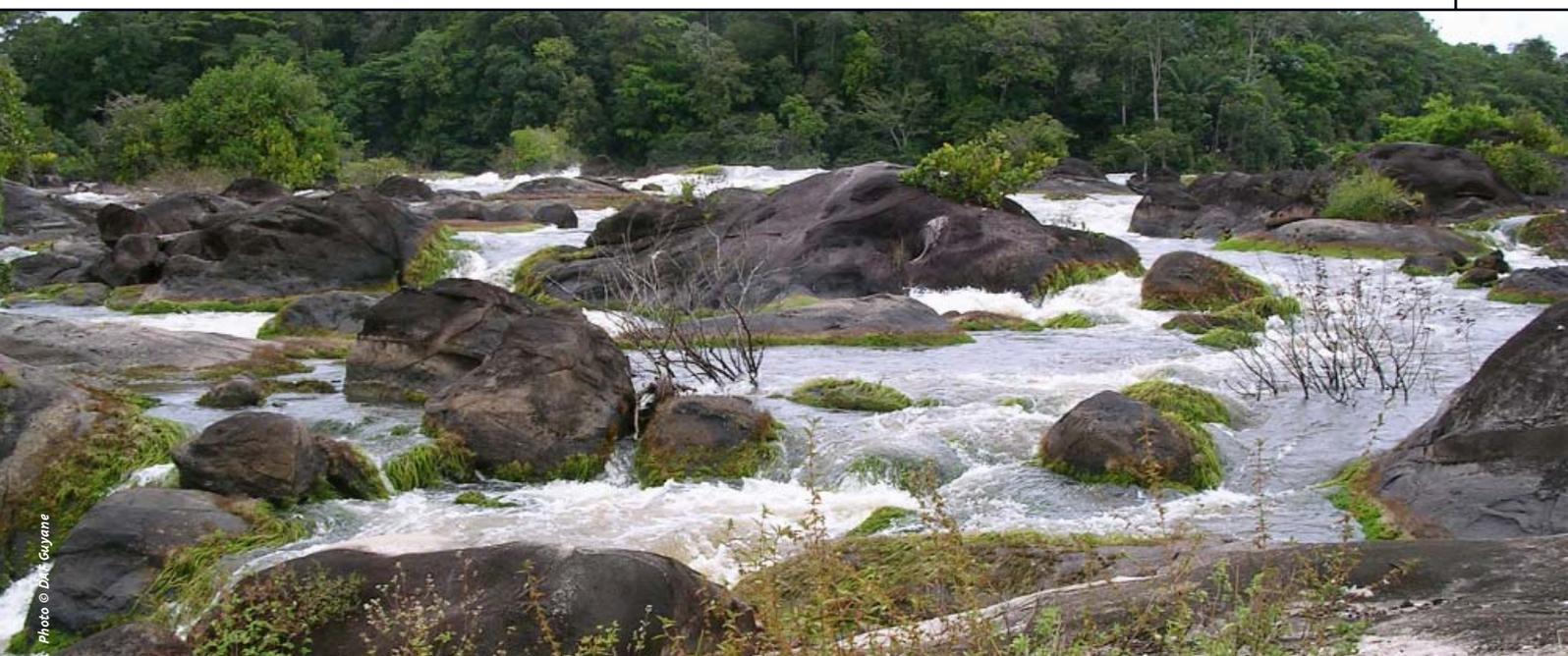
| Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural Taille du bassin versant : $S_{BV} < 2 \text{ km}^2$ | | | |
|---|---|---|--|
| Niveau d'impact | 1 | 2 | 3 |
| Exemple de méthode applicable | Rationnelle (p.28) | Rationnelle ou MRn* (plus pertinent) ou comparaison des deux | MRn (p.29) ou analyse statistique |
| Débits caractéristiques, indicateurs | | | |
| Mesures des pertes initiales (stockage dans les dépressions du sol, ...) | Modèle simple des pertes = coefficients de ruissellement (p.47) | Valeur considérée comme négligeable au regard du débit de crue décennale | |
| Pertes continues par interception (p.54) | | Valeur forfaitaire de 5,6% de la pluie incidente (Barriac et al.) | |
| Mesures des pertes continues par type de sol (p.54) | | Quelques échantillons par type de sol** | Echantillonnage moyen à important** |
| Echantillonnage des couples hydropluviométriques | | | |
| Mesures hydropluviométriques | 0 | 1 à 2 ans | 3 ans ou + |

* MRn : modèle avec n réservoir de stockage

** Les capacités d'infiltrations déterminées par essai *in situ* varient beaucoup d'un sol à l'autre, d'où la nécessité d'échantillonner chaque type, unité homogène de sol.

Tableau 13 : Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural $< 2 \text{ km}^2$

Il est utile, pour certains projets relativement importants, de procéder à un ou deux ans de mesures hydropluviométriques avant autorisation pour le calage d'un modèle MRn. Avec trois ans de mesures de débits, il est possible d'effectuer les traitements statistiques.



• La méthode rationnelle

Objectifs et domaine d'utilisation

Cette méthode permet le calcul du débit maximum à l'exutoire, par exemple de temps de retour 10 ans, d'un bassin versant de surface quelconque, urbain ou rural. Cette méthode peut être étirée jusqu'à des bassins versant ruraux (et urbain) de 5 km².

Descripteurs nécessaires à son fonctionnement

- La surface du bassin versant : "A"
- Le coefficient de ruissellement moyen du bassin versant : "C" (voir chapitre B.6.§.2 page 47)
- Les courbes Intensité-Durée-Fréquence correspondant à la pluviométrie sur le bassin versant pour déterminé la pluie de Montana $I(10) = a_{(10)} \times t_c^{b(10)}$ (voir chapitre B.6.§.1 page 46 et annexe 6, p.64)
- Le temps de concentration (voir chapitre B.6.§.3 page 49)

Contraintes et limites d'utilisation

Evaluation du coefficient de ruissellement et du temps de concentration

Le calcul est simple mais les deux principales difficultés de cette méthode concernent la bonne évaluation du coefficient de ruissellement et la bonne estimation du temps de concentration.

Risque de surévaluation

En pratique, elle peut fournir un premier ordre de grandeur du débit de pointe du temps de retour choisi, mais il ne faut rien en attendre de plus. Elle surévalue généralement le débit, fournit une approche sécuritaire voir ultrasécuritaire pouvant impliquer un surcoût d'aménagement, ce qui doit être précisé au maître d'ouvrage pour l'évaluation du coût d'aménagement (buses, bassin de décantation, rétention, ...)

Taille maximale du bassin versant

Cette méthode approximative est adaptée à cette gamme de taille de bassins versants (< 2km²) et peut être étendue jusqu'à 5 km².

Buse routière ►
dimensionnement avec le débit de crue entrant.

Photo © DAF Guyane

Description rapide et mise en œuvre

Réaliser les courbes IDF de la station pluviométrique la plus proche ou commander les paramètres de Montana à METEOFRANCE de Guyane



Calculer l'intensité $I(10) = a_{(10)} \times t_c^{b(10)}$ d'une pluie décennale de Montana d'une durée égale au temps de concentration t_c et à partir des paramètres de Montana trouvés statistiquement (voir chapitre B.6.§.1 page 46 et annexe 6, p.64)



Evaluer correctement le coefficient de ruissellement en fonction du sol, des pentes et du couvert végétal des différents sous-bassins versant homogènes



Calculer la surface du bassin versant à partir de la topographie



Appliquer la relation $Q(10) = C \times I(10) \times A$ en faisant attention aux unités utilisées

Tableau (14) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|----------------|--------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |



• La méthode de transformation pluie-débit à "n" réservoirs

Objectifs et domaine d'utilisation

Cette méthode est *modèle hydrologique conceptuel** qui permet de simuler la transformation pluie nette-débit à l'exutoire d'un bassin versant rural en utilisant par exemple « n » réservoirs en séries et d'obtenir l'*hydrogramme** correspondant à une pluie quelconque, dans notre cas décennale. Les bassins peuvent être aussi en parallèle.

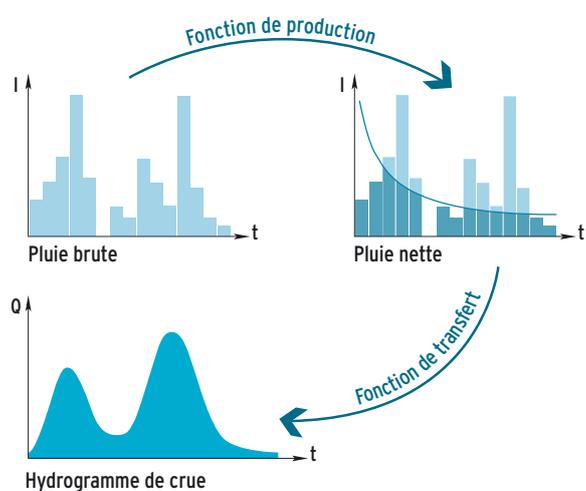


Figure II
Exemple d'une chaîne analytique simplifiée d'un modèle déterministe dynamique
Source HYDRAM

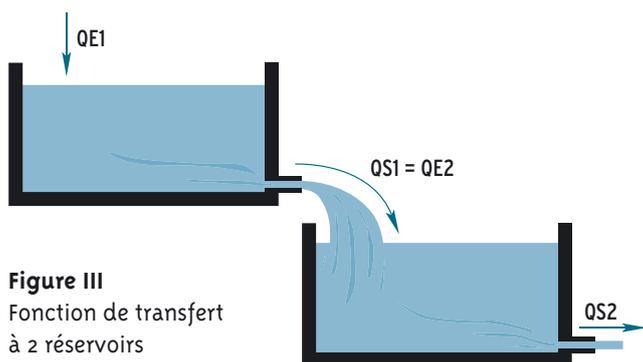


Figure III
Fonction de transfert à 2 réservoirs

Données nécessaires

- Caractéristiques des réservoirs (dépendent du type de réservoir utilisé, généralement obtenues par calage à partir de mesures)
- Les grandeurs utilisées sont :
 - K : le lag time du bassin versant (voir formulation en annexe 3, p.60)
 - Dt : le pas de temps de discrétisation de la pluie et de l'hydrogramme

Le lag time traduit le décalage dans le temps des centres de gravité du hyétogramme et de l'hydrogramme. Au mieux, il faut le prendre comme donnée de calage sur une crue et l'extrapoler pour la crue décennale. A défaut, il faut utiliser les formules métropolitaines.



Bassin de décantation :
dimensionnement par rapport au débit de ruissellement entrant
Photo © DAF Guyane

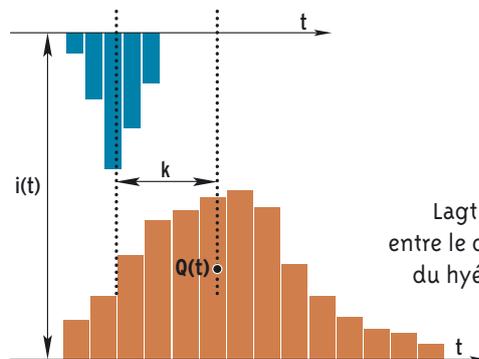


Figure IV
Lagtime K : décalage entre le centre de gravité du hyétogramme et de l'hydrogramme

Description rapide

Il s'agit d'une famille de modèle reposant sur deux équations de base : l'équation de continuité qui traduit la conservation de masse (donc du volume) et une équation de stockage reliant le volume stocké au débit de sortie et au temps :

$$Vs(t) = K \times Qs(t) \quad \rightarrow \text{Equation de stockage}$$

$$dVs(t) / dt = Qe(t) - Qs(t) \quad \rightarrow \text{Equation de continuité}$$

$Qe(t)$: débit entrant dans le système (débit de pluie)

$Qs(t)$: débit sortant du système

$Vs(t)$: volume stocké en mm dans le système et dans le réseau à un instant t

Il faut prendre pour hypothèse une réponse linéaire du bassin versant (ou pseudo-linéaire si le lag time dépend de la pluviométrie).

Les bassins versants ruraux peuvent être modélisés par une succession de deux réservoirs en série (CERTU, 2006), le débit de sortie du premier réservoir $QS1$ correspondant au débit d'entrée du second $QE2$. La sortie du second correspondant à l'exutoire du bassin versant modélisé. Le débit d'entrée $QE1$ correspond à une pluie brute discrétisée (voir chap. B.6.§.4 p.50) moins les pertes (voir chap. B.6.§.5 p.52).

Contraintes et limites d'utilisation

Fonction de production

Les modèles de ce type doivent être associés à une fonction de production fournissant un hydrogramme de pluie nette ($Q_e(t)$).
(voir chapitre B.6.§.5 page 52 sur la transformation d'une pluie brute en pluie nette).

Choix d'un modèle

Le nombre de modèles possibles (n réservoirs en séries ou en parallèles) est tel que le choix d'un modèle particulier doit se faire en se basant sur l'analogie avec une utilisation déjà existante d'un modèle particulier sur des bassins versants ruraux (voir par exemple (CERTU, 2006)). Les modèles peuvent être difficiles à utiliser. Les chaînes déterministes découlant des réservoirs linéaires restent tout de même abordables. Pour les bassins versants ruraux, "n" ne peut être égal à 1.

Avantages

- Ils offrent un tel nombre de possibilités que l'on peut toujours les utiliser quelles que soient les caractéristiques du bassin versant guyanais.
- L'avantage de cette méthode dynamique est d'atteindre des hydrogrammes $Q = f(t)$ et de pouvoir donc calculer des volumes à différents moments et à différents endroits, ce qui peut être un avantage considérable par rapport à la méthode rationnelle en cas de changement d'objectifs dans les projets d'aménagement. De plus, l'approche, plus fine, procure des résultats plus probants que la méthode rationnelle lors des calages.

Tableau (15) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|---------|--------------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

Pour en savoir plus :

La formulation du cas $n = 2$ en série est disponible en annexe 3 (p.60)

3. Débit de crue décennale des petits bassins versants ruraux ($2 \text{ km}^2 < S_{BV} < 200 \text{ km}^2$)

Pour déterminer l'hydrogramme de crue de temps de retour 10 ans en tout point d'un petit réseau hydrographique naturel en milieu rural, il existe différents types de méthode utilisant l'hydrogramme unitaire :

- Méthode de Clark
- Méthode de Nash
- Méthode du SCS
- Méthode de Rodier
- ...

La méthode de Rodier sera choisie et décrite de manière plus approfondie puisqu'elle est particulièrement adaptée à la Guyane sur les bassins versants forestiers de 2 à 200 km^2 .

La méthode d'IBIZA est moins performante, car elle est majorante et ne donne pas accès à un hydrogramme mais seulement à un débit de pointe. Elle sera tout de même présentée car elle peut servir pour des petits à moyens projets nécessitant une évaluation rapide du débit de crue sur bassins versants non jaugés. Cette méthode est adaptée aux bassins versants de 2 km^2 à 200 km^2 et aussi à ceux entre 200 km^2 et 2.000 km^2 .

Création d'un pont :

dimensionnement avec prise en compte du débit de crue.

Photo © DAF Guyane



• Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans

| Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural Taille du bassin versant : $2 \text{ km}^2 < S_{BV} < 200 \text{ km}^2$ | | | |
|--|------------------------------|--|---|
| Niveau d'impact | 1 | 2 | 3 |
| Exemple de méthode applicable | Méthode IBIZA (voir p.34) | Méthode IBIZA ou hydrogramme unitaire de RODIER (plus pertinent) ou comparaison des deux | Hydrogramme unitaire de RODIER (voir p.31) ou analyse statistique |
| Echantillonnage des couples hydropluviométriques | | | |
| Mesures hydropluviométriques | 0 | 1 à 2 ans | 3 ans ou + |

Tableau 16 : Qcrue (T = 10 ans) sur bassin versant rural de taille $2 \text{ km}^2 < S < 200 \text{ km}^2$

• Méthode de l'hydrogramme unitaire méthode de RODIER

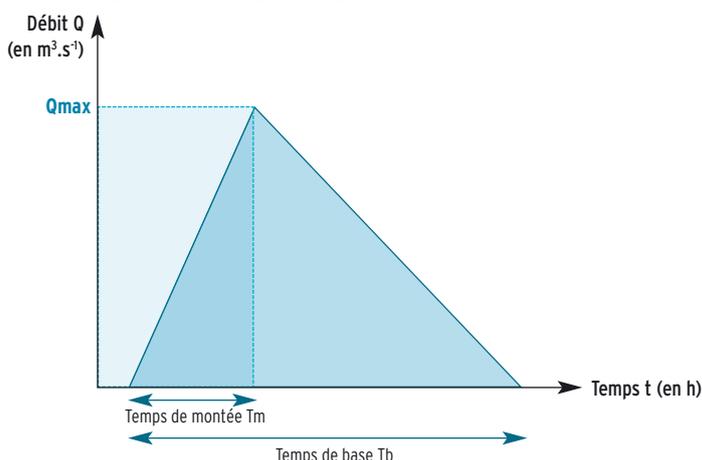
Objectifs de la méthode et son domaine d'utilisation

L'objectif est de générer un hydrogramme triangulaire de crue décennale à partir de l'analyse des pluies et des caractéristiques du bassin versant. Cette méthode vient de l'exploitation des données rassemblées par l'ORSTOM de 1956 et 1976 sur 27 bassins versants forestiers intertropicaux dont 3 guyanais (criques Virgile, Cacao et Grégoire). Cette méthode a été réalisée pour pallier le manque de série de relevés hydrométriques permettant des études statistiques directes.

L'objectif de cette méthode est d'évaluer les caractéristiques des crues de fréquences rares en étudiant quelques années sur des petits bassins versants représentatifs. L'opérateur permet de passer des pluies aux débits pour les fortes averses, et de reconstituer les crues de fréquence rare à partir de leur cause principale, les averses de caractère exceptionnel. L'averse décennale type qui a permis de généraliser ce modèle pluie-débit à une durée de cinq heures.

Schéma 2

Hydrogramme triangulaire généré par la méthode de RODIER



Les descripteurs et données nécessaires au fonctionnement de la méthode en Guyane

- **L'averse décennale sur une station identifiée.** Il est nécessaire d'avoir des données pluviométriques de qualité au plus près du projet pour le calcul de la caractéristique de la pluie décennale de durée 5 heures. En effet, les abaques du modèles sont construit à partir d'une pluie décennale de durée 5 heures.
- **Le coefficient d'abattement pour cette averse.** Le coefficient d'abattement est présenté pour des pluies moyennes annuelles inférieures à 2.500 mm. Il faut donc l'étendre jusqu'à 4.000 mm pour la Guyane. Pour un bassin versant de même surface, le coefficient d'abattement de Rodier augmente linéairement en fonction de la pluie moyenne annuelle, ce qui facilité son application à des pluies plus importantes. Il est possible de se référer aussi au coefficient d'abattement de (VUILLAUME, 1974).
- **La détermination du coefficient de ruissellement K_r** pour la crue décennale nécessite l'acquisition des caractéristiques physiographiques du bassin versant (pente globale, indice de compacité, caractéristiques géologiques et pédologiques...) pour les comparer aux divers coefficients des bassins de la typologie de RODIER. (voir page 47). Il est nécessaire d'avoir des données pédologiques relativement précises pour déterminer la répartition des différents types de sols sur les bassins versants et aussi la répartition des pentes pour calculer l'indice global de pente et déterminer le coefficient de ruissellement.



Voici l'exemple de description du bassin versant guyanais de la crique Virgile parmi les 3 bassins expérimentaux suivants échantillonnés par l'ORSTOM : la crique Grégoire sur sous-sol gneissique-migmatique avec des recouvrements en partie imperméables, la crique Virgile sur schistes avec un horizon superficiel imperméable et la crique Cacao avec un sol perméable.

BASSIN DE LA CRIQUE VIRGILE

- Sous-sol : schistes antécambriens : série de l'Orapu (séricitoschistes) nombreuses failles.
- Sols hydromorphes lessivés à gley sur alluvions fluviales sur les bas de pente et les dépressions, couvrent une partie importante du bassin (42 %).
- Sur les plateaux et les pentes, sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés et rajeunis (57 %), sol argileux peu perméable lorsqu'il est gorgé d'eau. En dessous des 20 premiers centimètres, les horizons sous-jacents argileux sont massifs.
- Un indice de pente globale de 28,4 m/km.

Tous ces éléments permettent de classer ce bassin versant dans la catégorie I de RODIER avec un Kr entre 58 et 62 %.

Pour les bassins versants côtiers, l'utilisation des données SIG de l'IRD sur la pédologie peut s'avérer utile.

- Le **temps de base*** T_b et le **temps de montée*** T_m de l'hydrogramme* en fonction aussi des caractéristiques du bassin. (voir annexe 4, p.61)
- Le **coefficient de pointe** $K = Q_{max} / M$: ce facteur est surtout fonction des facteurs géomorphologiques relatifs au bassin et à son réseau hydrographique. Q_{max} est le débit maximal de ruissellement de la crue décennale et M est le débit moyen de ruissellement calculé pour la crue décennale pendant un temps égal au temps de base.

Précisions et limites d'utilisations

Durée de la pluie

Il est nécessaire que la durée de la pluie entrant dans le modèle soit inférieure à la moitié du temps de montée. Dans le cas inverse, il faut discriminer cette pluie en averses types de durées acceptables. Il faut alors sommer les divers hydrogrammes obtenus avec un décalage de temps (RODIER, 1976). Cette transformation est bien expliquée dans l'ouvrage de REMENERIAS (1999).

Reconnaissance pédologique

Tous dans les calculs tient à la reconnaissance pédologique, qui permet de déterminer la catégorie du bassin, et à l'étude des pentes et des caractéristiques de forme, qui jouent un grand rôle sur le temps de base, donc sur le débit maximal de ruissellement Q_{max} .

Qualité des données pluviométriques

La reconstitution à l'aide de l'ajustement de ce modèle pluie/débit de la totalité des crues décennales à partir d'une série de précipitations d'une quarantaine d'années à déjà été réalisée mais le test de validation n'a pas été fait (RODIER, 1976, p.245). La transposition de ce modèle à toutes les conditions (notamment avec des données pluviométriques de mauvaise qualité) est à éviter.

Dans la conception ancienne de l'hydrologie utilisée par RODIER, l'intumescence de l'hydrogramme était majoritairement attribuée au ruissellement. L'écoulement de crue était alors considéré comme résultant de la somme de l'écoulement de base (sous l'intumescence de l'hydrogramme), correspondant à la vidange simple de la nappe, et du ruissellement, facteur prépondérant. Il était possible de voir apparaître un troisième facteur nommé écoulement hypodermique ou écoulement retardé de subsurface.

Pour des raisons pratiques, nous négligerons dans ce rapport, l'écoulement souterrain, approximation acceptable sur la majorité des bassins versants guyanais. La réponse du modèle est alors dite partielle.



Description de la méthode

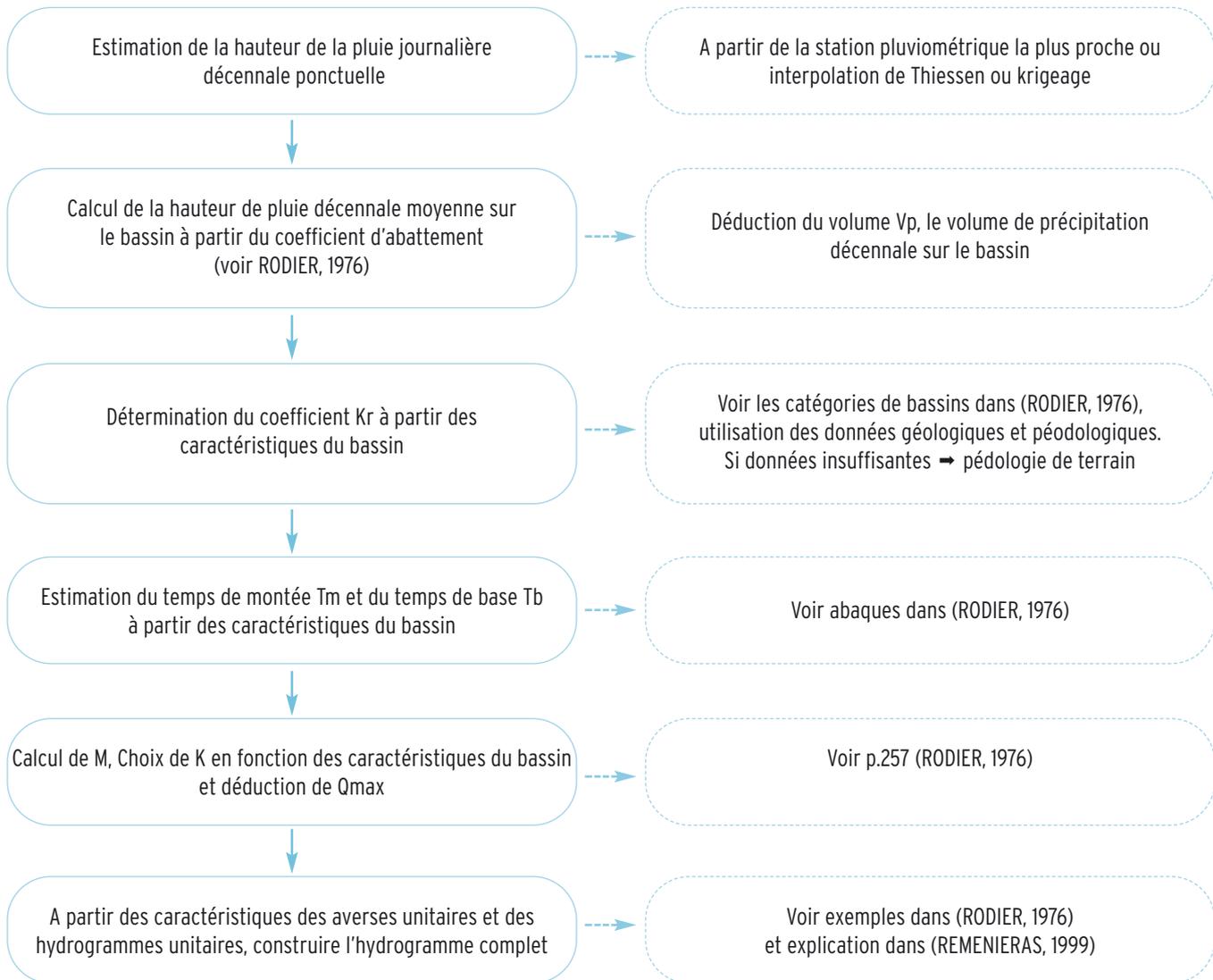


Tableau (17) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|----------------|--------------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

[Page 32] Ouvrage hydraulique en saison sèche
 Photo © DAF Guyane

◀ Cours d'eau non dérivé (Photo © DIREN Guyane)

• Méthode d'IBIZA

Objectifs de la méthode et son domaine d'utilisation

L'objectif de la méthode est d'améliorer ou de simplifier les méthodes de calcul des débits de pointe de crues Q_m et de compléter les connaissances pour mieux assujettir les modèles à la réalité physique des phénomènes. En effet, un nouveau temps caractéristique est venu remplacer le temps de concentration qui entre dans la formule rationnelle CIA, valable, elle, pour les bassins versants inférieurs à 2 km². Le temps caractéristique (temps de concentration) a fait l'objet de formulation en fonction de la pente, de la surface..., suite à des régressions multivariées à partir des 147 bassins versants en zone intertropicale étudiés par l'ORTSOM extraits de "Recueil des données de base des bassins versants représentatifs et expérimentaux, de 1951-1969" (P. DUBREUIL et al., 1972).

Les descripteurs et données nécessaires au fonctionnement de la méthode en Guyane

- La pluie maximale $p(\theta)$ lue sur la courbe intensité-durée θ de fréquence choisie (par exemple décennale). A partir de la courbe Intensité-durée-fréquence décennale de la station guyanaise la plus proche, l'intensité choisie est celle qui correspond au temps de concentration θ
- Le coefficient d'abattement de la pluie sur cette séquence pluvieuse de durée θ est à calculer à partir de la formule empirique établie en zone intertropicale dans (VUILLAUME, 1974).
- La pente globale IG.
- Le temps de concentration θ . (voir p.49)
- Le coefficient de ruissellement C (dans notre cas lié à une pluie décennale). (voir p.47)
- A : la surface du bassin versant.

Description de la méthode

Calcul de θ : voir partie sur le temps de concentration (p.49)

Calcul de la pluie maximale $p(\theta)$ lue sur la courbe intensité - durée de fréquence voulue

Abattement de la pluie pour obtenir la pluie maximale moyenne $P_b(\theta)$ sur le bassin versant

Détermination de C et de A

Majoration de Q_m par $C \times I_b(\theta) \times A$

Précisions et limites d'utilisations.

La méthode a fait l'objet d'une régionalisation au contexte du climat équatorial et la formulation du temps de concentration par régression multivariable sur 33 bassins versants en contexte équatorial donne un très bon coefficient de corrélation.

La formulation du temps de concentration permet de visualiser les influences respectives de la pente et de la surface du bassin versant en climat équatorial.

Cette formule majorante ne donne qu'un ordre de grandeur, il ne faut rien attendre de plus, son caractère sécuritaire peut amener, comme la formule rationnelle, à un surdimensionnement des ouvrages et donc à un surcoût.

Tableau (18) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|----------------|----------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

Rizières et bourg de Mana



4. Débit de crue décennale sur les moyens bassins versants ruraux (200 km² < S_{BV} < 1.000 km²)

• Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans

| Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural Taille du bassin versant : 200 km ² < S _{BV} < 1.000 km ² | | | |
|---|-------------------------|---|--|
| Niveau d'impact | 1 | 2 | 3 |
| Exemple de méthode applicable | Méthode IBIZA (p.34) | Méthode IBIZA ou Rodier + Muskingum (plus pertinent) (p.36) | Corrélation interstations ou hydropluviométriques + traitement statistique (voir pp. 39-40) |
| Echantillonnage des couples hydropluviométriques | | | |
| Mesures hydropluviométriques | 0 | 1 à 2 ans | 3 ans ou + |

Tableau 19 : Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural de taille 200 km² < S < 1.000 km²

• Méthode IBIZA

Cette méthode présentée page 34 est aussi adaptée pour les bassins de 200 à 1.000 km² (étirable jusqu'à 2.000 km²).

• Méthode de Rodier avec théorie de propagation de crue

La méthode de Rodier exposée préalablement est adaptée aux bassins versants de 2 à 200 km².

Lorsque le bassin étudié dépasse les 200 km², il est plus sûr de calculer les *hydrogrammes** afférents à chacun des principaux affluents et de les combiner ensuite, compte tenu de la théorie de la propagation des crues, pour obtenir la courbe des débits à l'exutoire (REMENIERAS, 1999). Les méthodes de propagation de crue utilisables sont par exemple la méthode de Muskingum ou les équations de Barré-Saint-Venant.

Nous présenterons ici la méthode de Muskingum simplifiée.

Objectifs et domaine d'utilisation

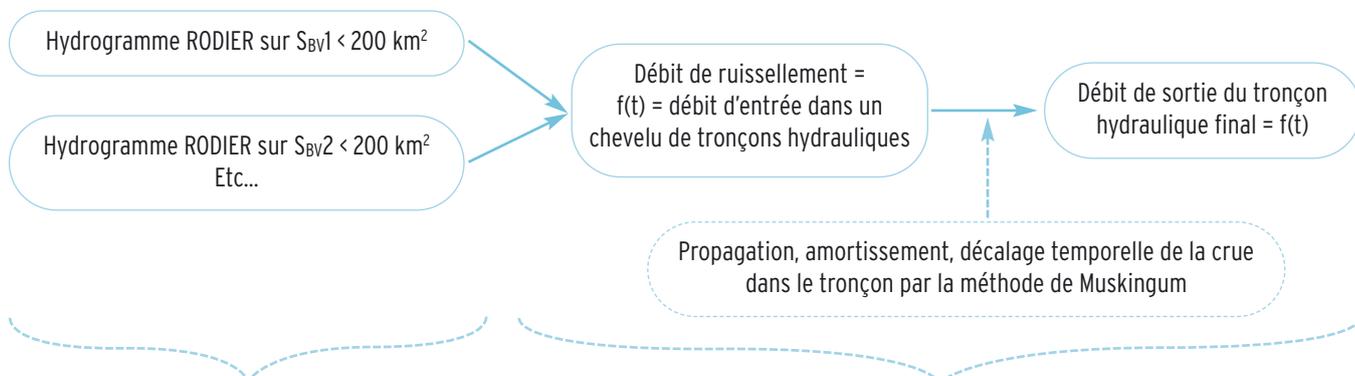
Cette méthode permet de calculer l'hydrogramme sortant d'un tronçon de rivière si l'on connaît l'hydrogramme qui y rentre. La méthode de Muskingum représente le décalage temporel et l'amortissement lors de la propagation de la crue (GRAIE, 1992).

Dans le cadre d'un nombre relativement important de tronçons et de bassins, il est généralement nécessaire de l'utiliser dans le cadre d'un programme informatique après découpage du site d'étude en éléments de production (bassins versants sur lesquels on représente la transformation pluie-débit comme par exemple la méthode de l'hydrogramme unitaire) et en éléments de transfert (tronçons de rivière homogènes).

Les descripteurs et données nécessaires au fonctionnement de la méthode en Guyane

- Temps moyen de transfert de l'onde dans le tronçon à modéliser : K. (voir calcul dans le paragraphe suivant)
- Le pas de temps Dt de discrétisation de l'hydrogramme d'entrée.

Description rapide de la méthode hydraulique de Muskingum



Hydrologie

Hydraulique* fluviale simplifiée

Discrétiser l'hydrogramme d'entrée dans le tronçon selon un pas de temps constant (généralement même pas de temps que le hétéogramme qui a servi à le générer)

Présenter chaque hydrogramme d'entrée dans un tableau de valeurs : $QE1, QE2, \dots, QEi$, etc.

Calculer l'hydrogramme de sortie par une relation de la forme
 $Q_{Si+1} = C1 \times QE1 + C2 \times QE_{i+1} + C3 \times Q_i$
 Pour la formule, calculer $C1, C2$ et $C3$, constants pour un tronçon et un événement. Ils sont dépendant de K et du pas de temps. Leur formulation est présente dans (GRAIE, 1992)

- $C1 = (2K \times r) / (2K \times (1 - r) + Dt)$
- $C2 = (Dt - (2K \times r)) / (2K \times (1 - r) + Dt)$
- $C3 = (K \times (1 - r)) / (2K \times (1 - r) + Dt)$
- r peut être choisi voisin de 0.8. En fait le modèle est assez peu sensible à ce paramètre. Le modèle est par contre sensible au pas de temps Dt (6 minutes ou moins) et au pas spatiale (tronçon unitaire entre 100 m et 300 m).
- K peut être approximé par la relation : $K = L / V$
- Avec L : longueur du tronçon et V : vitesse en régime uniforme correspondant à un débit égal à 80 % du débit maximum de l'hydrogramme d'entrée.
- V peut être calculé par les formules classiques de l'hydraulique, en fonction de la pente du tronçon, de la forme du profil en travers et de la rugosité.

Pour les formules d'hydrauliques, il est possible d'utiliser la combinaison des formules de Manning Strickler et ceci en fonction de la rugosité différentielle du lit majeur et du lit mineur (avec l'hypothèse qu'en pluie décennale, le lit majeur est ennoyé).

Contraintes et limites d'utilisation

Cette méthode peut conduire à des erreurs importantes dans le cas d'écoulements fluviaux pour des tronçons à pente faible ou dans le cas de fortes influences aval, ce qui est le cas notamment pour les cours d'eau côtiers. Cette méthode est plus simple mais moins performante que les équations de Barré-Saint-Venant. Les deux méthodes sont sensibles à la qualité du calage.

L'hétérogénéité naturelle de la pluie et sa mobilité sur un ensemble de bassins versants de plus de 200 km², font que les conclusions de cette méthode devront être utilisées avec prudence. En effet, il n'est pas inclus de paramétrage sur la propagation spatiale et temporelle de l'onde de pluie.

Tableau (20) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|---------|--------------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

5. Débit de crue décennale sur les grands bassins versants ruraux ($S_{BV} > 1.000 \text{ km}^2$)

• Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans

| Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural Taille du bassin versant : $S_{BV} > 1.000 \text{ km}^2$ | | | |
|---|--|-----------|--|
| Niveau d'impact | 1 | 2 | 3 |
| Exemple de méthode applicable | Utilisation des courbes Qcrue (T=10 ans) = f(S) (voir p.37) | | Corrélations interstations + traitement statistique (voir pp. 39-40) |
| Echantillonnage des couples hydropluviométriques | | | |
| Mesures hydropluviométriques | 0 | 1 à 2 ans | 3 ans ou + |

Tableau 21 : Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant rural de taille $> 1.000 \text{ km}^2$

Cette limite inférieure de gamme de bassins versants (1.000 km^2) est environ celle qui correspond à la taille limite des bassins versants correctement échantillonnés par le réseau hydrométrique guyanais. Les études fréquentielles correspondantes sont nombreuses et renouvelée environ tous les dix ans. Ces études sont des monographies hydrologiques pour chaque grand bassin.

• Méthodes des débits exprimés en fonction de la surface du bassin versant pour les bassins versants insuffisamment ou non jaugés

On trouve dans les études fréquentielles réalisées en Guyane, outre des données issues de l'analyse ponctuelle aux stations du réseau et les éléments du régime hydrologique*, une synthèse étendue à la surface étudiée mettant en évidence la variation des dits éléments avec la superficie drainée. La détermination du débit décennal (fonction de la surface), pour un cours d'eau et une station donnés est alors relativement facile.

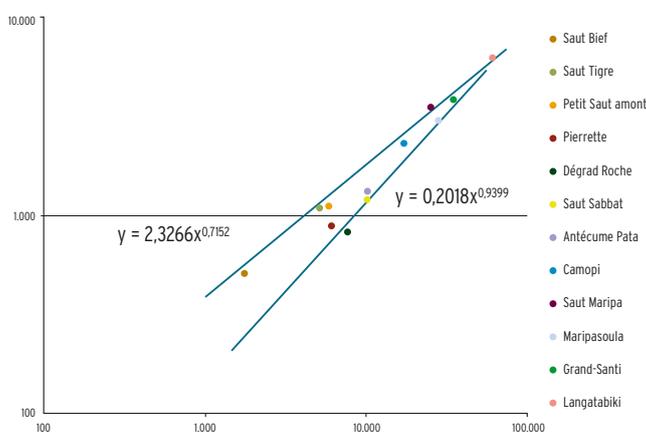


Figure V

Variation du débit de crue décennale en fonction de la superficie du bassin versant

Source RUF, MONFORT, 2005

Le graphique $Q = f(S)$ représenté montre deux courbes enveloppes de la forme $\log Q = \log a + b \cdot \log S$, avec Q le débit en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et S la surface du bassin versant en km^2 . Ramené à la forme exponentielle, la courbe enveloppe supérieure est de la forme $y = 2.366 x^{0.7152}$ et la courbe enveloppe inférieure est de la forme $y = 0.2018 x^{0.9399}$. Tous les grands bassins versants guyanais se situent entre ces deux courbes, sachant que plus le bassin versant est grand, plus la précision du calcul est grande.

• Tableau (22) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|----------------|--------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

6. Détermination des débits de crue vingtennale, cinquennale, centennale sur les bassins versants guyanais à partir des crues décennales

Le débit de crue visé par les méthodes précédentes était le débit décennal. Pour atteindre les autres débits de crue rares, il peut être utile de déterminer simplement un facteur entre le débit de crue décennal et les débits de crue de temps de retour supérieur. Il peut alors être considéré comme acceptable que ce facteur calculé sur les grands bassins versants de plus de 1.000 km² puisse être affecté au petit bassin versant de moins de 1.000 km².

| STATION | Débits de crue (m ³ /s) | | | |
|-------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Q10 | Q20/Q10 | Q50/Q10 | Q100/Q10 |
| Pierrette | 893 | 1,11 | 1,26 | 1,36 |
| Saut Bief | 502 | 1,10 | 1,24 | 1,34 |
| Saut Sabbat | 1 268 | 1,07 | 1,19 | 1,24 |
| Antécume Pata | 1 314 | 1,07 | 1,14 | 1,19 |
| Grand-Santi | 3 807 | 1,07 | 1,14 | - |
| Langa Tabiki | 6 226 | 1,04 | 1,09 | 1,12 |
| Maripasoula | 3022 | 1,06 | 1,14 | 1,18 |
| Dégrad Roche | 832 | 1,06 | 1,12 | 1,15 |
| Camopi | 2 308 | 1,06 | 1,13 | - |
| Saut Maripa | 3 514 | 1,10 | 1,22 | 1,31 |
| Petit-Saut Amont | 1 095 | 1,06 | - | - |
| Saut Tigre | 1 076 | 1,08 | 1,18 | - |
| Adieu Vat | 550 | 1,07 | 1,17 | - |
| Tonnégrande ONF | 67 | 1,06 | - | - |
| MOYENNE | | 1,07 | 1,17 | 1,24 |
| ECART TYPE | | 0,02 | 0,05 | 0,09 |

Tableau 23 du ratio crues pluridécennales sur crues décennales

Lorsque la série d'observation est inférieure à 3 fois le temps de retour, la donnée a été exclue du tableau.

On remarque une zonation ouest-est avec une augmentation des rapports du Maroni à l'Oyapock (en excluant la station de Camopi où l'on peut soupçonner une influence d'une confluence sur le fonctionnement de la station hydrométrique).



Méthodes valables pour les grands projets sur toutes les gammes de taille de bassins versants

1. Méthode de corrélation entre des séries hydrométriques de deux stations hydrométriques

Cette méthode a par exemple été utilisée en Guyane dans les années 90 sur les bassins de plus de 1.000 km² pour combler les manques de données et allonger les débits moyens journaliers sur certaines stations hydrométriques sur le Sinnamary dans le cadre du barrage de Petit Saut. Elle peut tout à fait être transposée sur des bassins de taille de l'ordre de la gamme 200 à 1.000 km² dans le cas de conditions physiographiques relativement analogues. Il peut même être considéré comme acceptable de les étirer sur des bassins versants plus petits, à partir du moment où les coefficients de corrélation obtenus sont suffisants.

Cette méthode a été utilisée dans l'étude sur l'analyse fréquentielle des débits et régimes hydrologiques (HIEZ, DUBREUIL, 1964). En effet, une fois la série initiale d'observations (généralement plus de 3 ans d'échantillonnage hydrométrique) allongée par corrélation à partir de celle d'une station ayant été échantillonnée sur plus de 10 ans, il est possible d'effectuer les analyses statistiques. Il est ainsi possible de calculer les débits visés par le présent guide : Module, QMNA5 et débit de crue de temps de retour 10 ans. Cette méthode n'est utilisable que pour les grands projets où les débits journaliers sont échantillonnés pendant au moins 3 ans.

Les relations logarithmiques linéaires de la forme "M2 = a M1 + b" ont été admises dans ces diverses études et fonctionnent bien en Guyane pour les débits journaliers, même pour des bassins versants relativement éloignés (comparaison par exemple entre les valeurs M2 d'une station hydrométrique sur la Mana et celles M1 correctement échantillonnées de la station Langa Tabiki sur le Maroni). Les coefficients de la relation peuvent être simplement trouvés par la méthode des moindres carrés en utilisant un logiciel tableur.

Le travail de comparaison des séries d'observations entre bassins est possible en Guyane avec une dizaine d'année de mesures sur la station prise comme référence (contre 20 ans par exemple pour l'étude des régimes tropicaux d'Afrique centrale) de part l'homogénéité des régimes hydrologiques des cours d'eau en zone forestière guyanaise.

La limite de la méthode est qu'il n'est pas possible de travailler sur bassin versant non jaugé, il faut qu'il soit partiellement jaugé pendant au moins 3 ans pour pouvoir faire la corrélation.



Photo © TDG

• Tableau (24) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|----------------|--------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

2. Détermination des débits par les méthodes statistiques à partir de séries d'observations sur bassins versants jaugés ou insuffisamment jaugés

Les méthodes statistiques sont adaptées aux cours d'eau correctement ou partiellement échantillonnés (séries observées ou allongées sur au moins dix ans). La majorité des stations du réseau hydrométrique sont correctement jaugées et fournissent un échantillon suffisant d'au moins dix ans permettant de caler des lois statistiques. Une loi peut s'adapter à plusieurs types de débits (module, étiage, crue).

Pour en savoir plus :

Plutôt que de présenter les différentes lois (Weibull, Gumbel, Gibrat-Gauss, ...) et des exemples d'utilisations, nous invitons les utilisateurs à se référer à l'introduction "Statistiques et calcul des probabilités en hydrologie" de l'ouvrage (ROCHE M, 1963) dont l'objectif est de permettre l'application par le lecteur lui-même et notamment la conduite des calculs jusqu'au résultat numérique.

Pour l'entraînement sur des exemples, nous conseillons aussi de se référer à la partie "Les méthodes statistiques basées sur l'analyse de la fréquence des crues" de l'ouvrage (REMIERAS, 1999) qui développe deux exemples numériques sur un ajustement par la loi de Gumbel et sur un ajustement par la loi de Galton. Il est utile d'utiliser les logiciels de gestion de données, caractérisation de l'échantillon, traitement statistique (exemple : Hydracess et SAFARHY). Ces différentes lois ont servi pour l'étude fréquentielle (RUF-MONFORT, 2004), étude réalisée sur les stations hydrométriques existantes.

• Tableau (25) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|---------|--------------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

Photo © TDS / PC

Hydrologie urbaine et détermination de l'hydrogramme de ruissellement de pluie de temps de retour 10 ans

1. Tableau (26) d'orientation pour le débit d'eaux pluviales de pluie de temps de retour 10 ans concernant les bassins versants urbains

| Qcrue (T=10 ans) sur bassin versant urbain Taille du bassin versant : $S_{BV} < 2 \text{ km}^2$ | | | |
|--|--|--|-------|
| Niveau d'impact | 1 | 2 | 3 |
| Exemple de méthode applicable | Caquot (p.41) ou rationnelle (p.34) | Idem niveau 1 ou MRL1* (plus pertinent) (p.42) ou comparaison des deux | MRL1* |
| Echantillonnage des couples hydropluviométriques | | | |
| Dépend de la sensibilité du milieu récepteur, de l'importance du projet... | | | |

*Modèle du réservoir linéaire (1 réservoir)

2. Méthode non dynamique de Caquot pour $BV < 2 \text{ km}^2$ et pour $C > 20\%$

• Objectifs et domaine d'utilisation

Cette méthode permet le calcul du débit maximum de période de retour T (dans notre cas 10 ans) à l'exutoire d'un bassin versant urbain équipé d'un réseau d'assainissement.

• Les descripteurs et données nécessaires au fonctionnement de la méthode en Guyane

- Surface du bassin versants : "A"
- Coefficient d'imperméabilisation : "C" (voir annexe 1, p.56)
- Longueur du plus long parcours de l'eau : "L"
- Pente du plus long parcours de l'eau : "I"
- "a" et "b" issus d'un ajustement de type Montana des courbes IDF. (voir annexe 1, p.56 et annexe 6, p.64).

• Description rapide et mise en œuvre

Le débit maximum de fréquence F (ou période $T = 1/F$) se déduit de la formule :

$$Q(F) = k^{1/u} \times I^{v/u} \times C^{1/u} \times A^{w/u}$$

Avec k, u, v, w qui dépendent de a et b.

Attention : les coefficients a et b doivent venir du traitement statistique de pluies locales et non pas de l'instruction interministérielle de 1977 !!



Ce débit maximum Q_p doit être corrigé en un débit Q_p' par un coefficient « m » fonction de l'allongement M du bassin :

$$M = L / A^{1/2}$$

$$Q_p' = m \times Q_p \text{ où } m = (M/2)^{0.7 \times b(T)}$$

Attention : Pour M (sans unité), L et A doivent être d'unités comparables

Pour en savoir plus :

- Chocat B. (1997) "Encyclopédie de l'Hydrologie urbaine et de l'Assainissement", Editions Lavoisier.
- Musy A. (2003) "Cours d'Hydrologie générale", Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM), Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), École polytechnique Fédérale [EPFL].
- SOGREAH (1999) "Notice 1999 du logiciel de Canoë"

• Contraintes et limites d'utilisation

Cette méthode ne peut être appliquée que sur des bassins versants urbains vérifiant les conditions suivantes :

$A < 2 \text{ km}^2$; $C > 20 \%$; $2\% < I < 5\%$.

Elle peut conduire à des erreurs importantes si le réseau fonctionne mal, en particulier s'il se met en charge ou s'il déborde ou s'il comporte des ouvrages spéciaux.

Pour plus de renseignements sur la méthode, il est possible de se référer à l'instruction technique de 1977, circulaire interministérielle 77-284 relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations.

• Tableau (27) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|----------------|--------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

• Développement de la formulation de la méthode

$$I(t,F) = a(F) \times t^{b(F)} ; K = 0.5^{b(F)} \times a(F)/6.6 ; u = 1 + 0.287 \times b(F) \\ v = -0.41 b(F) ; w = 0.95 + 0.507 \times b(F)$$

Unités :

- A en hectares
- C entre (0 et 1)
- t en minutes
- I en mètres par mètre, i en mm/minutes
- Q en m³/s
- a (F) et b (F) les coefficients de Montana à la fréquence souhaitée

Attention : a et b doivent être calculés en fonction d'études statistiques des pluies locales. En attendant, il est possible de les calculer à partir des données incluses dans l'annexe 6 sur les paramètres de Montana en attendant les calculs de METEOFRACTANCE.

Même en intégrant les coefficients de Montana dans la formule de Caquot, les autres coefficients restent adaptés à un réseau d'égouts parisien et sous-estiment donc les débits décennaux (Brunet-Moret Y. (1963-1968)), (Rodier,1977).

3. Modèle dynamique de transformation pluie-débit dit du réservoir linéaire

Cette approche comparée à la précédente, permet d'approcher correctement les notions des volumes et de temps de transit.

• Objectifs et domaine d'utilisation

Cette méthode permet de calculer l'hydrogramme produit par un bassin versant urbain soumis à une précipitation définie par son *hyétogramme**. La construction d'un bon hyétogramme d'entrée est importante. Il est utile de se rapporter par exemple à la méthode de Desbordes (voir p.50 et annexe 5, p.63).

Ce modèle s'utilise aussi en décomposant le site d'étude en éléments de production et de transfert (GRAIE, 1992) avec un programme informatique et un SIG comme le modèle de Muskingum (voir paragraphe 8.3.2 page 49).



Bief urbain à balata : cours d'eau ou fossé ?

Photo © DAF Guyane

• Descripteurs nécessaires pour le fonctionnement de la méthode

Ces descripteurs sont les mêmes que ceux décrits dans le chapitre B.2.§.1 (p.26) concernant la méthode de stockage à "n" réservoirs.

• Description rapide

Discrétiser le hyétogramme d'entrée
selon un pas de temps constant



Présenter le hyétogramme dans un tableau de valeurs :
I1, I2, I3, ..., Ii, ...



Calculer l'hydrogramme produit par une relation de la forme
 $QS_{j+1} = C1 \times Qe_{j+1} + C2 \times QS_j$
Pour la formule, calculer C1, C2, constants pour un bassin et
un événement. Ils sont dépendant de K et du pas de temps.
Leur formulation est présentée dans (GRAIE, 1992)

La formulation de la méthode du réservoir linéaire a été développée dans le paragraphe sur la méthode de stockage à "n" réservoirs (voir p.29 et annexe 3, p.60) sur l'exemple de deux réservoirs linéaires en série.

• Contraintes et limites d'utilisation

Ce modèle suppose une réponse linéaire du bassin versant. Il convient relativement bien pour des bassins versants urbains (imperméabilisation supérieure à 20 %), équipés d'un système de drainage, petits (surface de quelques dizaines d'hectares) et homogènes.

Son extension à d'autres cas est délicate et il est souvent préférable d'utiliser des modèles à plusieurs réservoirs (comme par exemple en milieu rural). Il est conseillé par exemple en zone péri-urbaine de prendre le double du lagtime.

Sur un bassin versant mélangeant zone rurale, péri-urbaine, et urbaine, il est possible de combiner l'utilisation de plusieurs type de modèles à n réservoirs linéaires avec différent lagtime et d'intégrer un modèle de transfert avec la méthode de muskingum ou en prenant les équations de Barré-Saint-Venant notamment quand il y a une influence aval de la marée.

• Tableau (28) de cotation de la méthode

| | | | |
|--|---------------|--------------------|------------------|
| Facilité de mise en œuvre | Facile | Moyenne | Difficile |
| Degré de spécialisation | Général | Spécialisée | Très spécialisée |
| Qualité générale et intérêt pour la Guyane | Faible | Moyen | Fort |

Photo © TDG

Spécificité des petites criques littorales et des zones basses. Recherche de sensibilité des débits par modèle dans une optique de connaissance et de gestion des zones humides côtières (LOINTIER, 1996) : l'exemple de la Karouabo

1. Objectif de la simulation des variations du volume d'eau et de la profondeur d'un marais côtier à drain unique

Il était nécessaire de développer un modèle simple de fonctionnement de marais élémentaire (de surface comprise entre 1 et 15 km²), à drain unique, appartenant au système de la basse plaine côtière, pour quantifier les variations de hauteur du plan d'eau et de volume, dans différentes configurations d'alimentation. Il fallait aussi réaliser une modélisation qui respecte les ordres de grandeur connus ponctuellement par les investigations de terrain, tout en pouvant faire varier certains paramètres géométriques comme la distance à la mer et la cote IGN du fond du marais.

Afin de disposer de données réelles pour la conception, Marc LOINTIER a choisi le cas du marais aval de la Karouabo qui correspond au cas générique du marais à faibles relations avec l'océan. Les débits d'entrée dans le marais sont connus sur plus de quatre années, au pas de temps journalier, et les hauteurs marées ont été calculées au pas de temps bi-horaire avec un logiciel de prédiction du SHOM (Service Hydrographique de la Marine), paramétré pour la zone de Kourou. Les entrées et les sorties océaniques ont été calculées à partir d'une formule de l'hydraulique (Chézy).

Savane inondée à Kaw

Photo © Olivier Tostain

2. Descripteurs et données de terrain à acquérir

Pour les marais, zones humides en général, hors influence de la marée

- Hauteur d'eau, hydropériode (dh/dT)
- Surface des zones d'eau libre (variations temporelles et spatiales)
- Volume par utilisation d'un MNT et de l'information de surface
- Débits entrant/sortant du système ; quand mesurables, on en déduit le temps de renouvellement ($t-1 = Q/V$) et temps de résidence ($t = V/Q$)

Pour les marais, zones humides en général, sous influence de la marée

Cuvettes, stockage d'eau :

- Hauteur d'eau
- Débits entrant/sortant du système

Bilan : par modélisation de l'hydrodynamique et la connaissance de la pluviométrie.

Drains, chenaux de marée, estuaires :

- Hauteur d'eau,
- Pente de la ligne d'eau (m.m-1),
- Débit oscillant,
- Dérive résultante (m.s-1),
- Volume oscillant (m³.s-1).

3. Description du modèle utilisé

Le schéma général du modèle propose un calcul du volume d'eau contenu dans le marais en fonction :

- des apports positifs ou négatifs de l'océan par formule hydraulique ;
- des débits d'entrée connus par mesure hydrologique ;
- des apports par la pluie ;
- des pertes par évaporation.

Les pertes par infiltration ont été négligées à cause d'un substratum qui n'est pas bien identifié dans les parties aval : en effet, d'après les missions de terrain, il est apparu que les marais aval à *Eleocharis* comportent une tranche d'eau de l'ordre de 50 cm où se développe une zone racinaire dont la densité permet le déplacement à pied, puis en dessous, sur une profondeur de plus de deux mètres, une zone de mélange progressif d'eau et de vase.

Il a été retenu les données d'entrée suivantes :

- **Apports du bassin-versant** : données de débits moyens journaliers mesurés à la station limnigraphique de la Karouabo.
- **Apports de l'océan et vidange vers la mer par un drain** : la cote océanique par rapport au "zéro marin" et la cote du marais (recalée par rapport au "zéro marin") permettent de calculer la pente de la ligne d'eau (S) et d'estimer les volumes entrants et sortants par un calcul hydraulique utilisant la formule de Chézy qui relie les paramètres hydrauliques entre eux :

$$\frac{v}{Rh^{2/3}} = \frac{Q}{A.Rh^{2/3}} = \frac{S^{1/2}}{n} = K$$

- avec :
- v : vitesse moyenne de l'eau
 - A : aire de la section transversale du drain
 - S : pente de la ligne d'eau
 - n : coefficient de rugosité de Manning
 - Rh : rayon hydraulique
 - K : constante

- **Pluviométrie sur la surface du plan d'eau** (valeurs relevées au pluviomètre de Kourou CSG).
- **Evaporation à la surface du plan d'eau** : données climatologiques de la station Kourou CSG, permettant le calcul de l'évaporation d'une nappe d'eau libre ou le calcul de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Penman. Le choix entre ces deux options pourrait être fait selon le type de plan d'eau, soit en nappe d'eau libre, soit recouvert de végétation importante. L'incidence de ce paramètre en terme de flux, est si peu importante dans les calculs (1%), qu'il a été retenu une valeur moyenne de l'évaporation journalière mesurée à la station climatologique.
- **Coefficient de Manning pour le calcul des échanges océaniques** : celui-ci a été estimé à partir des jaugeages effectués à la station de la Karouabo où la pente de la ligne d'eau et les conditions hydrauliques sont bien connues. Néanmoins, ce paramètre a une grande sensibilité et varie entre 0,019 (forts débits) et 0,6 (très faibles débits). Il a été choisi de le faire varier en fonction du flux océanique calculé au temps t -1 heure.
- **Estimation des courbes volume / hauteur et hauteur / surface** : ces mesures de terrain n'étant pas disponibles, il a été choisi des valeurs réelles de ces relations dans la littérature, concernant des mares tropicales (Puech, 1995). Les relations permettent de construire des tables de correspondance (look-up table), afin de passer au mieux par les points expérimentaux et de conserver un certain réalisme au modèle.

La possibilité de faire varier les paramètres géométriques (distance à la mer et cote IGN) ainsi que les paramètres décrivant les caractéristiques du drain de sortie comme l'aire de la section transversale, permet de représenter le cas du marais en contact direct avec l'océan. Une adaptation d'un modèle de base, auquel il a été ajouté une fonction de vidange retardée par un stockage important, permet de simuler un cas de figure se rapprochant du marais en relation avec un estuaire.

Le modèle a été développé avec le logiciel VENSIM (Ventana System, Inc.) qui présente des possibilités de simulation très souples : l'interface utilisateur permet de poser les concepts sous forme graphique et de les décrire sous la forme d'équations. On construit des variables qui seront reliées par des flux et explicitées par différentes informations exogènes. La représentation s'effectue en fonction du temps et procède par intégrations successives.

4. Résultats

Pendant la simulation, la cohérence des paramètres a été analysée. Le seul élément qui prêterait à discussion est la courbe de traduction du volume du marais en hauteur, qui demeure l'élément le plus sensible du modèle. Par contre, la courbe des hauteurs en surface est de faible sensibilité puisque les pertes par évapotranspiration et l'apport des pluies calculées par rapport à la surface d'eau libre représentent des pourcentages mineurs par rapport aux apports océaniques et du bassin-versant.

Les constantes qui peuvent être adaptées à chaque situation géographique sont :

- la distance à la mer,
- la cote IGN du fond du marais,
- l'aire de la section transversale du chenal à marée.

On peut ainsi positionner le marais dans un espace géographique situé entre la côte et la limite entre la basse et la haute plaine côtière. Le paramètre "aire de la section transversale" du chenal permet d'ouvrir ou de fermer progressivement le drain en fonction des conditions d'envasement.

5. Limites du modèle

Bien entendu, la modélisation pratiquée ne peut être validée que par comparaison aux enregistrements réels dans un marais littoral. La validation du modèle n'a pu être réalisée faute de mesures hydrologiques dans les zones humides aval (qui n'ont pu être atteintes qu'une seule fois, lors d'une mission exceptionnelle en juillet 1995).

Ces opérations sont pour l'instant encore très coûteuses et ont été rarement pratiquées dans la zone des marais côtiers.

Par la suite, et s'il est validé sur quelques sites connus, il est envisageable de disposer d'un modèle générique pour chaque sous-ensemble marécageux. En s'appuyant sur les informations spatialisées (carte thématique hydrologique), il sera possible de l'adapter à chaque cas spécifique, appartenant à un même ensemble bassin-versant / zone humide. L'opération répétée sur chaque ensemble bassin-versant / zone humide du littoral guyanais peut être alors un premier modèle global sur la côte de la Guyane.

Données à acquérir pour faire fonctionner les méthodes pluies-débits précitées en Guyane

1. Calcul des paramètres de Montana

Dans certaines études réalisées en Guyane, le choix des coefficients de Montana est effectué à partir de l'instruction technique 77-284 du 22 juin 1977. Cette instruction utilise des coefficients de Montana régionaux métropolitains strictement inadaptés à la réalité guyanaise. Le recours aux données locales est une priorité notamment dans le cadre du dimensionnement des bassins de rétention, décantation, évacuations diverses...

L'exemple dans l'étude (WAGNER Rémi-2005) illustre la sensibilité liée aux choix des paramètres a et b.

Les paramètres de Montana doivent donc résulter des analyses statistiques des enregistrements pluviométriques les plus proches du projet. Ces analyses conduisent à des familles de paramètres variables d'une part suivant la localisation géographique et la période de retour et d'autre part suivant la durée des événements pluvieux.

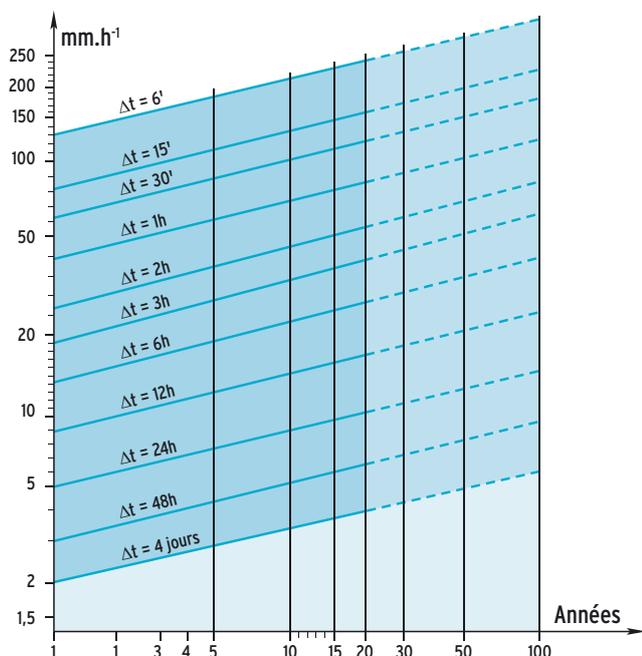


Figure VI

Relation Intensité-Durée-Fréquence à Rochambeau pour des pas de temps de 6 minutes à 4 jours - Période 1961-1990.

Source : Service météorologique de la Guyane et (FRITSCH Jean-marie, 1990)



Photo © TDC

Il existe deux possibilités pour le calcul des paramètres de Montana :

- Acheter les enregistrements de pluies de METEOFRANCE sur la ou les stations les plus proches. S'il existe plusieurs stations, procéder à une interpolation (ex : Thiessen) pour transformer les pluies en une pluie caractéristique au point de calcul, mesure du débit. Ensuite procéder soit au calcul des coefficients de Montana à partir de la construction des courbes intensité-durée-fréquence (IDF).
- Solliciter une prestation de services auprès de METEOFRANCE pour qu'ils fassent eux-mêmes l'analyse des coefficients de Montana aux différents postes pluviométriques le permettant.

Pour en savoir plus :

Voir annexe 6 (p.64) pour le calcul statistique de a et b.

2. Détermination des coefficients de ruissellement

Le coefficient de ruissellement joue un rôle fondamental dans la planification, la conception et la gestion des ressources en eau d'un bassin. Le plus souvent sa valeur moyenne est présentée soit sous forme de tableaux en fonction de la couverture végétale, de l'occupation du sol, de caractéristiques pédologiques ou géologiques du bassin étudié, soit sous forme d'expressions empiriques.

La réponse des modèles présentés précédemment est partielle dans le sens où elle donne accès au seul hydrogramme de ruissellement et non pas à l'hydrogramme de tout l'écoulement. La partie de l'hydrogramme de crue liée à l'écoulement retardé hypodermique et à l'écoulement de base provenant de la décharge des nappes est considérés comme négligeable au moment du pic de crue.

La différence entre notion du coefficient d'écoulement et du coefficient de ruissellement est précisée dans le glossaire (p.69). Cette différence est fondamentale pour se servir des valeurs de ces coefficients provenant des bassins expérimentaux du programme d'ECEREX (ECologie, ERosion, EXpérimentale).

• Détermination des coefficients de ruissellement décennaux en zone rurale

Il est utile en Guyane de se référer à la typologie de RODIER dans (RODIER, 1976) qui permet de classer un bassin versant ou des sous-bassins versants en fonction de leur pédologie et de leur pente global.

• Typologie de Rodier pour la détermination des coefficients de ruissellement de crue décennale

⇨ CATÉGORIE 1 (exemple : crique Virgile)

La presque totalité du bassin est occupée par des sols argileux massifs imperméables en surface ou à faible profondeur : 20 à 50 cm, présentant dans ce dernier cas des phénomènes d'engorgement au voisinage de la surface dès que la saison des pluies est assez avancée. Ces bassins sont généralement sur schistes ou amphibolites dans un modèle sénile, parfois sur argilites.

Kr = 58 à 62% pour des pentes définies par $3 < I_g < 30$

Kr doit monter jusqu'à 70% si I_g atteint 70 à 80, mais ceci est très rare puisqu'avec des pentes de ce genre la pédogenèse conduit à des sols plus perméables.

⇨ CATÉGORIE 2 (exemple : crique Grégoire)

Le bassin est recouvert pour 30 à 60% de sa surface par des sols correspondant à ceux de la catégorie 1. Ces sols imperméables sont situés parfois dans la partie basse du bassin, en particulier lorsqu'il s'agit de sols hydromorphes. Dans certains cas la partie imperméable du bassin occupe peut-être moins de 30%, mais ceci est compensé alors par une très forte pente ($I_g > 80$).

Kr = 30 à 40%

Kr croît bien entendu lorsque les surfaces imperméables occupent une partie plus importante du bassin jusqu'à tendre vers les valeurs données pour la catégorie 1.

⇨ CATÉGORIE 3

Bassins peu perméables en pente faible : $I_g < 10$ ou bassins avec moins de 30% de la surface, imperméables avec pentes modérées à très fortes $10 < I_g < 30$, ou bassins perméables en surface et en profondeur (sols argileux à structure grumeleuse), avec très fortes pentes : $I_g > 70$.

Kr = 20 à 30%

⇨ CATÉGORIE 4 (exemple : crique Cacao)

Bassins perméables homogènes à pentes assez fortes : $20 < I_g < 40$, ou bassins très perméables à très fortes pentes : $I_g > 80$ (crique Cacao), ou bassins de perméabilité moyenne à pentes modérées.

Kr = 10 à 16%

⇨ CATÉGORIE 5

Bassins perméables, par exemple argile à structure grumeleuse puis microgrenue en profondeur, arènes argileuses, sans horizon imperméable en profondeur. Pentas faibles à modérées : $5 < I_g < 25$.

KR = 7 à 10%

⇨ CATÉGORIE 6

Bassins très perméables en surface et en profondeur à pente assez faible : bassins sur sables.

KR = 3 à 5%

Pour en savoir plus :

Le mode d'utilisation de cette typologie, les limites et difficultés sont présentes dans la note de RODIER (1976).

Création de piste ►

quelle augmentation du coefficient de ruissellement ?

Photo © DAF Guyane



• Exemple de détermination des coefficients de ruissellement de crue décennale pour 3 bassins versants guyanais représentatifs

Voici trois exemples de bassins expérimentaux en Guyane sur géologies et pédologies différentes :

⇒ Bassin versant de la crique Virgile

• Description sommaire des coefficients :

Le Kr de l'averse décennale inclus dans le tableau de (RODIER, 1976) est de 63%

• Description sommaire de la géologie :

Schistes antécambriens : série de l'Orapu (séricitoschistes), nombreuses failles.

• Description sommaire de la pédologie :

Sols hydromorphes lessivés à gley sur alluvions fluviales sur les bas de pentes et les dépressions, couvrent une partie importante du bassin (42%)

Sur les plateaux et les pentes, sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés et rajeunis (57%), sol argileux peu perméable lorsqu'il est gorgé d'eau. En dessous des 20 premiers cms, les horizons sous-jacents argileux sont massifs.

⇒ Bassin versant de la crique Grégoire

• Description sommaire des coefficients :

Le Kr de l'averse décennale inclus dans le tableau de (RODIER, 1976) est de 45%

• Description sommaire de la géologie :

Gneiss et migmatites.

• Description sommaire de la pédologie :

Sols ferrallitiques fortement désaturés.

Trois groupes de sols :

- Sols ferrallitiques modaux perméables en surface (structure grumeleuse), puis horizon sablo-argileux moins perméable avec élément de quartz grossier reposant sur un sol encore moins perméable.

- Sols ferrallitiques lessivés modaux sable-argileux à sableux, perméables en surface ; vers 40 cm de profondeur sol sablo-argileux avec éléments de quartz constituant un horizon massif dur, imperméable, sur lequel on constate un écoulement subhorizontal.

- Sols remaniés, penevolués, hydromorphes : en surface mêmes caractéristiques que plus haut, puis sol à structure polyédrique. L'horizon à 1 m de profondeur est sablo-argilo limoneux à structure massive et imperméable.

Les sols remaniés hydromorphes sur bas de pente et les sols hydromorphes de fond de vallée ne couvrent qu'une faible surface.

⇒ Bassin versant de la crique Cacao

• Description sommaire des coefficients :

Le Kr de l'averse décennale inclus dans le tableau de (RODIER, 1976) est de 15%.

• Description sommaire de la géologie :

Sous-sols : laves ou schistes andésitiques (roches vertes).

• Description sommaire de la pédologie :

Évolution du sol : sols ferrallitiques fortement désaturés. Produits riches en argile et en fer :

- Sommets couverts par cuirasses anciennes.

- Glacis couvert soit de cuirasses secondaires affleurantes, soit sols ferrallitiques profonds plus ou moins concrétionnés en profondeur.

- Très fortes pentes, sols peu profonds d'érosion, compacts en profondeur.

- Bas de pente : sols ferrallitiques plus ou moins profonds sur colluvions à cuirasse de bas de pente.

- Terrasses : complexe de sol du type précédent mêlé d'alluvions hydromorphes.

Les sols argileux ont une structure grenue très fine favorable au drainage interne dans les horizons meubles : abondance de terriers et de souches déracinées.



• Détermination des coefficients de ruissellement décennaux en zone urbaine

Le coefficient C de ruissellement est un modèle simple des pertes tel que :

C = volume de la pluie nette disponible au ruissellement / volume de la pluie brute.

En milieu urbain, il est approximé que ce coefficient est égal au coefficient d'imperméabilisation, c'est-à-dire à la surface imperméabilisée sur la surface totale. Les coefficients de ruissellement en milieu urbain métropolitain en fonction de la nature des sols et par type d'occupation sont considérés comme acceptables sauf peut-être pour les jardins et parcs ou la différence d'infiltration entre la Guyane et la métropole peut être substantielle. Pour les différentes valeurs des coefficients, il est possible de se référer à la note du CERTU (2006).

3. Calcul du temps de concentration

• Calcul du temps de concentration θ sur les bassins de taille supérieur à 2 km².

Pour cette gamme de bassins versants, le temps de concentration est utilisé dans la méthode d'IBIZA. Le temps de concentration a fait l'objet de régression multivariable en milieu équatorial et il en est ressorti la formule suivante :

$$1/\theta = 0.0008 S^{-0.14} IG^{0.67}$$

- avec :
- θ : temps de concentration en minutes
 - S : surface en km²
 - IG : pente globale de DUBREUIL en m/km

Pour en savoir plus : voir (IBIZA, 1987)

• Calcul du temps de concentration "t_c" sur les bassins de taille inférieur à 2 km²

Malheureusement, Nous n'avons pas trouvé de formule générale pour les milieux et climats équatoriaux humides pour cette gamme de taille bassins versants. Les formules existantes pour les très petits bassins sont des formules générales empiriques issues de calage en milieu tempéré mais indépendante des facteurs climatiques (dépendantes seulement des facteurs morphologiques du bassin versant).

Différentes méthodes ont été définies pour le déterminer :

Dans le contexte de l'hydrologie urbaine (notamment la formule rationnelle), le temps de concentration "t_c" peut être considéré comme la somme du temps d'écoulement superficiel "t_s" et du temps d'écoulement en réseau "t_r".

$$t_c = t_s + t_r$$

• Estimation du temps d'écoulement superficiel t_s par des méthodes empiriques

| Nom | Formulation |
|---------|---|
| Kirpich | $0.0195 \times L^{0.77} \times p^{-0.305}$ |
| Passini | $6.48 \times (A \times L)^{1/3} \times p^{1/2}$ |
| Ventura | $7.62 \times (A / p)^{1/2}$ |

Unités :

- L : longueur en m
- A : surface en km²
- p : pente en m/m
- t_s en min

Tableau 29 de quelques formules empiriques du temps d'écoulement superficiel "t_s"

Au CETE du Sud-Ouest (*comm. pers. RUPERD Yves*), en hydrologie urbaine avec l'utilisation de Caquot, il est seulement utilisé le temps de concentration à l'amont des réseaux. Il est vrai qu'un faible temps de concentration donne les intensités pluviométriques les plus fortes et donc les situations les plus défavorables. Dans d'autres cas où le temps de concentration est vraiment très court, il est possible d'utiliser le temps de concentration à l'amont plus le temps dans le réseau.

Les formules de Passini et de Ventura, communément utilisées dans les études, sont inadaptées à la méthode rationnelle ou à celle de Caquot car le domaine de validité respectif des formules de Passini et Ventura sont A > 40 km² et A > 10 km² avec pente faible ou moyenne et le domaine de validité respectif des méthodes rationnelle et de Caquot sont A < 5 km² et A < 2km².

- Estimation de t_s par la méthode des vitesses

Cette méthode est utilisable aussi sur l'amont des bassins versants non équipés de réseau :

$$t_s = L / (60 \times V)$$

avec L en m, V en m/s et t_s en min

Pour faire fonctionner cette méthode sur l'amont du bassin versant sans réseau, il est nécessaire de connaître les vitesses de ruissellement sur les bassins versants en fonction de la nature de la couverture végétale et de la pente. Malheureusement, les abaques existants sont valables sur les sols, végétations de l'Hexagone. Il serait intéressant d'approcher ces vitesses par démarche expérimentale simple en Guyane.

Les valeurs approximatives de vitesses de la France métropolitaine sont (source : CERTU, 2006) :

| Pente en % | Pâturage dans la partie supérieure du bassin versant | Bois dans la partie supérieure du bassin versant |
|------------|--|--|
| 0 - 3 | 0.45 | 0.3 |
| 4 - 7 | 0.9 | 0.6 |
| 8 - 11 | 1.3 | 0.9 |
| 12 - 15 | 1.3 | 1.05 |

Tableau 30 : Vitesses de l'eau en fonction de la pente et du couvert végétal en France métropolitaine

Ces valeurs sont considérées comme acceptables à l'heure actuelle en Guyane pour les très petits bassins, faute de mieux.

- Estimation de t_r en utilisant les formules de calcul des écoulements à surface libre en conduite

$t_r = L/v$, L représente la longueur de canalisation parcourue et v la vitesse, qui peut être obtenue par la formule de Manning Strickler :

$$v = K Rh^{2/3} I^{1/2}$$

- K : Coefficient de Strickler
- Rh : Rayon hydraulique de la canalisation
- I : pente (m/m)

La combinaison de ces deux formulations permet de déterminer t_c . Une méthode par itération est nécessaire puisqu'il faut recalculer I ou Qp pour chaque nouvelle évaluation de t_c .

4. Création d'une pluie brute de projet par la méthode de Desbordes

Dans les méthodes de transformation pluie-débit, il est nécessaire d'entrer, au début de la chaîne de transformation, une pluie représentative du phénomène à étudier. En l'occurrence, les phénomènes qui nous intéressent plus particulièrement sont les crues de temps de retour 10 ans.

- Les objectifs de la méthode et son domaine d'utilisation

L'objectif de la méthode de Desbordes est de créer une pluie synthétique caractéristique d'un événement pour la faire entrer dans la chaîne de transformation pluie-débit. Cette méthode a fait l'objet de recherches d'un modèle d'*averse de projet*** adapté aux précipitations de la zone intertropicale africaine (SIGHOMNOU D., DESBORDES M., 1988).

Quelle que soit la méthode utilisée, une connaissance assez précise et détaillée des caractéristiques des averses locales est une condition essentielle pour arriver à des résultats fiables.

Les épisodes pluvieux sont des phénomènes aléatoires, à la structure très complexe et difficilement reproductible.

Le dimensionnement des ouvrages pour se prémunir contre des dégâts qu'occasionnerait un événement de fréquence donnée devrait donc se faire en termes de risque de défaillance.

Ceci nécessite la possibilité d'associer une probabilité à un événement donné. Or à la limite, chaque épisode pluvieux est unique dans son genre, et on ne saurait lui affecter une probabilité d'occurrence précise.

Malgré cette difficulté certains hydrologues ont tenté de mettre au point, à l'usage des projeteurs, des hyétogrammes synthétiques appelés "pluies de projet", dont la transformation conduit à des paramètres de ruissellement pour lesquels on peut chiffrer la probabilité d'occurrence en tout point du bassin versant et de son réseau.

L'élaboration de telles pluies repose sur l'analyse statistique de divers événements (hauteur, durée, forme) des épisodes pluvieux et ce notamment pour avoir les coefficients a et b de Montana.

• Les descripteurs et données nécessaires au fonctionnement de la méthode en Guyane

Il est nécessaire de connaître :

- le temps de concentration " t_c " du bassin versant du projet
- les coefficients de Montana "a" et "b" pour la période de retour choisie (dans notre cas 10 ans).

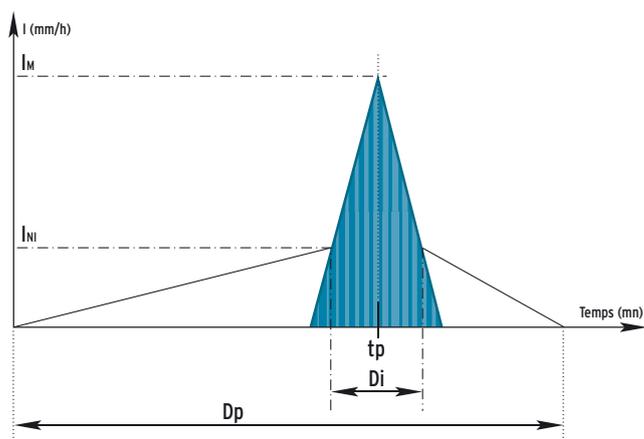


Figure VII : Schéma de la pluie de projet de Desbordes
Source : CG Guyane-SCE-2005

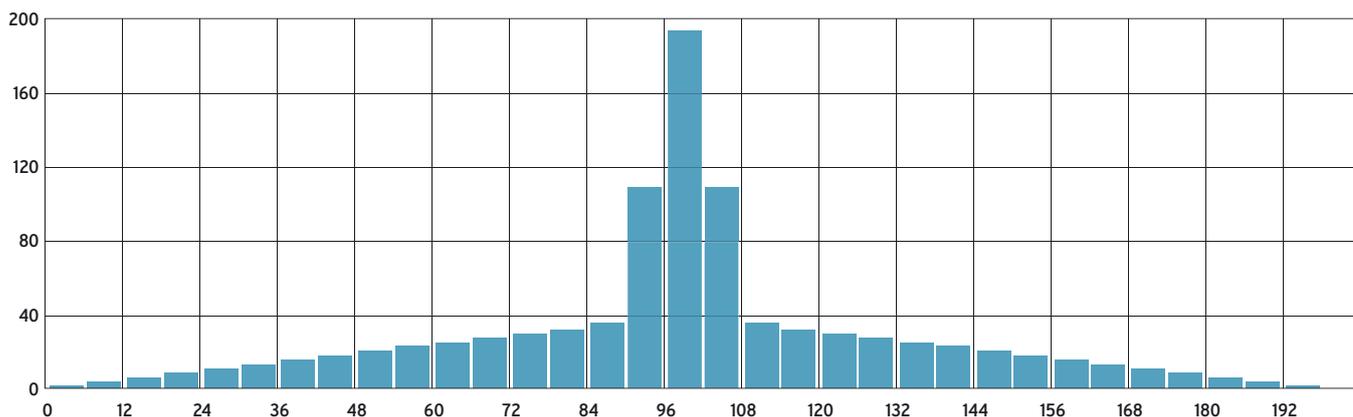
Elle est composée d'une période de pointe (triangle hachuré) et d'une période non intense s'étendant avant et après la période intense.

Les caractéristiques de la pluie de projet :

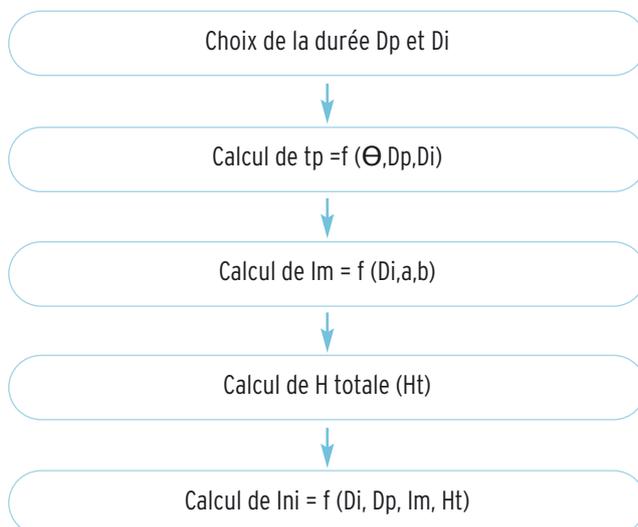
- la durée totale de la pluie (D_p en minutes),
- la durée de la période intense (D_i en minutes),
- l'intensité de pointe (I_m en mm/h),
- l'intensité en début de période intense (I_{ni} en mm/h),
- l'occurrence du temps de pointe t_p (en minutes)

Figure VIII : Hyétogramme d'une pluie décennale de projet sur Cayenne (durée de période intense retenue : 20 minutes, pas de temps : 6 minutes)

Source : BRLI-IRH-NANCIE-2001



• Description rapide de la méthode



Généralement choix de Θ tel que pluie symétrique

• Précisions et limites d'utilisations.

Pour plus d'informations sur l'utilisation de la méthode, vous pouvez vous reporter à (CERTU, 2006), pour le choix de la durée de pluie intense d'une pluie de projet à (CETE DE L'EST, PNDHUU, 2005).

Les hauteurs précipitées sur ces deux durées sont évaluées habituellement par application de la loi de Montana. Cette procédure conduit à affecter le même temps de retour sur les deux périodes caractéristiques de la pluie (durée de la période intense et durée totale). Cette démarche ne reflète pas la réalité et il convient généralement de retenir une période de retour plus faible pour le calcul de la hauteur d'eau précipitée durant la totalité de la pluie.

Pour en savoir plus :

Voir développement de la formulation de la méthode en annexe 5 (p.63).

5. Transformation d'une pluie brute en pluie nette

La pluie nette est définie comme la proportion des précipitations qui atteint l'exutoire considéré en empruntant uniquement la voie du ruissellement superficiel direct. En événement intense, les pertes par évaporation, stockage superficiel sont considérés comme négligeable au regard des pertes par interception et par infiltrations. Certaines méthodes transforment directement cette pluie brute en pluie nette par l'utilisation du coefficient de ruissellement. Il est mentionné la difficulté de déterminer précisément ce coefficient de ruissellement en combinant les données pentes, végétation, sols hétérogènes sur un bassin versant. De plus cette méthode ne traduit pas la modification du ruissellement en fonction du temps. La méthode de Horton pallie à ce problème.

• Pertes initiales par évaporation, stockage superficiel du sol

Lors d'une pluie intense, ces paramètres sont considérés comme négligeables comparés au débit de crue.



Crique urbaine (Photo © DIREN Guyane)

• Pertes par interception

Concernant le bilan hydrique moyen. Bariac et al, (1993) démontrent une perte de 5,6% de la pluie incidente due à l'interception de la pluie par la canopée lors d'une pluie intense. Cette valeur reste très en deçà de la valeur moyenne annuelle de 15% observée sur ce même site (Roche, 1982). Il est considéré comme acceptable à l'heure actuelle de généraliser cette valeur à l'ensemble des couverts forestiers guyanais.

Ces pertes de 5.6% sont à retirer de manière forfaitaire à la pluie brute.

• Pertes par infiltration : objectifs et domaine d'utilisation de la méthode de Horton

Cette méthode permet d'estimer l'évolution des pertes par infiltration pour un bassin versant et d'en déduire le débit de pluie nette disponible pour le ruissellement.

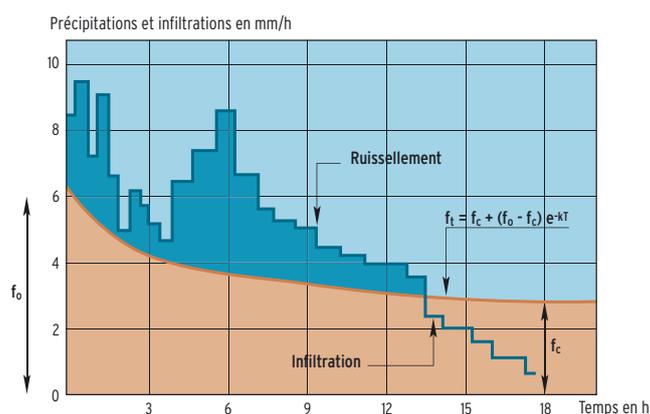


Figure IX : Régime d'infiltration et capacité d'infiltration du sol de HORTON

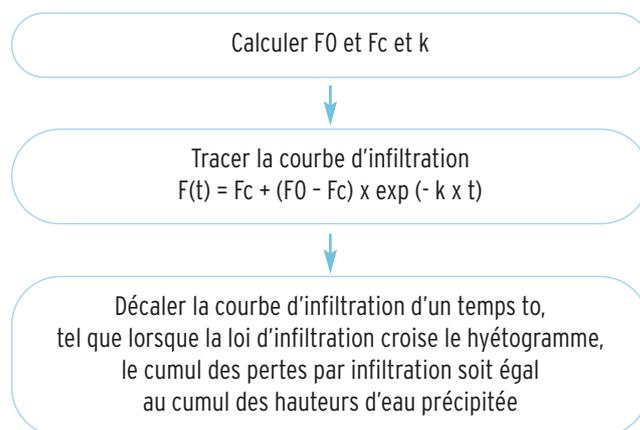
Source : PATRA, 2001

• Descripteurs nécessaires pour son fonctionnement

- F_0 : taux d'infiltration initial du sol
- F_c : taux d'infiltration final du sol (à saturation)
- k : constante de temps

Ces données peuvent être issues d'un calage effectué à partir de mesures locales, ou à défaut, peuvent être estimées.

• Description rapide



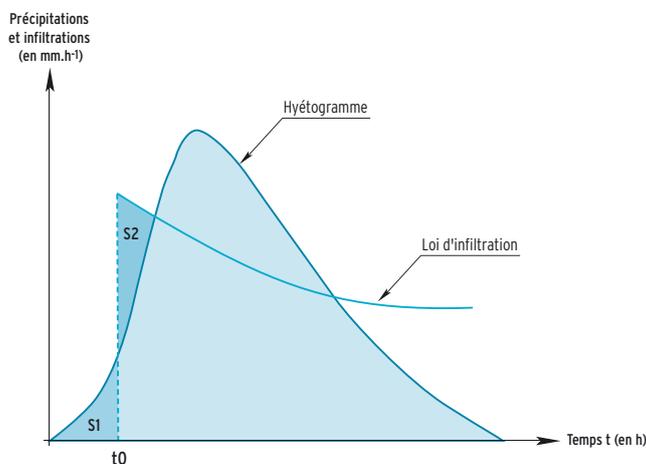


Schéma 3 : Décalage de la courbe d'infiltration d'un temps t_0 tel que $S_1 = S_2$

• Précisions et limites d'utilisation

Il s'agit d'une formule empirique qui s'applique assez bien à des sols humides et végétalisés (GRAIE, 1992).

Comme pour le coefficient de ruissellement, en l'absence de mesure de terrain, on ne peut attendre de cette méthode qu'un ordre de grandeur. Cependant, cette méthode à l'avantage de faire varier le déficit d'écoulement sur la durée de la pluie et de pallier l'utilisation du coefficient de ruissellement qui est souvent inacceptable dans le cas d'un bassin versant naturel rural comportant des natures de sol et de végétation très diverses.

Des valeurs moyennes des paramètres F_0 et F_c ont été estimées par Deutsch et al. (1989), par Desbordes, Trévisol, Delmas (1984) mais ces valeurs ne sont pas adaptées aux sols guyanais et sont très hétérogènes (CETE de l'Est - Pôle national de diffusion hydrologie-hydraulique urbaine, 2005).

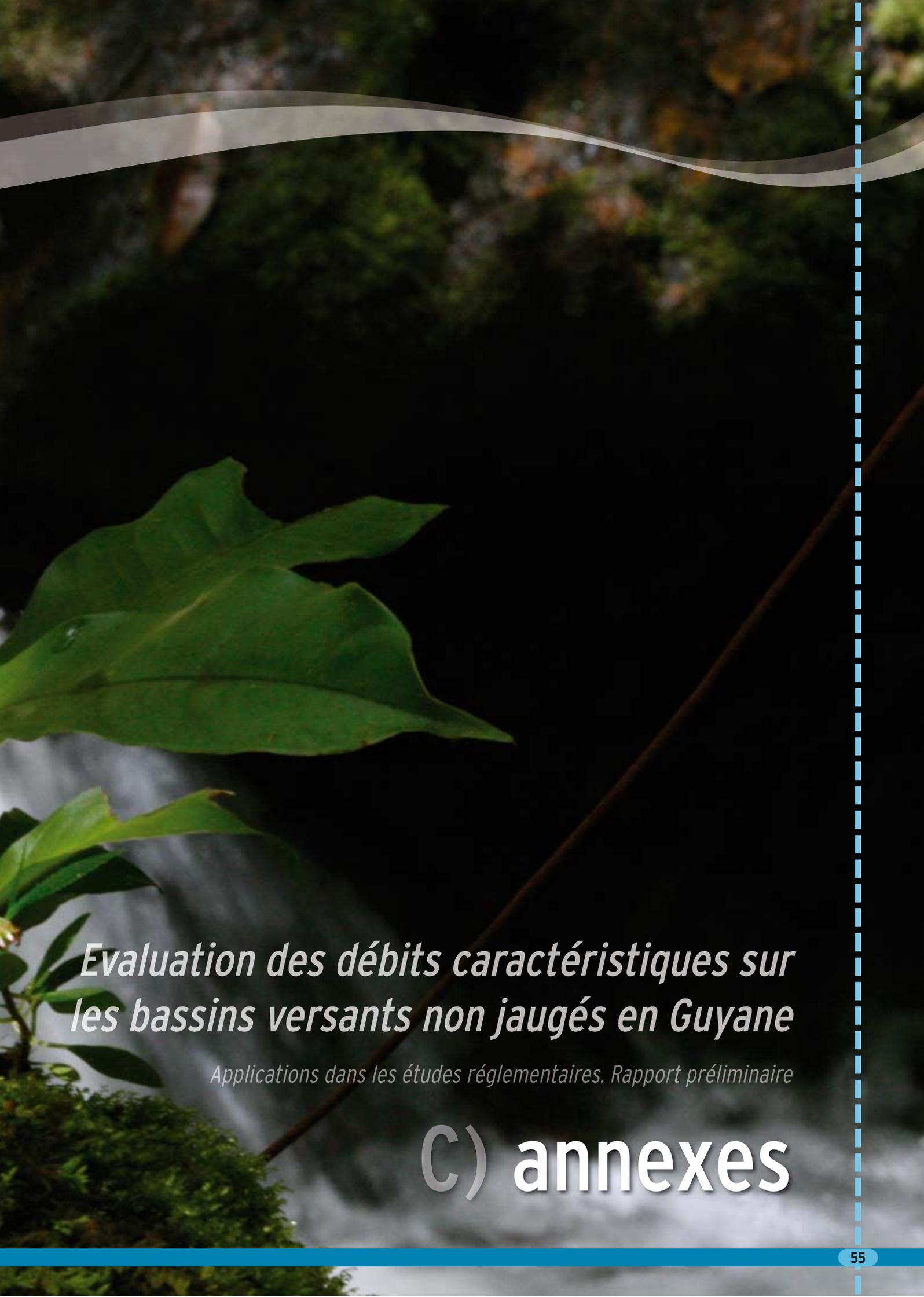
Il est possible d'atteindre concrètement les coefficients de la formule par des essais *in situ* avec la méthode de Muntz par exemple. Il est intéressant d'utiliser un test mis au point notamment sur un sol ferralitique argileux du Brésil dans (ROOSE E., BLANCANEUX P., FREITAS P.L. DE, 1993).

La détermination des capacités et taux d'infiltration ainsi trouvées varient beaucoup d'un sol à l'autre. Cette incertitude qui règne toujours en pratique sur la fraction de l'averse soustraite à chaque instant par l'infiltration à l'écoulement, constitue l'objection principale que soulève notamment l'emploi de la méthode de l'hydrogramme unitaire. Plus le nombre d'essais *in situ* est important, plus la diversité des sols sera représentée et plus la méthode sera précise.

Il est généralement nécessaire de décaler la courbe d'un temps t_0 car la capacité maximale d'infiltration est présente pendant toute la phase d'imbibition ; il faut décaler la courbe pour que celle-ci coupe la droite des pluies et qu'ainsi, avant ce t_0 , le volume infiltré soit égal au volume de pluie.

Photo © DAF Guyane





*Evaluation des débits caractéristiques sur
les bassins versants non jaugés en Guyane*

Applications dans les études réglementaires. Rapport préliminaire

C) annexes

Procédure pour le calcul des débits pour la méthode de Caquot

1. Positionner en plan les canalisations
2. Définir des tronçons de longueur de l'ordre de 300 mètres
3. Définir par tronçon le point caractéristique. Le positionnement de ce point caractéristique à une influence notable sur la valeur du débit obtenu.

Pour en savoir plus sur le point caractéristique :
 Voir notes de Bruno TASSIN du CERREVE sur le site internet de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées :
<http://www.enpc.fr/cereve/cereve-francais.html>

4. Rechercher les bassins versants associés à chaque point caractéristique
5. Définir les assemblages. Des bassins seront dits en série, lorsque l'exutoire d'un des bassins constitue l'entrée de l'autre. Les bassins seront dits en parallèle lorsque leurs exutoires convergent vers le même bassin versant.
6. Calculer pour chacun des bassin assemblé le débit de pointe par la formule de Caquot, en tenant compte des assemblages. Les formules d'assemblages sont rassemblées dans le tableau suivant :



Photo © DAF Guyane

| Paramètres équivalents | A_{eq} | C_{eq} | l_{eq} | Meq |
|------------------------|----------|--------------------------------------|--|---|
| Bassins en série | A_j | $\left(\frac{C_j A_j}{A_j} \right)$ | $\left(\frac{l_j}{\sqrt{l_j}} \right)^2$ | $\left(\frac{l_j}{\sqrt{A_j}} \right)$ |
| Bassins en parallèle | A_j | $\left(\frac{C_j A_j}{A_j} \right)$ | $\left(\frac{l_j Q_{pj}}{Q_{pj}} \right)$ | $\left(\frac{L(Q_{pj}^{MAX})}{\sqrt{A_j}} \right)$ |

Figure X
 Paramètres équivalents pour les bassins versants assemblés (Source : Circulaire interministérielle de 1977)

Inventaire des bassins versants de la banque de données DIREN ayant fait l'objet de mesures hydrométriques

$S_{BV} < 2 \text{ km}^2$
 $2 \text{ km}^2 < S_{BV} < 200 \text{ km}^2$
 $200 \text{ km}^2 < S_{BV} < 1.000 \text{ km}^2$
 $1.000 \text{ km}^2 < S_{BV}$

S_{BV} à préciser sur SIG à partir du point GPS de la station de mesure

| LOCALISATION DE LA STATION | | | | | | | DONNÉES EXISTANTES |
|----------------------------|------------------|-------------------------|------------------|--|-------------|-----------|----------------------------|
| Bassin versant | Afluent | Sous affluent | Nom du site | Superficie du BV (en km ²) | Coordonnées | | Période de mise en service |
| | | | | | Latitude | Longitude | |
| Sinnamary | Cr Grégoire | | Pt saut 3 | 0,24 | 05° 05 32 | 53° 03 13 | 1970-1976 |
| Cr Brémond | | | Cr bre pont | 5,00 | 05° 01 06 | 52° 28 48 | 1990-1992 |
| Mahury | Orapu | Kounana/Cr Fourca ouest | Fourca ouest | 6,48 | 04° 31 57 | 52° 12 40 | 1998-2002 |
| Mahury | Orapu | Kounana/Cr Fourca est | Fourca est | 7,81 | 04° 31 33 | 52° 12 23 | 1998-2002 |
| Sinnamary | Cr Grégoire | | Grd chute | 8,40 | 05° 05 27 | 53° 04 18 | 1968-1978 |
| Mahury | Orapu | Kounana/Cr Grd Kouakou | Cote 7 | 9,38 | 04° 32 22 | 52° 13 53 | 1998-2001 |
| Sinnamary | Cr Gregoire | | Pt saut 2 | 12,40 | 05° 05 42 | 53° 03 00 | 1968-1976 |
| Riv Cayenne | Riv Montsinnéry | | Montsinéry | 13,00 | 04° 52 34 | 52° 31 46 | 1988 |
| Cr Paracou | | | Cr Para pont | 23,00 | 05° 20 20 | 52° 55 40 | 1979-1980 |
| Riv Cayenne | Riv Cascades | Cr Crabes | Cascades ifat | 46,00 | 04° 46 06 | 52° 27 22 | 1988-1988 |
| Kourou | Cr Pères | | Crique Pères | 50,00 | 05° 02 59 | 52° 36 13 | 1989-1992 |
| Sinnamary | Cr Toussaint | | Cr Toussaint | 56,00 | 05° 21 25 | 53° 00 13 | 1989-1998 |
| Kourou | Soumourou | | Soumourou | 65,05 | 05° 08 40 | 52 44 00 | 1990-1994 |
| Sinnamary | Cr Vénus | | Cr Vénus | 69,00 | 05° 11 27 | 52 58 23 | 1993-1996 |
| Riv Kourou | Cr Karoub | | Cr Karouabo pont | 76,70 | 05° 14 00 | 52 47 00 | 1990-2006 |
| Sinnamary | Cr Yiyi Po | | Cr Yiyi | 84,80 | 05° 22 21 | 53° 04 27 | 1992- |
| Cr Macouria | | | Cr Macou pont | 100,00 | 05° 02 30 | 52° 30 13 | 1989 |
| Kourou | Cr Passoura | | Passoura pont | 109,00 | 05° 09 00 | 52 42 00 | 1991-1995 |
| Riv Cayenne | Riv Tonnérgrande | | Ton au saut | 137,00 | 04° 48 56 | 52° 29 17 | 1988-1992/1992-1995 |
| Kounana | Orapu | | Dégrad Lalanne | 152,00 | 04° 32 11 | 52° 15 45 | 1998-2001 |
| Maroni | Cr Balaté | | Cr Balaté | 250 | 05° 27 54 | 54° 02 06 | 1989-1992 |
| Sinnamary | Kourcibo | Cr Leblond | Cr Leblond | 730 | 04° 43 55 | 53° 09 11 | 1990-2002 |

Annexe 2

| LOCALISATION DE LA STATION | | | | | | | DONNÉES EXISTANTES |
|----------------------------|------------|---------------|------------------|--|-------------|-----------|----------------------------|
| Bassin versant | Afluent | Sous affluent | Nom du site | Superficie du BV (en km ²) | Coordonnées | | Période de mise en service |
| | | | | | Latitude | Longitude | |
| Sinnamary | Kourcibo | | Saut l'Autel | 1.290 | 04° 43 56 | 53° 06 25 | 1990-2002 |
| Comté | | | Saut Bief | 1.760 | 04° 33 00 | 52° 31 00 | 1969-actuel |
| Sinnamary | | | Saut Dalles | 1.855 | 04° 32 57 | 52° 53 34 | 1990-2002 |
| Sinnamary | | | A Dieu Vat | 2.430 | 04° 53 00 | 53° 00 48 | 1953-1958/1968-1976 |
| Approuague | | | Grand Kanori | 2.560 | 03° 37 39 | 52° 41 27 | 1953-1955 |
| Maroni | lawa | Inini | Grd Carbet | 3.970 | 03° 39 00 | 54° 31 00 | 1950-1953 |
| Maroni | lawa | Marouini | Aloupata | 4.700 | 03° 14 00 | 54° 04 00 | 1972-1978 |
| Oyapock | Camopi | | C à bienvenue | 4.815 | 03° 06 55 | 52° 41 44 | 1953-1959/1970-1977 |
| Oyapock | Camopi | | Vge St Paul | 4.915 | 03° 06 00 | 52° 38 00 | 1959-1961 |
| Sinnamary | | | Saut Tigre | 5.150 | 04° 58 00 | 53° 02 00 | 1968-1993 |
| Mana | | | Saut Chien | 5.490 | 04° 52 00 | 53° 43 00 | 1970-1976 |
| Sinnamary | | | Pt Saut Amont | 5.880 | 05° 04 00 | 53° 02 40 | 1982-1993 |
| Sinnamary | | | Pt Saut Aval | 5.900 | 05° 03 56 | 53° 03 18 | 1989-2004 |
| Oyapock | Camopi | | Camopi | 5.920 | 03° 11 00 | 52° 22 00 | 1961-1969 |
| Oyapock | Camopi | | Saut Mombin | 5.920 | 03° 11 00 | 52° 23 00 | 1970-1977 |
| Approuague | Aratai | | Aratai | 6.105 | 04° 04 00 | 52° 32 00 | 1953-1955 |
| Approuague | | | Pierrette | 6.105 | 04° 01 47 | 52° 33 39 | 1958-2006 |
| Approuague | | | Athanase | 7.525 | 04° 11 30 | 52° 19 30 | 1991-actuel |
| Maroni | lawa | Tampok | Dg de Roche | 7.655 | 03° 25 00 | 53° 50 00 | 1951-2005 |
| Mana | | | Mont de fer | 10.070 | 05° 18 06 | 53° 36 40 | 1992-1993 |
| Maroni | lawa | Litani | Pelea | 10.200 | 03° 16 00 | 54° 06 00 | 1973-1977 |
| Mana | | | Saut Sabbat | 10.255 | 05° 23 00 | 53° 40 00 | 1953-1962/1967-actuel |
| Maroni | lawa | Litani | Antecum pata | 10.300 | 03° 19 00 | 54° 04 00 | 1968-2006 |
| Oyapock | | | Camopi | 17.120 | 03° 10 00 | 52° 20 00 | 1951-1977 |
| Oyapock | | | St Maripa | 25.120 | 03° 49 00 | 51° 53 00 | 1953-actuel |
| Maroni | | | Maripasoula | 28.285 | 03° 38 31 | 54° 01 40 | 1953-actuel |
| Maroni | | | Grand Santi | 34.485 | 04° 16 16 | 54° 22 47 | 1953-1977 |
| Maroni | | | Langatabiki | 60.930 | 04° 59 00 | 54° 26 00 | 1950-actuel |
| Approuague | Riv de Kaw | | Carbet Pêcheur | A calculer | 04° 27 34 | 52° 06 84 | 2001-2005 |
| Approuague | Riv de Kaw | | Mare aux Caïmans | A calculer | | | 2002-2005 |
| Approuague | Riv de Kaw | | Canal de Kaw | A calculer | 04° 27 20 | 52° 06 50 | 2001-2005 |
| Approuague | Riv de Kaw | | Crique Biche | A calculer | 04° 42 26 | 52° 5 37 | 2000-2005 |
| Approuague | Riv de Kaw | | 2 Sœurs | A calculer | 04° 53 58 | 52° 19 08 | 1999-2005 |
| Approuague | | | Pont régina | A calculer | 04° 17 10 | 52° 08 04 | 1990-1992 |

| LOCALISATION DE LA STATION | | | | | | | DONNÉES EXISTANTES |
|----------------------------|-----------------|---------------|-------------------|--|-------------|-----------|----------------------------|
| Bassin versant | Afluent | Sous affluent | Nom du site | Superficie du BV (en km ²) | Coordonnées | | Période de mise en service |
| | | | | | Latitude | Longitude | |
| Approuague | Aratai | | Saut Japigny | A calculer | 03° 30 00 | 52° 55 00 | 1953 |
| Approuague | | | Tourépé | A calculer | 04° 14 00 | 52° 15 00 | 1953 |
| Kourou | | | Roche Léodate | A calculer | 04° 53 48 | 52° 47 22 | 1976-1978 |
| Mahury | | | Dégrad-des-Cannes | A calculer | 04° 51 07 | 52° 16 21 | 1989-1992 |
| Comté | | | Bélizon | A calculer | 04° 16 22 | 52° 09 44 | 1974-1975 |
| Mahury | | | Pont Roura | A calculer | 04° 44 35 | 52° 20 00 | 1988-1989 |
| Mahury | Orapu | | St Bernard | 440 | 04° 26 55 | 52° 23 27 | 1995-2006 |
| Mahury | Orapu | Cr Virgile | Station Virgile | A calculer | 04° 31 05 | 52° 19 21 | 1959-1962 |
| Mahury | | | Station Cacao | A calculer | 04° 34 08 | 52° 27 44 | 1959-1962 |
| Mana | | | Depot Lézard | A calculer | 04° 57 57 | 53° 49 11 | 1953-1953 |
| Maroni | | | St Louis | A calculer | 05° 28 18 | 54° 02 46 | 1989-1995 |
| Maroni | Iawa | Litani | Kalewat | A calculer | 03° 12 00 | 54° 10 00 | 1972-1978 |
| Maroni | Iawa | Tampok | Cayodé | A calculer | 03° 25 57 | 53° 53 10 | 2004-2006 |
| Oyapock | Kerindiou | | Dg Galoupa | A calculer | 02° 10 39 | 52° 57 47 | 1957-1957 |
| Oyapock | Kerindiou | | Krt Galoupa 2 | A calculer | 02° 10 39 | 52° 58 47 | 1956-1957 |
| Oyapock | Uassipein | | Ua à Baloupa 1 | A calculer | 02° 10 39 | 52° 58 47 | 1956-1957 |
| Sinnamary | | | Semaphore | A calculer | 05° 25 49 | 53° 00 21 | 1994-1996 |
| Sinnamary | | | Pointe Combi | A calculer | 05° 16 28 | 52° 53 39 | 1994-1995 |
| Sinnamary | | | Carbet Vénus | A calculer | 05° 10 55 | 52° 58 35 | 1993-1995 |
| Sinnamary | Cr Grégoire | | Pt Saut j | 8,4 | | | 1978 |
| Sinnamary | Cr Grégoire | | Pt Saut a | 12,4 | | | 1977 |
| Sinnamary | Cr Grégoire | | B Foret | 0,24 | | | 1977 |
| Sinnamary | Toussaint | | C Pamplemou | 0,016 | | | 1977 |
| Sinnamary | Toussaint | | D Pamplemou | 0,014 | | | 1978 |
| Sinnamary | Toussaint | | E Pamplemou | 0,016 | | | 1978 |
| Sinnamary | Toussaint | | F Pamplemou | 0,014 | | | 1978 |
| Sinnamary | Toussaint | | G Pamplemou | 0,015 | | | 1978 |
| Sinnamary | Toussaint | | H Pamplemou | 0,010 | | | 1978 |
| Sinnamary | Toussaint | | I Pamplemou | 0,011 | | | 1978 |
| Riv Cayenne | Riv Cascades | | Cascades | A calculer | 04° 45 16 | 52° 28 07 | 1988-1994/1994-1995 |
| Riv Cayenne | Riv Tonnégrande | | Ton onf | 129 | 04° 49 48 | 52° 30 11 | 1992-2006 |
| Riv Cayenne | Cr Fouillée | | Cr Fouillée | A calculer | 04° 54 26 | 52° 20 00 | |
| Cr Macouria | | | Cr mac v brem | A calculer | 05° 02 30 | 52° 30 13 | 1992 |
| Cr Amarante | | | Cr Amarante | A calculer | | | 1986-1987 |

Formulation de la méthode de stockage avec n réservoirs à partir d'une situation à n=2 en série

On fixe pour le fonctionnement de la méthode :

- Surface du bassin versant : A
- Coefficient de ruissellement : C
- Longueur du plus long chemin hydraulique : L
- Pente du plus long chemin hydraulique : I
- Lag time du bassin versant : K

Le lag time a fait l'objet de nombreuses formulations (GRAIE, 1992) (CERTU, 2006) hors Guyane.

Deux formulations de la France métropolitaine du lag time sont par exemple :

$$K = 3.55 \times A^{0.27} \times (1+C)^{-1.9} \times TP^{0.21} \times L^{0.15} \times HP^{-0.07}$$

$$K = 0.254 \times A^{-0.0076} \times I^{-0.401} \times C^{-0.512} \times L^{0.608}$$

Avec :

K en mn

A : surface en ha

I : pente hydraulique en m/m,

C : coefficient de ruissellement

TP : durée de la période intense de la pluie nette en mn

L : longueur hydraulique en m

Hp : hauteur tombée durant TP en mm

Pour les bassins versants péri-urbains, il est retenu par le CERTU : $K = 2 \times K_2$

Pour les bassins versants ruraux, dans le cas qui nous concerne, la solution la plus crédible reste de prendre ce paramètre comme un paramètre de calage et donc de procéder à des mesures hydropluviométriques sur le bassin versant concerné. Le temps de réponse mesuré sur le couple averse-crue le plus proche de l'averse décennale sera affecté au calcul du débit de crue de temps de retour 10 ans.

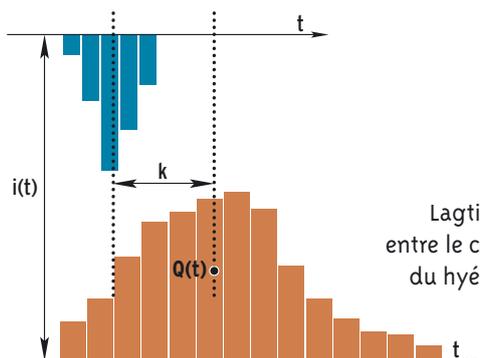


Figure XI
Lagtime K : décalage entre le centre de gravité du hyétogramme et de l'hydrogramme

Le hyétogramme de pluie doit être discrétisé selon un pas de temps Dt, et se présenter sous la forme d'un tableau de valeur : $i_{(1)}, i_{(2)}, \dots, i_{(j)}, \dots$

L'hydrogramme produit à l'exutoire se présente également sous la forme d'un tableau de valeurs numériques ($QS2_{(1)}, QS2_{(2)}, \dots$), calculées par des relations de la forme :

$$QS2_{(j+1)} = C1. QE2_{(j+1)} + C2. QS2_{(j)}$$

Or $QE2_{(j+1)} = QS1_{(j+1)}$

et de même $QS1_{(j+1)} = C1. QE1_{(j+1)} + C2. QS1_{(j)}$

Avec C1 et C2 issues de l'intégration des équations avant la discrétisation :

$$C1 = e^{-(Dt/K)}$$

et

$$C2 = 1 - C1$$

Les valeurs de débits de pluie nette $QE1^{(i)}$ se déduisent des intensités de pluie de projet de Desbordes, généralement par des relations simples utilisant les coefficients de ruissellement ou par des relations faisant intervenir les pertes initiales et les pertes continues de Horton (pas de calage de f_0, f_c en Guyane mais accessible avec les méthodes de Muntz, ou autres) que l'on retire d'une pluie brute de projet de Desbordes.

Dans le cas de l'utilisation des coefficients de ruissellement, il est important de les déterminer en fonction de la végétation, de la pente et du type de pédologie. Les bassins versants représentatifs échantillonnés et présentés par RODIER ou dans le programme ECEREX sur des géologies et pédologies représentatives, des couvertures végétales différentes permettent une bonne approche guyanaise de ces coefficients de ruissellement à intégrer dans les méthodes.

Canal d'irrigation à Mana (Photo © DAF Guyane)



Exemple numérique de la méthode de Rodier d'estimation des débits de crue décennale pour les petits bassins versants forestiers

Prenons l'exemple développé page 259 de (RODIER, 1976) sur un bassin versant de la même catégorie (catégorie I) que celui de la crique Virgile. Prenons le bassin plat de l'exemple 2) de RODIER (1976) à horizon imperméable à faible profondeur, de superficie égale à 50 km². La hauteur de précipitation annuelle est prise égale à celle du bassin échantillonné africain de 1.800 mm.

1) Estimation de la pluie décennale ponctuelle

L'averse décennale est de 140 mm.

2) Estimation du coefficient d'abattement

| HAUTEUR ANNUELLE (mm) | SUPERFICIE | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | 2 km ² | 5 km ² | 10 km ² | 25 km ² | 50 km ² | 100 km ² | 200 km ² |
| 1500 | 0.97 | 0.93 | 0.9 | 0.86 | 0.83 | 0.81 | 0.77 |
| 2000 | 0.98 | 0.945 | 0.92 | 0.89 | 0.87 | 0.85 | 0.825 |
| 2500 | 0.985 | 0.96 | 0.94 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.87 |

Tableau 31 des coefficients d'abattement de pluie de RODIER

Ce tableau peut être étendu à jusqu'à 4000 mm quand on remarque, par surface, la linéarité de l'augmentation du coefficient d'abattement avec l'augmentation de la pluie annuelle.

Le coefficient d'abattement, d'après le tableau de la page 251, est compris entre 0.83 et 0.87. On prendra 0.85.

La pluie décennale moyenne $P_{10_{BV}}$ sur le bassin versant est donc égale à :

$$P_{10_{BV}} = 140 \times 0.85 = 119 \text{ mm}$$

3) Déduction de V_p , le volume de précipitation décennale sur le bassin

Pour ce bassin de 50 km² :

$$V_p = 0.119 \times 50 \times 10^6 = 5.95 \times 10^6$$

4) Evaluation du K_r correspondant à la crue décennale

Le bassin rentre dans la catégorie I qui comprend les bassins dont la presque totalité du bassin est occupée par des sols argileux massifs imperméables en surface ou à faible profondeur : 20 à 50 cm, présentant dans ce dernier cas des phénomènes d'engorgement au voisinage de la surface dès que la saison des pluies est assez avancée. Ce bassin fait partie des bassins sur schistes ou amphibolites dans un modèle sénile. La pente I_g est comprise dans la catégorie I avec des pentes $3 < I_g < 30$.

Pour un tel bassin de catégorie I, le coefficient de ruissellement K_r peut donc être admis à 60 % (compris entre 58 et 62 %).

5) Estimation du temps de montée et du temps de base

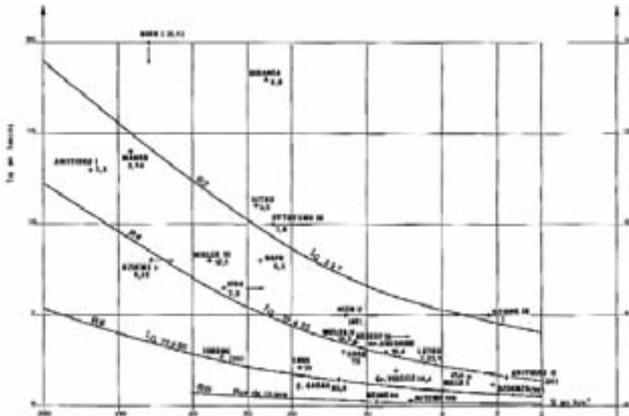


Figure XII
Crues décennales pour les petits bassins forestiers.
Temps de montée en fonction de la superficie et du coefficient global de pente (I_g)
Source : (RODIER,1976)



Figure XIII
Crues décennales pour les petits bassins forestiers.
Temps de base en fonction de la superficie et du coefficient global de pente (I_g)
Source : (RODIER,1976)

Ce bassin plat à une pente globale I_g tel que $3\text{m/km} < I_g < 7\text{m/km}$. Sur les abaques précédants, pour un bassin versant de cette taille, le temps de montée est égal à $12\text{h}20'$ et le temps de base à 27 heures.

6) Estimation du volume ruisselé

Prenons l'averse type mesurée sur ce bassin versant avec épisodes pluvieux de 5 heures. Elle est considérée comme unitaire car elle est d'une durée inférieure à la moitié du temps de montée. **On est souvent en présence de la nécessité d'une discrimination de l'averse type en averse unitaire.** Pour cela voir exemple p.262 de (RODIER, 1976) et explication dans (REMENIERAS, 1999).

Dans notre cas, il est inutile de discriminer la pluie en averse unitaire :
 $\rightarrow V_r = K_r \times V_p = 0.6 \times 5.95 \times 10^6 = 3.57 \times 10^6$

7) Calcul de M

$$M = V_r / T_b = 27$$

$$M = 3.57 \times 10^6 / (27 \times 3600) = 36,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

8) Choix de la valeur de K

Plaine (R2) : $S < 5\text{km}^2$, $K = 1,90$
 $5 \text{ km}^2 < S < 10 \text{ km}^2$, $K = 2,20$
 $S > 10 \text{ km}^2$, $K = 2,30$

Montagne (R6) : $S < 5 \text{ km}^2$, $K = 2,00$
 $5\text{km}^2 < S < 10\text{km}^2$, $K = 2,30$
 $S > 10 \text{ km}^2$, $K = 2,40$

Pour un tel bassin de $S > 10 \text{ km}^2$, le coefficient $K = Q_{\text{maxr}} / M$, d'après la typologie de la page 257 de (RODIER,1976) est égal à 2.30.

9) Calcul de Q_{maxr}

$$Q_{\text{maxr}} = K \times M$$

$$\text{D'où } Q_{\text{maxr}} = 36.7 \times 2.3 = 84 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit de base est la composante de l'écoulement provenant de la vidange des réserves du bassin, souterraines ou superficielles. Il est admis par RODIER sans explication, dans cet exemple, égal à $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Les modèles présentés dans le présent guide ont une réponse partielle qui néglige le terme lié aux ruissellements hypodermique et souterrain. Sans modèle de calcul fiable trouvé dans la bibliographie et compte tenue de l'imperméabilité conséquente de beaucoup de sols guyanais, nous négligerons ce terme.

Pour les bassins plus perméables, le débit de base peut être moins négligeable.
 $Q_{\text{maxr}} = 84 \text{ m}^3/\text{s}$

Il est donc possible d'atteindre une notion de volume en construisant un hydrogramme en triangle sur un graphique $Q = f(t)$ avec les trois points P aux coordonnées suivantes :

- P1 (0 ; 0)
- P2 (t_m ; Q_{max})
- P3 (t_b ; 0)

Développement de la formulation de la méthode de la pluie de projet

Nous avons choisi d'exposer la formulation issue de (SCE, 2005)

• Choix de la durée D_p et D_i

La durée totale de la pluie D_p (min) est généralement prise comme égale à 4 fois le temps de concentration (CERTU, 2006) mais dans d'autres cas elle est choisie égale à 4h (CERTU, 2006). Dans d'autres modèles, la pluie de projet est prise égale à 5 heures (méthode de RODIER). La durée de la période intense D_i (min) est prise telle que $D_i = t_c$ (CERTU, 2006) ou une heure. Le mieux étant de tester différentes pluies de projet et d'analyser la cohérence des résultats.

• Calcul de $t_p = f(\Theta, D_p, D_i)$

$$t_p = \Theta \times (D_p - D_i) + D_i / 2$$

Il est à noter que pour $\Theta = 0.5$, la pluie est symétrique par rapport à t_p .

• Intensité maximale I_m (mm/h) = $f(D_i, a, b)$

• Sur la durée D_i (min), l'intensité moyenne de pluie pour la période de retour choisie vaut :

$$I_{D_i} = a \times D_i^{-b} \quad \text{d'où il vient :} \quad I_m = 2 \times a \times D_i^{-b}$$

• La hauteur précipitée pendant D_i , la période intense vaut alors :

$$H_{\text{intense}} \text{ (mm)} = 1/60 \times a \times D_i^{(1-b)}$$

• Intensité maximale I_m (mm/h) = $f(D_i, a, b)$

• Sur la durée D_p (min), l'intensité moyenne de pluie vaut :

$$I_{D_p} = a \times D_p^{-b}$$

• Sur cette durée, la hauteur précipitée vaut :

$$H_{\text{totale}} = 1/60 \times a \times D_p^{(1-b)}$$

• Calcul de $I_{ni} = f(D_i, D_p, I_m, H_t)$

En appliquant le principe de conservation de la hauteur, il vient :

$$I_{ni} = 60/D_p \times (2H_{\text{totale}} - D_i \times I_m)$$

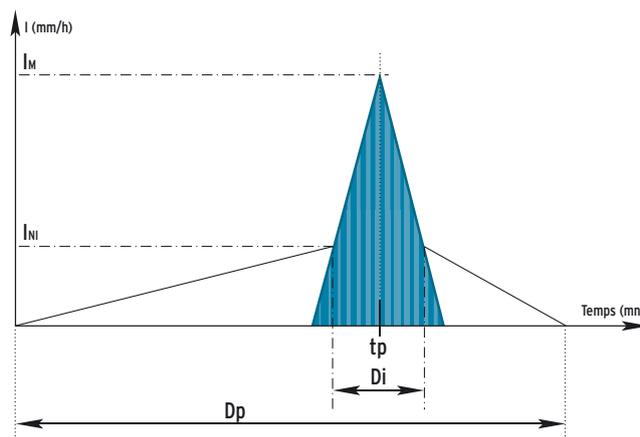


Figure XIV : Schéma de la pluie de projet de Desbordes
Source : CG Guyane-SCE-2005

POUR EN SAVOIR PLUS

Il existe d'autres types de pluie de projet. Il est possible notamment de se référer aux références ci-dessous et à la notice du logiciel CANOE ou METEEAU qui présente d'autres méthodes que celle portée ci-dessus.

- HYDRATEC (2007) Manuel d'utilisateur du logiciel METE-EAU : Logiciel d'hydrologie urbaine pour le diagnostic et le dimensionnement des réseaux d'assainissement (2007)
- STU (1986) « Guide de construction et d'utilisation des pluies de projet », Service Technique de l'Urbanisme.
- SOGREAH (1999) "Notice 1999 du logiciel de Canoë", SOGREAH

La méthode de création des courbes IDF (issu notamment de DPPR, 2004) pour le calcul des coefficients de Montana

Pour élaborer les courbes IDF, il faut repérer plus particulièrement, pour chaque épisode pluvieux d'un poste pluviographique donné, la hauteur de pluie maximum en un pas de temps donné. Les couples « hauteur de pluie - pas de temps » sont alors transformés en intensité de pluie. Ensuite, il est retenu les intensités maximales annuelles pour chaque pas de temps et ce pour toutes les années où la pluie a été enregistrée.

Il s'agit ensuite d'attribuer une fréquence expérimentale F aux valeurs de l'échantillon une loi statistique théorique qui le représentera le mieux. Cette loi théorique permet de représenter l'échantillon « sous forme synthétisée » et d'extrapoler les valeurs de l'échantillon. Cette fréquence F est la fréquence de non-dépassement de l'événement.

| Rang | Maximums annuels des intensités en mm/h | | | | F |
|------|---|---------|-----|-----------|-------|
| | 6 min. | 15 min. | ... | $i/(n+1)$ | |
| 1 | 67 | 58 | | $1/(5+1)$ | 0,166 |
| 2 | 76 | 60 | | $2/6$ | 0,333 |
| 3 | 92 | 72 | | $3/6$ | 0,500 |
| 4 | 112 | 81 | | $4/6$ | 0,666 |
| 5 | 120 | 88 | | $5/6$ | 0,833 |

Tableau 32 : Exemple d'un dépouillement d'un pluviographe sur cinq années en France métropolitaine
Source : (DPPR, 2004)

Il est important de procéder aux calculs sur des pas de temps représentatifs de la durée des pluies intenses (entre 6 minutes et plusieurs heures). Un calcul sur des pas de temps journaliers (entre 1 jour et plusieurs jours) est erroné.

On classe les valeurs de l'échantillon et on en calcule pour chaque rang i la valeur de la fréquence F de non dépassement. On choisit ensuite une loi statistique et l'ajustement à cette loi se fait par un calcul numérique ou graphiquement. Le report des couples « valeurs de rang i - fréquence F attribuée à cette valeur de rang i » sur le graphique où l'on ajuste la loi statistique théorique permet de mieux se rendre en compte si la loi choisie est adaptée à l'échantillon.

En reportant les fréquences de non dépassement F attribuées à chaque valeur de l'intensité (pour un pas de temps donné et l'échantillon classé dans un ordre décroissant) en abscisse graduée suivant la loi de Gumbel et en ordonnée la valeur de l'intensité correspondante à F , les points doivent être relativement alignés si l'échantillon suit la loi de Gumbel. Dans le cas contraire, il faudra essayer une autre loi statistique.

La fréquence expérimentale de non-dépassement attribuée à ces valeurs est donc :

$$F = 1 - (i / (N+1))$$

Les valeurs des couples « intensité - fréquence de non dépassement » sont reportées par pas de temps sur un graphe, les abscisses étant graduées suivant la loi de Gumbel.

On observe alors que les points « s'alignent » ; on peut tracer graphiquement une droite représentative de l'échantillon. Il est alors possible d'extrapoler les valeurs. Les courbes obtenues s'intitulent « intensité - fréquence de non dépassement pour des durées de pluies constantes ». A noter que l'extrapolation peut se faire si le nombre de valeurs de l'échantillon est assez important.

Pour la construction des courbes IDF, on reporte les couples « intensité-Durée », pour une fréquence constante, sur un graphique gradué en temps et en abscisse et intensité en ordonnée. Pour cela, il s'agit de reporter les points de la courbe IF se situant sur la verticale issue d'une fréquence constante (ou période de retour) pour les durées dont on dispose. Le graphique est gradué avec des échelles logarithmiques, car la courbe « intensité-durée pour une fréquence constante » est généralement exprimée sous la forme $i_T = a \cdot t^b$, avec i en mm/h, t en mn et T = période de retour.

Les coefficients a et b des droites $i_{10} = a \cdot t^b$ se déterminent en posant :

$$\text{Log } i_{10} = \log a + b \log t$$

Et en donnant deux couples de valeur (i, t) pour posséder deux équations pour les deux inconnues a et b . Il en ressort la valeur de a et de b dans un intervalle de temps donné.

Les courbes IDF sont à recadrer dans le temps, car l'échantillon de valeurs évolue d'année en année.

En attendant les valeurs de a et b rendues disponibles par METEO-FRANCE, il peut être utilisé l'exploitation de données pluviométriques trouvée dans (Mairie de Saint Laurent du Maroni, BRLI, IRH, NANCIE, 2002) sur Cayenne-ville.

L'exploitation des pluies de durée inférieure à 12 heures et enregistrées à la station de Cayenne-Ville sur la période 1961-1996 ont été exploitées.

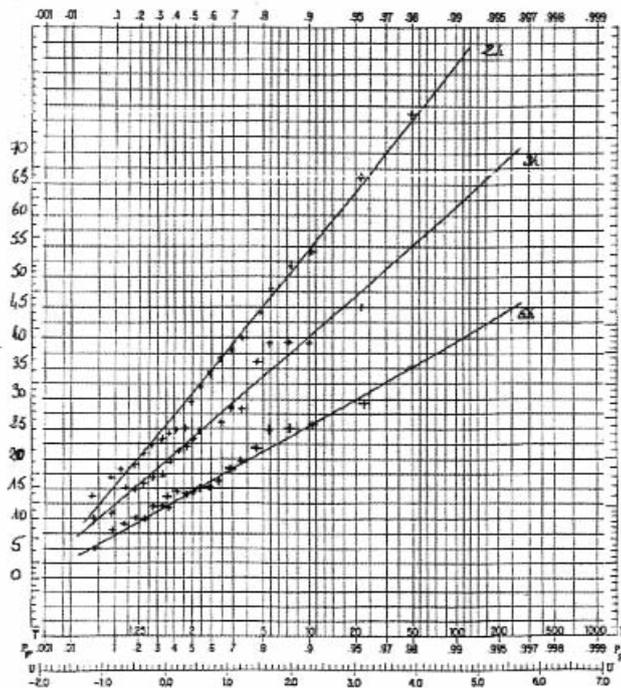


Figure XV
Courbes "intensité-fréquence de non dépassement"

| | 2 ans | 5 ans | 10 ans | 30 ans |
|---------------|-------|-------|--------|--------|
| Seuil 12 mn | 19.1 | 27.8 | 33.6 | 42.7 |
| Seuil 30 min | 32.3 | 41.8 | 48.3 | 58.6 |
| Seuil 60 min | 44.7 | 58.6 | 67.9 | 82.6 |
| Seuil 120 min | 57.5 | 75.7 | 87.9 | 107.1 |
| Seuil 180 min | 66.5 | 92.6 | 110.7 | 138.9 |
| Seuil 360 min | 81.3 | 123.6 | 151.7 | 197.1 |
| Seuil 720 min | 85 | 127.5 | 160.7 | 210.1 |

Tableau 33 : Valeur de la hauteur de pluie (en mm) en fonction de la durée de la pluie et du temps de retour (période 1961-1996)

| | 2 ans | 5 ans | 10 ans | 30 ans |
|---------------|-------|-------|--------|--------|
| Seuil 12 mn | 95.5 | 139 | 168 | 213.5 |
| Seuil 30 min | 64.6 | 83.6 | 96.6 | 117.2 |
| Seuil 60 min | 44.7 | 58.6 | 67.9 | 82.6 |
| Seuil 120 min | 28.8 | 37.9 | 44 | 53.6 |
| Seuil 180 min | 22.2 | 30.9 | 36.9 | 46.3 |
| Seuil 360 min | 13.6 | 20.6 | 25.3 | 32.9 |
| Seuil 720 min | 7.1 | 10.6 | 13.4 | 17.5 |

Tableau 34 : Valeur de l'intensité pluviométrique (en mm/h) en fonction de la durée de la pluie et du temps de retour (période 1961-1996)

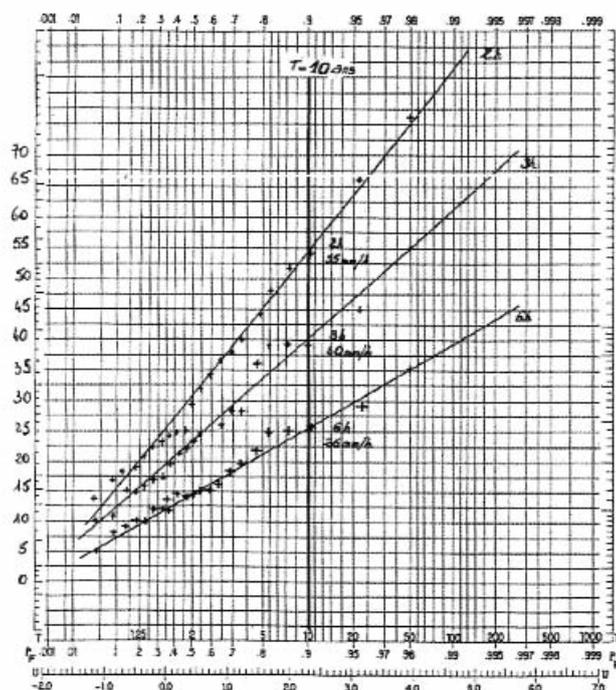


Figure XVI
Relevé des points des différentes IF sur la verticale T = 10 ans

Il est important de connaître le domaine de validité des coefficients pluviométrique a et b. Il faut se garder d'extrapoler une courbe IDF au-delà de son domaine de validité. La démarche consistant à élaborer les courbes IDF et à déterminer leurs coefficients a et b comportent des ajustements et lissages. La courbe représentative est alors une approximation des valeurs issues des pluviogrammes. Il est donc illusoire d'accorder aux calculs de débits des bassins versants utilisant des intensités une fiabilité ne prenant pas en compte cette approximation.

Il ne faut pas perdre de vue la notion d'intervalles de confiance dans les ajustements statistiques (les valeurs retenues sur les courbes de Gumbel se situent dans une fourchette qui encadrent ces valeurs).

Bibliographie

- ASARCO - ORSTOM, 1999, Etudes de l'Etat initial de l'Environnement, Tome 2/5, Etudes Physiques. Premier et deuxième compte-rendu trimestriel du suivi du réseau hydrométrique mis en place sur le flanc Sud de la montagne de Kaw.
- ASARCO - METEOFRACTANCE, 1999, Etudes de l'Etat initial de l'Environnement, Tome 2/5, Etudes Physiques. Etude climatologique.
- BARIL D.(2000), Milieu aquatique et document d'incidences, collection mise au point, Conseil Supérieur de la Pêche.
- BARIAC T., MILLET A., GRIMALDI C., GRIMALDI MICHEL, HUBERT P., MOLICOVA H., BRUCKLER L., BERTUZZI P., BRUNET Y., BOULEGUE J., GRANIER A., TOURNEBIZE R. La décomposition géochimique de l'hydrogramme de crue : le rôle du sol (les bassins versants de la piste Saint-Elie, Guyane). In : Rapport quadriennal 1991-1994. Paris : Comité National Français de Géodésie et Géophysique, 1995, p. 271-282.
- BLANCANEUX P., 1985, Organisation et comportement hydrologique de deux couvertures pédologiques sur granito-gneiss de la région de Grégoire en Guyane Française : analyse minéralogique et structurale. Bondy : ORSTOM, 1988, 319 p. (Travaux et Documents Microédités ; 37). Th. : Matières Premières Minérales et Energétiques : Géochimie et Prospection des Ressources Minérales, Orléans, 1985/09/25
- BLANCO C.J, SRETAN Y., FAVRE AZ-C, SLIVITZKY M.. Modèle pluie-débit pour la simulation de courbes de débits classés sur des bassins versants non jaugés de l'Amazonie, 2005
- BRUNET-MORET, Y. (1963-1968) Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale (Haute-Volta, Niger, Mali, Sénégal, Tchad, Côte d'Ivoire, Togo et Dahomey) (multigraphie). Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, ORSTOM, Service Hydrologique, Paris.
- CBJ CAIMAN. Dossier de demande d'autorisation d'exploiter, partie III - Etude d'impact sur l'environnement - Annexe III. A. 5.3. Analyse statistique des débits d'étiages et de crue
- CBJ CAIMAN, 2006, Dossier de demande d'autorisation d'exploiter, partie III - Etude d'impact sur l'environnement - partie 5 - Eaux de surface. p.48 - 65
- CEMAGREF, ENGREF. 2002. Petits barrages, recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Comité Français de grands barrages. Coordination : DEGOUTTE G.
- CETE DE L'EST - POLE NATIONAL DE DIFFUSION HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE URBAINE - 2005 - Choix de la durée de pluie intense d'une pluie de projet.
- CETE DE L'EST - POLE NATIONAL DE DIFFUSION HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE URBAINE - 2005 - Modélisation bassin versant non urbain : choix des paramètres.
- CERTU - 2006/02 Manuel d'utilisateur du logiciel HYDROUTI 1.0
- CG Guyane - SCE, 2005, Etude hydraulique, Aménagement de la RD9 entre les villes de Saint-Laurent du Maroni et de Mana.
- CHAMPOUX A., TOUTANT C., 1988, Eléments d'hydrologie, Le griffon d'argile, 265 p
- Circulaire interministérielle n°77.284; Instruction Technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations du 22 juin 1977.
- CR Guyane - BRLI, 1998, schéma directeur d'assainissement de l'île de Cayenne, phase 3 : modélisation hydraulique, rapport provisoire.
- DAF - Commune de Saint- Laurent du Maroni, 2001, schéma directeur d'assainissement, dossier de phase 3.
- DIREN LORRAINE, AGENCE DE L'EAU RHIN MEUSE. 2000. Note de présentation du catalogue des débits caractéristiques, débits d'étiages et modules. Page internet.
- D. LAZARESCU. Juin 1965. Institut de Recherches Hydrotechniques de Bucharest - Roumanie. Les bases scientifiques de l'analyse sur l'ensemble du bassin versant, des débits d'eau calculés aux stations. Symposium de Québec sur la planification des réseaux hydrologiques du 15-22 Juin/June 1965.
- DPPR, 2004. Note complémentaire sur les risques d'inondation, le ruissellement péri-urbain.
- DUBREUIL, P. ORSTOM. 1965. Contribution à l'étude d'implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiques homogènes, 54-63.
- DUBREUIL Pierre. L'hydrologie au service des travaux publics et ruraux en régions intertropicales. In : Stage infrastructure. Paris : Ministère de la Coopération, 1965, 11 p. multigr. Stage Infrastructure, 1965/09/15, Paris.
- CEHQ, 2005. Guide sommaire des méthodes d'estimation des débits d'étiage pour la province de Québec.
- CFGB, Bulletin du Comité Français des Grands Barrages - Barrages et réservoirs : Le crues de projet du barrage, méthode du gradex. Spécial Durban . 18ème congrès du CIBF/ICOLD - n°2 novembre 1994.
- FRITSCH JEAN-MARIE. Ecoulements et érosion sous pairies artificielles après défrichement de la forêt tropicale humide. In : Forest hydrology and watershed management = hydrologie forestière et aménagement des bassins hydrologiques. Wallingfort : AISH, 1987, p. 123-129. (Publication - AISH ; 167). Forest Hydrology and Watershed Management : Symposium = Hydrologie Forestière et Aménagement des Bassins Hydrologiques : Colloque, 1987/08, Vancouver.
- FRITSCH JEAN-MARIE. 1990. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants : opération ECEREX en Guyane française. Paris : ORSTOM, 1992, 392 p. Th. Doct. : Mécanique, Génie Civil, Génie Mécanique, Montpellier 2, 1990/11/08
- FRITSCH JEAN-MARIE. Modifications du comportement hydrologique et de l'érosion après défrichement et aménagement des bassins-versants expérimentaux. In : SARRAILH J.M. (COORD.). Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais (opération ECEREX). Paris (FRA), Nogent-sur-Marne : INRA, CTFT, 1990, p. 65-86. (Ecologie et Aménagement Rural).
- FRITSCH JEAN-MARIE. L'augmentation du ruissellement après défrichement mécanisé de la forêt amazonienne : les bassins versants "ECEREX" en Guyane Française. Paris : ORSTOM, 1986, 10 p. multigr. Journées de l'Hydraulique, 19, 1986/09, Paris
- FRITSCH JEAN-MARIE. Les bassins versants expérimentaux de Guyane Française (ECEREX). Montpellier : ORSTOM, 1994, 34 p. multigr.

- FRITSCH JEAN-MARIE. Les effets hydrologiques du déboisement de la forêt amazonienne et d'utilisations alternatives du sol. In : BOULÈGUE J. (ED.), OLIVRY JEAN-CLAUDE (ED.). Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone. Paris : ORSTOM, 1995, p. 411-424. (Colloques et Séminaires). Grands Bassins Fluviaux Péri-Atlantiques : Congo, Niger, Amazone, 1993/11/22-24, Paris.
- FRITSCH JEAN- MARIE, DUBREUIL PIERRE, SARRAILH J.M. De la parcelle au petit bassin versant : effet d'échelle dans l'écosystème forestier amazonien. In : Forest hydrology and watershed management = hydrologie forestière et aménagement des bassins hydrologiques. Wallingford : AISH, 1987, p. 131-142. (Publication - AISH ; 167). Forest Hydrology and Watershed Management : Symposium = Hydrologie Forestière et Aménagement des bassins hydrologiques : Colloque, 1978/08, Vancouver.
- GAUCHEREL C. (2001). Caractérisation physique des bassins versants de Guyane. Rapport d'expertise destiné à la DIREN de Guyane française, 69 p.
- GARÇON Rémy, EDF-DTG, modélisation des crues : retour d'expérience sur le gradex 11P.
- GNOUMA Raouf. Novembre 2006 . Thèse préparée au sein de l'Unité de recherche en hydrologie - Hydraulique du CEMAGREF de LYON. Aide à la calibration d'un modèle hydrologique au moyen d'une analyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron.
- GRAIE - AGENCES DE L'EAU, 1996, Aménagement et gestion des rivières, vol. 2.
- GUYOT G, 1997, Climatologie de l'environnement, Masson, 507 p.
- HOEPPFNER, 1974. Caractéristiques principales du régime hydrologique en Guyane Française.
- HIEZ GERARD, DUBREUIL PIERRE. Les régimes hydrologiques en Guyane française. Cayenne : IFAT, 1964, 122 p. multigr.
- HIEZ GERARD, DUBREUIL PIERRE. Les régimes hydrologiques en Guyane française : tome 1. Texte. Tome 2. Graphiques, débits journaliers. Paris : ORSTOM, 1963, 141 + 110 p. multigr. DUBREUIL, P. Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la crique Virgile (Guyane). In : Décennie hydrologique internationale : résumés des résultats de recherches obtenus par la France sur bassins représentatifs. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1974, 11 (2), p. 152-155.
- HOEPPFNER MICHEL, VUILLAUME GABRIEL. Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la crique Grégoire (Guyane). In : Décennie hydrologique internationale : résumés des résultats de recherches obtenus par la France sur bassins représentatifs. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1974, 11 (2), p. 161-165.
- HOORELBECK JACQUES. Bassin versant de la crique Cacao : résultats des six premiers mois d'observation. Cayenne : ORSTOM, 1965, 5 p. multigr.
- HOORELBECK JACQUES, LEMETAIS LAURENT. Le bassin versant représentatif de la crique Cacao. Paris : ORSTOM, 1972, 34 p. multigr.
- IBIZA DANIEL. Transfert de surface : étude systématique du temps caractéristique thêta (temps de concentration) sur des bassins en zone intertropicale de 2 à 2 000 km². Hydrologie Continentale, 1987, 2 (2), p. 101-115.
- JAVELLE P, SAUQUET E, 2002. application de modèles de régionalisation en France. CEMAGREF.



Salade Coumarou (*Mourera fluviatilis*)

- LAVABRE J., FOLTON N. et MICHEL Cl., L'estimation régionale de la ressource en eau par modélisation de la pluie en débit. Application à la détermination des débits de référence de la région méditerranéenne française. Hydropôle 99. Marseille, 15-17/06/1999. pp. 433-440.
- LAVABRE J. , FOLTON N. , FOUCHIER C. Connaissance régionale de la ressource en eau de surface : application au quart sud-est français. Collaboration étroite avec les Diren, et soutien financier de la Direction de l'Eau.
- LEFEVRE R, LERIQUE J. Etude de la desserte ferroviaire du haut Ogooué : note hydrologique. Libreville : ORSTOM, 1973, 25 p. multigr.
- LEMOINE L., CRUETTE J. Adaptation de la formule de Caquot aux régimes des régions intertropicales. In : Influence des activités de l'homme sur le cycle hydrométéorologique. Paris : Société Hydrotechnique de France, 1974, p. 3-6. Journées de l'Hydraulique, 13., Paris (FR), 1974.
- LOINTIER Marc, PROST Marie-Thérèse. ORSTOM CAYENNE, 1986, Morphologie et hydrologie d'un marais côtier équatorial : la savane sarcelle. 28 p. multigr.
- LOINTIER Marc, 1996, Hydrologie des zones humides tropicales -Apport de l'information spatialisée aux problèmes de gestion intégrée - Applications en Guyane.
- Mairie de Saint-Laurent du Maroni, BRLI, IRH, NANCIE, 2001, Schéma directeur d'assainissement de la commune de Saint-Laurent du Maroni. Phase 3.
- MICHEL P, 2001. L'étude d'impact sur l'environnement, BCEOM, MATE.

Bibliographie

- MOCKUS VICTOR, 1964. National engineering handbook. Section 4. hydrology. Chapter 10. estimation of direct runoff from storm rainfall.
- ORSTOM CAYENNE, 1963. Le bassin versant expérimental de la crique Virgile : rapport préliminaire. ORSTOM, 1963, 74 p. multigr.
- ORSTOM CAYENNE. Aménagement du bassin versant expérimental de la crique Virgile. Cayenne : ORSTOM, 1962, 8 p. multigr.
- REMENIERAS G. L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles, Paris 1999. 413 p.
- ROCHE M. hydrologie de surface. ORSTOM, Paris 1963. 384 p.
- ROCHE M. Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à Ecécex, en Guyane. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1982, 19 (2), p. 81-114.
- ROCHE M. Evapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en Guyane. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1982, 19 (1), p. 37-44.
- RODIER JEAN. 1976. Estimation des débits de crues décennales pour les petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale : étude préliminaire. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1976, 13 (4), p. 243-267.
- RODIER JEAN. 1977. Recherches en Afrique Occidentale sur les effets de l'urbanisation sur le ruissellement superficiel. International symposium on the effects of urbanization and industrialization on the hydrological regime and on water quality. In Amsterdam, 2 to 7 October 1977. IAHS Publication no 123. 1977.
- ROOSE ERIC, BLANCANEUX PHILIPPE, FREITAS P.L. DE. Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels : méthode et exemples. In : Spécial érosion : réhabilitation des sols et GCES. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 1993, 28 (2), p. 413-419.
- RUF, MONFORT, 2004. Caractérisation du régime hydrologique des fleuves guyanais : Etude fréquentielle et outil de calcul des débits. DIREN GUYANE.
- SAUQUET. 2003 Sujet de thèse : "Consolidation de l'information hydrologique disponible à l'échelle régionale pour l'estimation du régime des crues". CEMAGREF.
- SIGHOMNOU D., DESBORDES M. Recherche d'un modèle de pluie de projet adapté aux précipitations de la zone tropicale africaine : cas d'Adiopodoumé-Abidjan (Côte d'Ivoire). Hydrologie Continentale, 1988, 3 (2), p. 131-139.
- STU (1986) Guide de construction et d'utilisation des pluies de projet Service Technique de l'Urbanisme.
- TOUCHEBOEUF de LUSSIGNY, P. 1965. étude des bassins représentatifs de 1000 km² en Afrique tropicale. Symposium de Budapest sur les bassins représentatifs et expérimentaux. 1965/09
- VUILLAUME Gabriel. L'abatement des précipitations journalières en Afrique intertropicale : variabilité et précision de calcul. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1974, 11 (3), p. 205-240.
- WAGNER Rémi - 2005 - CETE DE L'EST/L.R. NANCY/Groupe Eau Environnement - Modélisation pluie - Choix des paramètres de Montana.

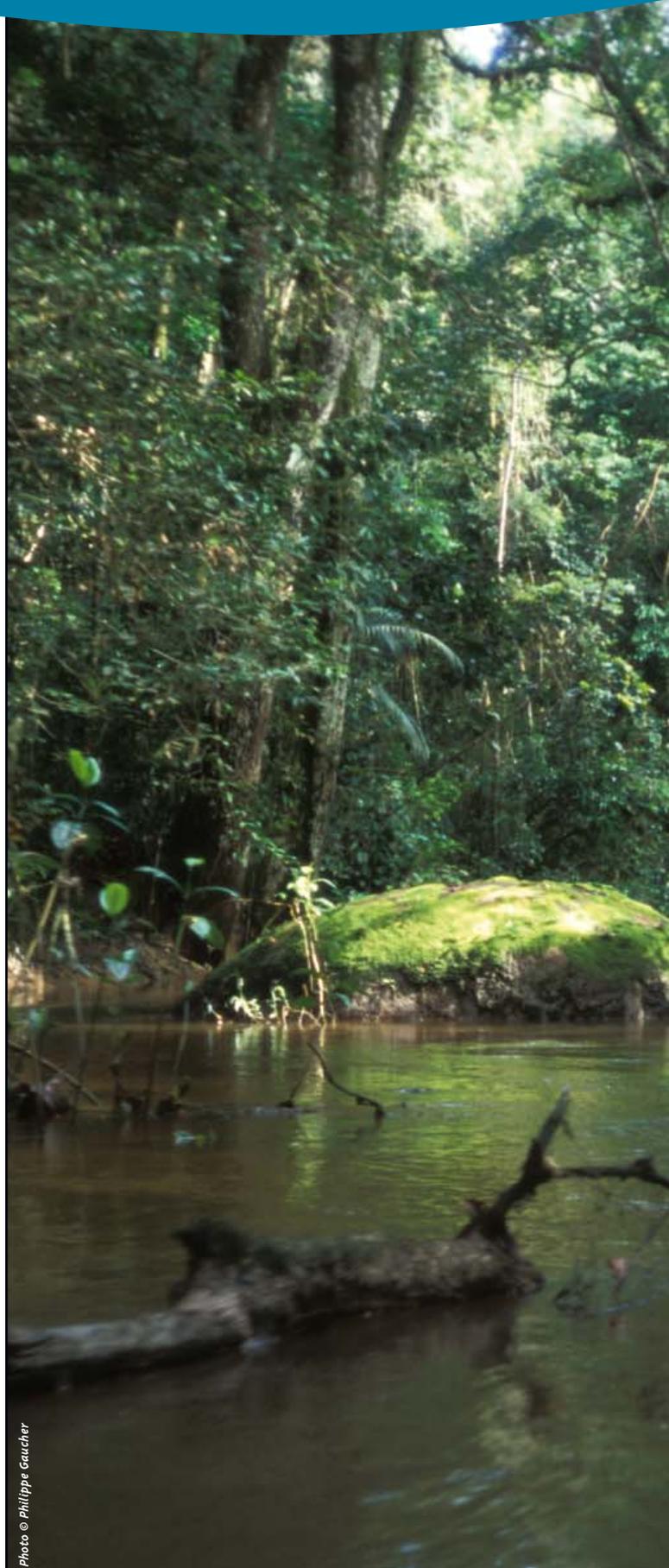


Photo © Philippe Gaucher

Analyse fréquentielle

Méthodes utilisées pour l'interprétation de séries d'événements hydrologiques passés en termes de probabilités de future apparition, par ex. estimation de la fréquence des sécheresses, des crues, des volumes stockés, des pluies, de la qualité des eaux, de la propagation des ondes.

Analyse régionale

Extension à toute une région des résultats d'une analyse faite à partir de données ponctuelles. Exemple : approche LOI EAU II.

Averse de projet

Estimations de la hauteur et de la répartition d'une pluie sur un bassin donné, adoptées pour le calcul de la crue de projet.

Calage du modèle *syn.* ajustement du modèle

Ajustement des paramètres d'un modèle, soit par des considérations physiques, soit par une optimisation mathématique, afin d'obtenir le meilleur accord possible entre les résultats du modèle et les données observées.

Coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement K_e représente le ratio entre la quantité d'eau écoulée et la quantité d'eau précipitée pendant une période donnée et un bassin donné. Cette notion n'implique pas que toute l'eau écoulée provienne des précipitations considérées. Une partie peut provenir de précipitations antérieures ou tombées hors du bassin (s'il existe des transferts, de surface ou souterrains), ni réciproquement que toutes les précipitations non évapotranspirées se soient écoulées (différences de stock et sorties souterraines).

Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement K_r représente, lors d'une crue, la part de l'eau qui a exclusivement circulé en surface. Historiquement, il a été confondu avec le coefficient d'écoulement rapide et demeure parfois abusivement utilisé dans ce sens ; or le coefficient d'écoulement rapide représente le ratio entre le volume d'écoulement rapide, c'est-à-dire celui qui provoque le gonflement de l'hydrogramme - et qui incluse le plus souvent une part d'eau souterraine "poussée" par l'eau de la pluie considérée - et la pluie à l'origine de la crue. Le terme de coefficient de ruissellement fait référence à des processus de transfert, et celui de coefficient d'écoulement rapide à des volumes transférés.

Courbe d'étalonnage (barème d'étalonnage)

Courbe indiquant la relation entre la hauteur d'eau et le débit d'un cours d'eau au droit d'une station hydrométrique. Traduite en chiffres, c'est un barème d'étalonnage.

Courbe intensité-durée-fréquence

Courbe donnant la probabilité de diverses intensités de pluie de courte durée pour diverses durées en un lieu donné. Il s'agit souvent d'une famille de courbes, dont chacune représente une certaine fréquence d'occurrence ou une certaine période de retour exprimée en années.

Crue de projet

Hydrogramme de crue ou débit maximal instantané adopté pour la conception d'un ouvrage hydraulique ou de travaux de régularisation, compte tenu de facteurs économiques et hydrologiques.

Débit spécifique (d'un bassin)

Débit par unité de surface.

Documents d'évaluation des incidences et des impacts

Ce terme permet d'englober toutes les notices et études réglementaires au titre du code de l'environnement, au titre de la loi sur l'eau et de la législation des installations classées et études réglementaires au titre du code minier, du code de l'urbanisme.

Fréquence de crue

Nombre de fois qu'un débit ou une hauteur de crue donné a des chances de se produire au cours d'une période d'un nombre donné d'années.

Hydrologie déterministe

Méthode d'analyse des processus hydrologiques, utilisant une approche déterministe pour analyser les réponses des systèmes hydrologiques en agissant sur divers paramètres.

Hydrologie de l'ingénieur

Branche de l'hydrologie appliquée qui traite de l'utilisation de l'information hydrologique pour la planification et la conception des aménagements, ainsi que pour leur exploitation et la maintenance des ouvrages.

Hydrologie

1) Science qui traite des eaux que l'on trouve à la surface de la Terre, ainsi qu'au-dessus et au-dessous, de leur formation, de leur circulation et de leur distribution dans le temps et dans l'espace, de leurs propriétés biologiques, physiques et chimiques et de leur interaction avec leur environnement, y compris avec les êtres vivants.

2) Science qui étudie les processus qui régissent les fluctuations des ressources en eau des terres émergées et traite des différentes phases du cycle hydrologique.

Hydrologie statistique

Phénomènes et processus hydrologiques qui sont décrits et analysés par les méthodes de la théorie des probabilités.

Hydrologie urbaine

Branche de l'hydrologie qui traite des zones urbaines et métropolitaines, dont une part importante est constituée de surfaces quasi imperméables et d'un relief artificiel, l'accent étant mis sur les effets des aménagements urbains.

Hydraulique

Branche de la mécanique des fluides qui traite de l'écoulement de l'eau (ou d'autres liquides) dans des conduites, canaux découverts et autres ouvrages.

Hydrométéorologie

Etude des phases atmosphérique et terrestre du cycle hydrologique, et en particulier de leurs relations mutuelles.

Hydrogramme

Expression ou représentation, graphique ou non, de la variation des débits dans le temps.

Note : Le sens est moins général qu'en anglais. Une expression de la variation des hauteurs s'appelle "limnigramme".

Hyétogramme

Distribution dans le temps de l'intensité d'une averse.

Jaugeage par exploration du champ des vitesses

Détermination du débit d'un cours d'eau en mesurant, dans une section droite, la vitesse du courant en un certain nombre de points dont on mesure également la profondeur, et en faisant la somme des produits des vitesses moyennes par les aires élémentaires auxquelles elles s'appliquent.

Jaugeage

Ensemble des opérations ayant pour but de déterminer le débit d'un cours d'eau pour une hauteur donnée à l'échelle.

Modèle hydrologique conceptuel

Représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique par un ensemble de concepts hydrologiques exprimés en langage mathématique et reliés entre eux dans des séquences temporelle et spatiale correspondant à celles que l'on observe dans la nature. Les modèles conceptuels sont utilisés pour simuler le comportement d'un bassin.

Moyenne pondérée

Moyenne arithmétique d'un ensemble de valeurs à chacune desquelles on affecte un coefficient (poids) pour tenir compte de son importance relative. (Le calcul de la pluie moyenne sur une surface par la méthode des polygones de Thiessen en est un exemple.)

Pluie nette

Partie de l'averse qui atteint un cours d'eau par ruissellement.

Prévision des crues

Prévision du niveau, du débit, du temps d'apparition et de la durée d'une crue, et plus spécialement du débit de pointe en un point donné d'un cours d'eau, résultant des précipitations sur le bassin.

Régime hydrologique

Ensemble des variations de l'état et des caractéristiques d'une formation aquatique, qui se répètent régulièrement dans le temps et dans l'espace et passent par des variations cycliques, par exemple, saisonnières.

Station climatologique à fins hydrologiques

Station climatologique installée spécialement dans un bassin versant pour renforcer le réseau climatologique existant en vue de satisfaire aux besoins en matière d'hydrologie.

Temps de base (d'un hydrogramme de crue)

Intervalle de temps entre le début et la fin du ruissellement produit par une averse.

Temps de montée (d'un hydrogramme de crue)

Intervalle de temps entre le début du ruissellement produit par une averse et le pic de l'hydrogramme.

Variable hydrologique

Variable relative au cycle de l'eau telle que niveau d'eau (hauteur à l'échelle), débit ou précipitation.

Liste des tableaux, figures & schémas

| N° | TITRE | Page |
|-----------------|--|------|
| Tableaux | | |
| 1 | Degré de précision de description et d'évaluation hydrologique en fonction de l'importance du projet | 13 |
| 2 | Niveau de précision des données hydrologiques pour le type d'opération "rejet" (issu de BARIL D, 2000) | 14 |
| 3 | Risque d'impact supposé en fonction du nombre d'équivalent habitant (Pe) et de l'objectif de qualité (fonction de la sensibilité du milieu) (issu de BARIL D,2000) | 14 |
| 4 | Niveau de précision des données hydrologiques pour le type d'opération "prélèvement" (issu de BARIL D, 2000) | 15 |
| 5 | Niveau de précision des données hydrologiques pour le type d'opération "barrage, seuil" (issu de BARIL D, 2000) | 15 |
| 6 | Niveau de précision des données hydrologiques pour quelques autres types d'opération (issu de BARIL D, 2000) | 15 |
| 7 | Paramètres nécessaires à l'évaluation hydrologique (issu de BARIL D,2000) | 16 |
| 8 | Tableau d'orientation pour le Module et le QMNA5 | 21 |
| 9 | Cotation de la méthode des débits spécifiques pour le Module et le QMNA5 | 22 |
| 10 | Tableau des modules spécifiques sur 20 bassins versants guyanais | 23 |
| 11 | Cotation de la méthode d'analyse régionale à partir d'un modèle type GR | 25 |
| 12 | Tableau de présentation des diverses méthodes d'estimation du débit de crue de temps de retour 10 ans en fonction de la taille des bassins versants ruraux | 26 |
| 13 | Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans des bassins ruraux inférieurs à 2 km ² | 27 |
| 14 | Cotation de la méthode rationnelle | 28 |
| 15 | Cotation de la méthode à "n" réservoirs en parallèle ou en série | 30 |
| 16 | Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans des bassins ruraux entre 2 et 200 km ² | 31 |
| 17 | Cotation de la méthode de Rodier | 33 |
| 18 | Cotation de la méthode d'Ibiza | 34 |
| 19 | Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans pour les bassins versants entre 200 et 1.000 km ² | 35 |
| 20 | Cotation de la combinaison des méthodes de Rodier et de Muskingum | 36 |
| 21 | Tableau d'orientation pour le débit de crue de temps de retour 10 ans pour les bassins versants supérieurs à 1.000 km ² | 37 |
| 22 | Cotation de la méthode des débits de crue exprimée en fonction de la superficie drainée (bassin de taille supérieure à 1.000 km ²). | 37 |
| 23 | Ratio : crues pluridécennales sur crues décennales | 38 |
| 24 | Cotation de la méthode d'allongement des séries | 39 |
| 25 | Cotation de la méthode des traitements statistiques | 40 |
| 26 | Tableau d'orientation pour le débit d'eaux pluviales de pluie de temps de retour 10 ans concernant les bassins versants urbains | 41 |
| 27 | Cotation de la méthode de Caquot | 42 |
| 28 | Cotation de la méthode du réservoir linéaire | 43 |
| 29 | Tableau de quelques formules empiriques du temps d'écoulement superficiel t _s | 43 |

Liste des tableaux, figures & schémas

| N° | TITRE | Page |
|-----------------|---|------|
| Tableaux | | |
| 30 | Vitesses de l'eau en fonction de la pente et du couvert végétal en France métropolitaine | 50 |
| 31 | Tableau des coefficients d'abattement de pluie de RODIER | 61 |
| 32 | Exemple d'un dépouillement d'un pluviographe sur cinq années en France métropolitaine | 64 |
| 33 | Valeur de la hauteur de pluie (en mm) en fonction de la durée de la pluie et du temps de retour (période 1961-1996) | 65 |
| 34 | Valeur de l'intensité pluviométrique (en mm/h) en fonction de la durée de la pluie et du temps de retour (période 1961-1996) | 65 |
| Figures | | |
| I | Répartition des stations de mesures du réseau hydrométrique guyanais | 24 |
| II | Exemple d'une chaîne analytique simplifiée d'un modèle déterministe dynamique | 29 |
| III | Fonction de transfert à 2 réservoirs | 29 |
| IV | Lagtime K : décalage entre le centre de gravité du hétéogramme et de l'hydrogramme | 29 |
| V | Variation du débit de crue décennale en fonction de la superficie du bassin versant | 37 |
| VI | Relation Intensité-Durée-Fréquence à Rochambeau pour des pas de temps de 6 minutes à 4 jours - Période 1961-1990 | 46 |
| VII | Schéma de la pluie de projet de Desbordes | 51 |
| VIII | Hétéogramme d'une pluie décennale de projet sur Cayenne (durée de période intense retenue : 20 minutes, pas de temps : 6 minutes) | 51 |
| IX | Régime d'infiltration et capacité d'infiltration du sol de HORTON | 52 |
| X | Paramètres équivalents pour les bassins versants assemblés | 56 |
| XI | Lagtime K : décalage entre le centre de gravité du hétéogramme et de l'hydrogramme | 60 |
| XII | Crués décennales pour les petits bassins forestiers. Temps de base en fonction de la superficie et du coefficient global de pente (lg) | 62 |
| XIII | Crués décennales pour les petits bassins forestiers. Temps de base en fonction de la superficie et du coefficient global de pente (lg) | 62 |
| XIV | Schéma de la pluie de projet de Desbordes | 63 |
| XV | Courbes "intensité-fréquence de non dépassement" | 65 |
| XVI | Relevé des points des différentes IF sur la verticale T = 10 ans | 65 |
| Schémas | | |
| I | Schéma d'orientation préalable aux documents d'évaluations des incidences et impacts sur l'hydrologie | 20 |
| II | Hydrogramme triangulaire généré par la méthode de Rodier | 31 |
| III | Décalage de la courbe d'infiltration d'un temps t_0 tel que $S_1 = S_2$ | 53 |



Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Direction régionale de l'Environnement de Guyane

33, rue Félix Eboué
BP 380

97328 Cayenne cedex

Téléphone : +594 (0)594.29.66.50

Télécopie : +594 (0)594.37.89.81

Courriel : diren@guyane.ecologie.gouv.fr